ポスター発表
Poster Presentations

会場：東北芸術工科大学本館１階ラウンジ

ポスター解説日時

６月 10 日（土）　13：00 ～ 14：00

６月 11 日（日）　13：00 ～ 14：00

秋田県戸平川・中屋敷II遺跡縄紋柱痕の年代比定

Radiocarbon dating on the jomon building materials of the Tohiragawa site and the Nakayashiki II site

○小林謙一（中央大学）、木村勝彦（福島大学）、米田穣（東京大学）、高橋学（秋田県埋蔵文化財センター）

○kobayashi kenichi（chuo university）,kimura katuhiko（fukushima university）, yoneda minoru（Tokyo university）,takahashi manabu（Akita prefectural buried cultural property investigation center）

縄紋時代晩期の日本海側の地域には、大型の木柱列・掘立柱建物柱痕が多数発見されている。石川県チカモリ遺跡や真脇遺跡の木柱列や新潟県青田遺跡の建物柱痕が著名であり、その木材年輪試料の炭素14年代測定によるウイグルマッチングによって、年代比定がおこなわれている。ウイグルマッチングは、これまでも多くの測定が実践されている（今村2002, 國木田ほか2006,坂本ほか2006）。東北地方における縄紋晩期の建物柱痕も確認されているが、これまで年代測定例がなく、北陸地方の建物との関係が問題とされていた。今回、戸平川遺跡および中屋敷II遺跡の4本柱建物の柱痕から複数の年輪試料を採取し、ウイグルマッチングを試みた。その結果、晩期中葉頃の年代が比定され、北陸地方の既知の建物と近い年代が確認された。また、同一建物の異なる柱痕の炭素14年代測定をおこない、その間に年代差があるかも検討した。建材の伐採が同一時期か、古材や貯木材など異なる年代を示す木材が含まれるかをチェックすることで、縄紋時代の建築時の構築材のあり方について検討し得る。今回秋田県中屋敷II遺跡（秋田県文化財調査報告書第384集:2005）および戸平川遺跡（秋田県文化財調査報告書第294集:2000）の掘立柱建物跡の木柱を測定した。

測定結果は表1に示す。中屋敷II遺跡のC21木柱については,最外から1-5年輪,11-15年輪,31-35年輪,51-55年輪を採取し、山形大学及び東京大学総合博物館で測定した。Intcal13およびOxcalを用いてウイグルマッチした結果（図1）、2σで2861～2546cal BP（711-596cal BC）に90%の確率で含まれる。なお、5年輪のブロックで測定しているため、最外年の年代は2～3年新しい年代となる。

戸平川遺跡の掘立柱建物跡木柱2本は、遺存状態が不良のため最外年輪のみを採取し、山形大学に委託して測定した。C31は2750-2710cal BP、C3は2760-2510cal BPに含まれる可能性が95.4%となる（図2）。2本の木柱が同一時期に伐採されたと考えると、両者が重なる2750-2710cal BP（800-760cal BC）に含まれる可能性が高いと考える。ただし、弥生古墳時代の火災住居での構築材の測定例では、同一遺構の柱材に年代差が顕著な例があり、古材の再利用が考えられる例が認められる（小林2014）。

これまでの測定に照らすと中屋敷II・戸平川の両例とも大洞A1式の年代に比定される。戸平川遺跡では同様のピットから大洞A式に比定される破片も出土しており、矛盾はない。

今後も測定を重ね、年輪試料などの高精度年代決定成果を蓄積していくべきである。

試料記号	番号	符号	所在地	遺跡名	出土区	分類		細別	部位	時代	測定	14C	AMS δ13C
AKMB	C21	1	秋田県	中屋敷Ⅱ	SKP270	木材	年輪	5年輪	最外	縄文晩期大洞A'?	YU-4001	2488 ± 20 BP	-24.25±0.26 ‰
AKMB	C21	11	秋田県	中屋敷Ⅱ	SKP270	木材	年輪	5年輪	11-15年	縄文晩期大洞A'?	TKA-17448	2433 ± 29 BP	-26.2 ± 0.4 ‰
AKMB	C21	31	秋田県	中屋敷Ⅱ	SKP270	木材	年輪	5年輪	31-35年	縄文晩期大洞A'?	YU-4605	2444 ± 21 BP	-29.95±0.47 ‰
AKMB	C21	51	秋田県	中屋敷Ⅱ	SKP270	木材	年輪	5年輪	51-55年	縄文晩期大洞A'?	YU-4606	2460 ± 21 BP	-28.19±0.46 ‰
AKMB	C31	1	秋田県	戸平川	SB-161掘立-P1	木材	年輪	5年輪	最外	縄文晩期大洞?	YU-4002	2571 ± 20 BP	-27.01±20 ‰
AKMB	C32	1	秋田県	戸平川	SB-161掘立-P2	木材	年輪	5年輪	最外	縄文晩期大洞?	TKA-17449	2566 ± 30 BP	-25.8 ± 0.5 ‰

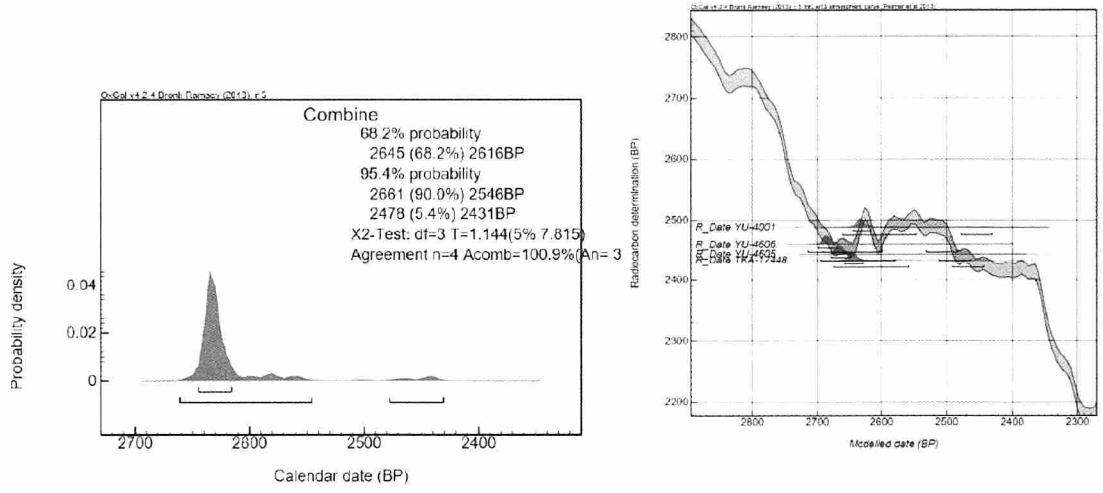


図１　中屋敷Ⅱ遺跡木柱C21ウイグルマッチング　較正年代（Intcal13）確率（Ox cal（Ramsey2013））

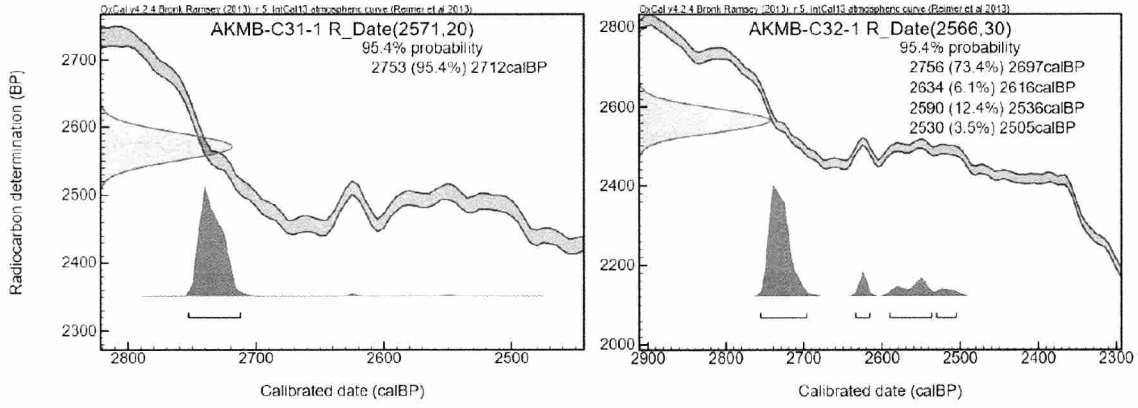


図２　戸平川遺跡木柱C32-1（左）・C32-1（右）　較正年代（Intcal13）確率（Ox cal（Ramsey2013））

本稿は日本学術振興会科学研究費助成基盤研究(B)「炭素 14 年代測定による縄紋文化の枠組みの再構築-環境変動と文化変化の実年代体系化」（課題番号 25284153，研究代表小林謙一,平成 25～29 年度）の成果である。

今村峯雄 2002「三内丸山遺跡の九里材の年代測定結果について」『三内丸山遺跡年報』5

國木田大・吉田邦夫ほか 2006「遺跡の時間情報の解読（II）—炭化材のウイグルマッチング—」『日本文化財科学会第 23 回大会研究発表要旨』

坂本稔・春成秀爾・小林謙一 2006「大阪府瓜生堂遺跡出土弥生中期木棺の年代」『国立歴史民俗博物館研究報告』133 集

小林謙一 2014「炭素 14 年代測定による先史古代竪穴住居の構築状況の研究」『日本文化財科学会第 31 回大会研究発表要旨集』,日本文化財学会

光ルミネッセンス法による北部パキスタン旧石器遺跡の年代推定

Dating of northern Pakistani Palaeolithic sites using OSL method

○ 下岡　順直（立正大学）・野口 淳（NPO法人南アジア文化遺産センター）・
Muhammad Zahir（Hazara University）
○ Yorinao Shitaoka [1], Atsushi Noguchi [2] and Muhammad Zahir [3]
[1] Rissho University, [2] NPO-Japanese Centre for South Asian Cultural Heritage,
[3] Hazara University

ポスター発表

年代測定

古環境

材質・技法

産地

保存科学

文化財科学一般

探査

文化財防災

1．はじめに

北部パキスタンのパンジャーブ州とイスラマバード首都圏にまたがるソアン川流域を含むポトワール台地で発見された旧石器遺跡群（図1）は，礫器を主体とする「ソアニアン」石器群として理解された。それ以来，出アフリカした人類が南アジアから中央アジア方面へ拡散する経路の一つとして，研究史上重要な場所となった。また，「ソアニアン」石器群は，アシューリアン伝統の地域差を説いたモヴィウス仮説（1948）の根拠の一つになった。1970年代以降は，イギリス隊による継続的な調査によって，初期の調査が見直された。理化学的年代もRendell ほか（1989）が残存TL差し引き法を用いてポトワール・レスの年代測定を行い，約22〜136 kaの数値年代を得ている。しかし，現代社会情勢の影響もあり，その後の調査研究は低調で「ソアニアン」石器群の再調査が進んでいないのが現状である。さらに，イスラマバード近郊は，ここ20年ほどの間に急速な宅地開発が進み，旧石器遺跡と確認された場所や露頭が消滅しつつある。そのような中，共著の野口とZahirの間で，当該地域において共同調査を行う許可がパキスタン連邦政府考古・博物館局から下りた。そして，遺跡地点を再確認して地理座標を取得すること，既往調査資料の再評価が行われた（野口ほか2015；2016など）。その際，旧石器遺跡群の年代を再検討する上で重要である，ポトワール・レスが厚く堆積した露頭を確認することができた。そこで，レス堆積物について，光ルミネッセンス（OSL）法による年代測定を行うことができたので報告する。

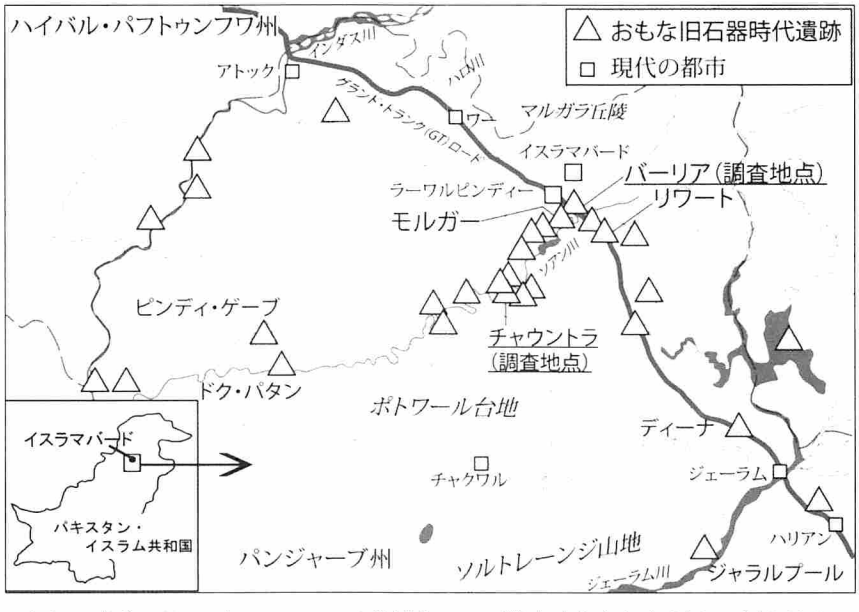


図1　北部パキスタン・ソアン川流域の旧石器遺跡分布と本研究の調査地点

2. OSL 年代測定

旧石器遺跡が確認できているモルガーとリワートの中間地点に位置するバーリア近郊の自然露頭から3試料を，およびソアン川流域のチャウントラ近郊自然露頭から1試料を，OSL 年代測定用試料として採取した。バーリア近郊の自然露頭から採取した試料は，ポトワール・レスと対比可能であり，上位からポトワール・レス相当層最上位（試料1），中位（試料2），ポトワール・レスより下位の砂・シルト混じり層（試料3）である。また，バーリア近郊の自然露頭では，レス堆積物の間に礫層が4枚確認できた。これら堆積状況は，ソアン川流域で旧石器遺跡が形成された当時の自然環境を復原するためにも有効なデータになる。チャウントラ近郊の自然露頭では，河川性とレス性のシークエンスの堆積中部から試料を採取した。

採取した試料は，暗室の中で前処理を行った。そして，バーリアの試料2およびチャウントラの試料からは100 μm 程度の石英を，バーリアの試料1と試料3からは約4〜10 μm の微細石英を抽出した。そして，単試料（SAR）法による OSL 年代測定を行った。OSL 測定には，設計製作した NRL-99-OSTL2KU（下岡ほか 2015）を用いて行った。

表1　OSL 年代測定結果

Sample No.	No. of aliquots accepted/ measured	Paleodose (Gy)	U (ppm)	Th (ppm)	^{40}K (wt%)	Water content (%)	Cosmic dose (mGy/a)	Annual dose (mGy/a)	OSL age (ka)
Bahlia（バーリア）									
1	15 / 18	87.1 ± 3.4	2.43 ± 0.25	12.20 ± 0.79	1.80 ± 0.21	14	0.15	4.13 ± 0.17	21.1 ± 1.2
2	18 / 18	78.5 ± 1.8	2.29 ± 0.25	8.78 ± 0.75	1.23 ± 0.20	7	0.15	2.46 ± 0.16	31.9 ± 2.2
3	15 / 23	316 ± 15	1.94 ± 0.25	11.25 ± 0.78	1.73 ± 0.21	10	0.15	3.94 ± 0.18	80 ± 5
Chauntra（チャウントラ）									
1	15 / 18	42.3 ± 0.96	2.33 ± 0.25	10.28 ± 1.26	1.40 ± 0.15	2.5	0.15	2.87 ± 0.15	15± 0.8

3. 結果と考察

バーリアの試料2と試料3は，露光によって良くゼロリセットされた堆積物試料であったので，Galbraith ほか（1999）が考案した年代モデル（central age model）を適用して OSL 年代を評価した。これに対して，バーリアの試料1とチャウントラの試料はゼロリセットが不完全であった。そこで，Roberts ほか（2008）が考案した年代モデル（finite mixture model）を適用して OSL 年代を評価した。4試料の OSL 年代測定結果を表1に示す。バーリアの3試料の OSL 年代は，層序と整合性があった。また，これら4試料の OSL 年代は，Rendell ほか（1989）による既報ルミネッセンス年代と調和的であった。

4. 今後の展望

今回得られた OSL 年代は，当該地域の旧石器遺跡群の地質編年を再確認する上で重要な結果となった。しかし，測定した地点は，ソアン川流域の一部にすぎない。ソアン川流域の旧石器編年をさらに検討するためには，さらなる OSL 年代データの蓄積やより古い年代を測定できる手法での年代測定が必要であり，今後も調査が続けられることを期待したい。

謝辞

本研究には，第44回三菱財団人文科学研究助成（2015〜2016年度，代表者：野口　淳）および日本学術振興会科学研究費若手研究（A）（課題番号25702011，代表者：下岡順直）の一部を使用した。

日韓産樹木年輪 ^{14}C 年代データの IntCal13 との比較

Comparison between ^{14}C ages of IntCal13 with those from Japanese and Korean tree rings

○中村俊夫(宇宙地球環境研究所)・増田公明(同左)・三宅芙紗(同左)・
箱崎真隆(国立歴史民俗博物館)

○Toshio NAKAMURA (Institute for Space-Earth Environmental Research), Kimiaki MASUDA (ibid), Fusa MIYAKE (ibid), Masataka HAKOZAKI (National Museum for Japanese History)

1. 世界標準の較正データセット IntCal

最近では，さまざまな試料について ^{14}C 年代測定を行う場合，得られた ^{14}C 年代について，^{14}C 年代から暦年代への較正（換算）は不可欠なものとなっている．暦年代較正には，試料を産した炭素リザーバに応じていくつかの較正データが使い分けられる．北半球中緯度に位置する日本の陸産試料の ^{14}C 年代は，一般に世界標準の暦年代較正データ IntCal04/IntCal09/IntCal13 (Reimer et al 2004; 2009; 2013)を用いて較正される．ここで，IntCal の後に付けられている 04, 09, 13 の数字は，暦年代較正データが公開された年号を著す．2004, 2009, 2013 年と，較正データが改訂されてきた．また，南半球産の試料の ^{14}C 年代は，南半球の暦年代較正データ SHCal04/SHCal13 (McCormac et al 2004; Hogg et al 2013)を用いて較正される．IntCal は，主として北米や欧州産樹木の年輪を用いて作成されたものである．SHCal04/SHCal13 は，南半球に位置するニュージーランドやタスマニア島産樹木の年輪を用いて作成されたものである．

2. 日本産樹木年輪の ^{14}C 年代

国立歴史民俗博物館，名古屋大学，山形大学では，さまざまな日本産の樹木について年輪年代と ^{14}C 年代の関係を調査し，IntCal との一致度を比較検討してきた．これまでに日本の研究グループにより調べられた年輪試料の暦年代範囲は，現在から 3000 年前までのうち飛び飛びで 2000 年間程度の範囲であるが，^{14}C 測定の誤差範囲内で，ほとんどの暦年代範囲で IntCal データと大きな矛盾はない．実際，次の項に述べるように，日本産樹木年輪の ^{14}C 年代は，系統的に IntCal13 の対応する ^{14}C 年代に比べて系統的に古い方にズレているが，平均するとズレは測定の誤差範囲内である．しかし，一部の範囲（紀元 1 世紀から 3 世紀）では顕著なズレが生じていることが明らかにされている (尾嵜ほか 2009)．この顕著なズレの時期は弥生後期から古墳中期に含まれている．すなわち，弥生後期から古墳中期にかけては，IntCal04/IntCal09/IntCal13 を較正に使うかぎり，^{14}C 年代測定法では日本産資料の暦年代を正しく推定することができないことになり，日本産試料については，実際よりも 100 年近く古い暦年代が得られる可能性が指摘されている (尾嵜ほか 2009))。このことは，日本の考古

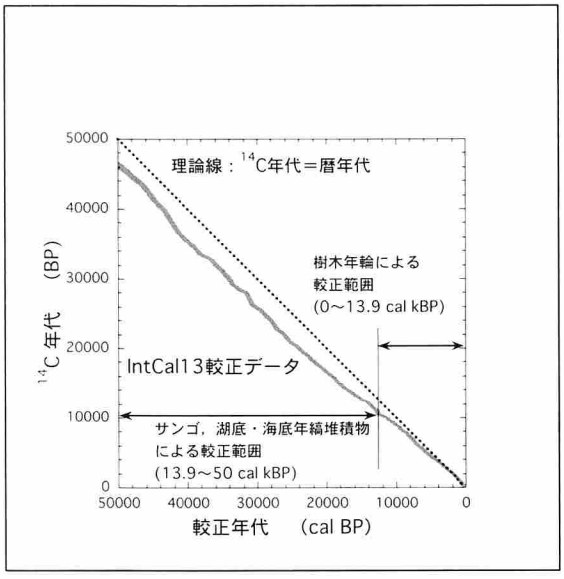


図 1 北半球で産した試料について測定された ^{14}C 年代の暦年較正に用いられる世界標準の IntCal13 較正データ．較正年代が 2～5 万年の区間では，日本の水月湖の年縞堆積物を用いたデータが主役となっている．

学研究，歴史学研究に ^{14}C 年代測定を利用するうえで大きく支障をきたすことになる．

3．名古屋大学の取り組み

名古屋大学では，奈良県産の杉巨木，屋久島産の屋久杉巨木を用いて，過去2000年間の暦年較正データの検討を進めているところであるが，この暦年代区間の屋久杉年輪について，測定された ^{14}C 年代が IntCal04/IntCal09/IntCal13 に比べて，^{14}C 年代値の測定誤差程度ではあるものの系統的に古い方にズレる傾向を見いだしている (Nakamura et al 2013)（図2，表1）．また，今回，日本よりも若干北に位置する韓国の樹木年輪試料の ^{14}C 年代の公表値（Hong et al. 2013a;2013b）を解析したところ，日本の樹木年輪と同様に、韓国試料についても，IntCal13 よりも古い傾向が確認された．この結果を図2に示す．また，日本産、韓国産の樹木年輪の ^{14}C 年代の IntCal13 からのズレをいくつかの年代区間に分けて，それらの平均値を表1に示す．日本産，韓国産樹木年輪の ^{14}C 年代は、IntCal13 に対して系統的に（測定誤差と同程度の大きさであるが）古い年代の方にズレている．

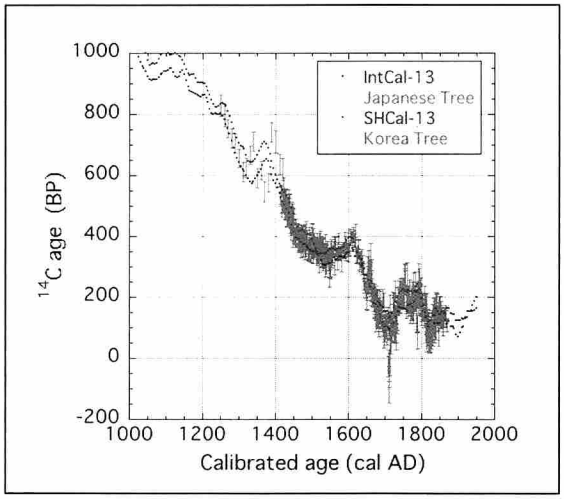


図 2　日本産樹木年輪および韓国産樹木年輪の ^{14}C 年代と IntCal13 との比較

表1　樹木年輪の ^{14}C 年代と対応する IntCal13 の ^{14}C 年代のずれの平均値

樹木名	樹種	分析した年輪範囲	^{14}C 年代のずれ (yr BP) (ΔT=試料・SHCal13 –IntCal13)
室生寺杉	*Cryptomeria japonica*	AD 1790-1860 AD 1617-1739	14±22 (データ数:54) 5±21 (61)
屋久島杉	*Cryptomeria japonica*	AD1413-1615	16±22 (173)
屋久杉	*Cryptomeria japonica*	AD 589-1072 AD 72-382	24±30 (353) 26±36 (93)
青森県下北半島産アスナロ	*Thujopsis dorabrata*	AD 1381-1449	35±22 (35)
韓国産の松		AD1650-1850	6±31 (201)
韓国産の松		AD1250-1650	17±35 (41)
SHCal13		AD 1410-1860 AD 960-1070 AD 1-960	36±14 54± 6 48±15

4．まとめ

このような日本産試料の ^{14}C 年代と IntCal13 暦年較正データとのズレは非常に重大な意味を持っている．すなわち，今回の結果は，日本産試料を IntCal13 で暦年較正すると平均的に20〜30年程度古い較正年代が求まる可能性を示唆する．しかし一方では，個々の ^{14}C 年代値が独自に持つ誤差の可能性（自然環境や人工的な薬物による試料の汚染，年代測定のための試料調製における外来炭素物質の混入，^{14}C 測定における ^{14}C ブランク補正の手続が不適切なことなどによる ^{14}C 測定の不正確さ，などに起因する）が疑われていることも事実である．日本産試料のための独自の較正データ（J-Cal）を作成するためにも，日本産樹木について，精度，正確度の高い ^{14}C 年代値を蓄積することが大切である．

建造物古材のウィグルマッチングが示す日本産樹木年輪の炭素 14 年代

Radiocarbon ages of Japanese tree rings appeared in wiggle-matching of wood members of old building.

○坂本稔(国立歴史民俗博物館, 総合研究大学院大学), 中尾七重(武蔵大学)
○Minoru SAKAMOTO (National Museum of Japanese History, SOKENDAI),
Nanae NAKAO (Musashi University)

1. はじめに

発表者らはこれまで, 炭素 14-ウィグルマッチ法による文化財建造物の年代研究の事例を多数蓄積してきた。その方法は, (1)痕跡復原法などの建築史学的な方法に則って建造物の部材を選択, (2)年輪を観察・計数した上で, 基本的には 5 層を 1 単位とした年輪を数 10 年おきに採取して炭素 14 年代を測定, (3)較正曲線 IntCal との照合を行って部材の最外層の較正年代を導出, (4)伐採年を部材の樹種, 年輪幅, 辺材や周縁部の有無, あるいは木取りの状況といった情報を元に推定, (5)文献記録や様式などを加味して建造物の建築年代を判断する。年輪 5 層を 1 試料とするのは, 照合する IntCal が 5 年おきのデータであることに依拠しているが, IntCal 自身は欧米の主に高緯度地域に生育する樹木年輪の炭素 14 年代を統計学的に処理したものである。較正曲線の形状は, IntCal であれば北半球大気の炭素 14 濃度の変動を広範に代表すると理解される。

中世, 近世日本の建造物古材が示す炭素 14 年代のウィグルは, 基本的には IntCal に沿っている。古民家などに用いられる年輪数の少ない部材であっても, 3 点程度の測定で良好な結果が得られることが多い(中尾・坂本, 本大会報告)。このことは日本列島周辺の大気中炭素 14 濃度の挙動も, 大局的には IntCal と同様であることを示している。しかしながらこれまでの測定で, IntCal と合致しない例が少なからず認められている。過去 500 年分の伊勢神宮神域スギなどの炭素 14 年代が微細な変動を示すことが明らかになり(坂本ほか, 日本文化財科学会第 32 回大会報告), 建造物古材の示す炭素 14 年代のウィグルがこの微細構造を再現する(中尾ほか, 同上)ことから, 日本産樹木年輪の炭素 14 年代, すなわち日本列島周辺の大気中炭素 14 濃度に微細な変動がある可能性を指摘しうる。

検証のためには, 年代の確定した日本産樹木年輪の, 高い精度・確度での炭素 14 年代測定の蓄積が必要であるが, 他方, これまでに蓄積した建造物古材の炭素 14-ウィグルマッチ法の結果を集成することで, この微細構造が再現できるものと考えた。文化財建造物, とりわけ古民家に用いられる部材などは流通に乗らない在地の樹木を伐採, 調達した例が多いと思われ, 詳細に検証することで大気中炭素 14 濃度の地域的な差異も示しうると予想した。

2. 方法

年代測定を実施した建造物古材のうち, 3 点以上の炭素 14 年代を測定したものについて, 較正曲線 IntCal13 に対するウィグルマッチングを行なった。これらは基本的に年輪年代法などによる暦年代の付与はなく, 炭素 14-ウィグルマッチ法で得られた較正年代の確率密度分布曲線における最尤値を暦年代と仮定して IntCal13 上に配した。複数の可能性が生ずる場合は, 建築史学的に妥当と考えられる年代を採用した。

部材の示す炭素 14 年代のウィグルが較正曲線 IntCal の形状に合致しない要因は, 年輪の計測が正しく炭素 14 年代測定が適切であれば, (1)試料採取, 前処理時の汚染物質の混入, (2)平滑化された IntCal 元データの反映, (3)大気中炭素 14 濃度の地域的な差異, に整理される。これらは例外的な結果であり, 一連の測定結果の過半は IntCal に沿うと予想される。すなわち, IntCal から外れた位置に現れる炭素 14 年代は, 日本産樹木年輪の特徴を示している可能性がある。

3. 結果と考察

図 1 に，AD1200 から AD1900 にかけての建造物古材の炭素 14-ウィグルマッチ法の結果を示す。IntCal13 に対する炭素 14 年代のずれは，散発的なものと複数が同様な傾向を示すものとがある。散発的なずれの多くは IntCal13 に対して上方に位置し，実際の年代よりも古い死滅炭素などの汚染を受けた可能性がある。現代炭素の汚染を示唆する下方へのずれも散見されるが，その数は多くはない。

IntCal13 に対し複数の炭素 14 年代がずれる時期として，AD1600 前後，AD1680 前後，18 世紀の前半および後半が指摘できる。AD1600 前後と 18 世紀の挙動は較正曲線が上方に推移する時期で，全球的には活発な太陽活動による太陽風の影響で一次宇宙線が遮られ，大気圏上層での炭素 14 の生成速度が衰え，大気中の炭素 14 濃度が減少する状況にある。Nakamura et al. (2013) が指摘するように，活発な太陽活動が気候に影響するとすれば，東アジアモンスーンの勢力が増し，北半球に比べ炭素 14 濃度の低い南半球の大気が日本列島周辺に及び，IntCal13 よりも古い炭素 14 年代を示すことになる[1]。

AD1680 前後の挙動は，伊勢神宮神域スギの示す傾向と類似する。較正曲線が急峻なこの時期は太陽活動が衰え，全球的には大気圏上層での炭素 14 の生成速度が増加し，大気中の炭素 14 濃度が増加する状況にある。15 世紀から 16 世紀にかけてのシュペーラー極小期，および 17 世紀中頃から 18 世紀初頭にかけてのマウンダー極小期では，太陽活動の低下による気候への影響もさることながら，大気中の炭素 14 濃度の季節変動がより鋭敏になるとの指摘もある[2]。17 世紀後半は IntCal13 の元データにも乱れが認められ，日本産樹木年輪も同様な傾向にあると考えられる。

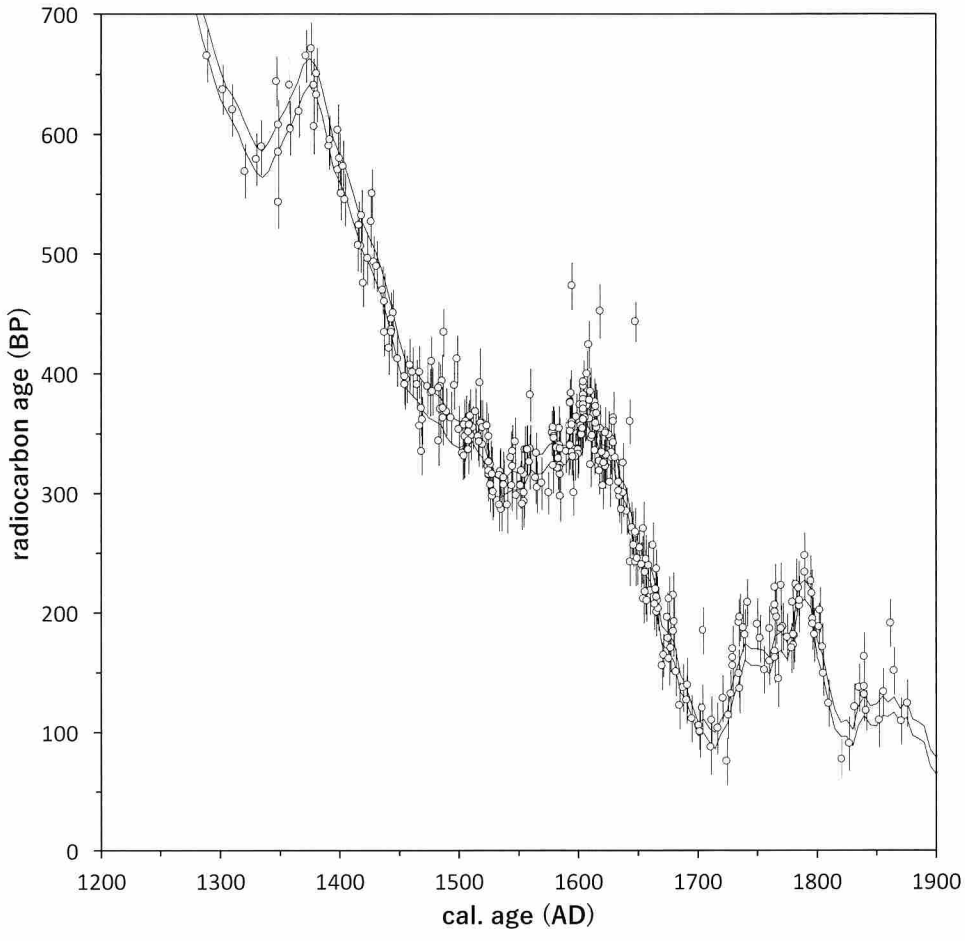


図 1　　IntCal13 に対する中世・近世日本の建造物古材の炭素 14-ウィグルマッチング

[1] T. Nakamura et al., 2013. *Radiocarbon* **55**, 763-770.

[2] B. Kromer et al., 2001. *Science* **294**, 2529-2532.

小氷期と巨大噴火・津波がアイヌ民族に与えた影響 I

-北海道伊達市カムイタプコプ下遺跡調査速報-

The impact enormous volcanic eruptions, tsunamis and the Little Ice Age had on the Ainu I -Preliminary survey report at the Kamuitapukopushita site of Usu in Date City, Hokkaido-

○添田雄二(北海道博物館)・青野友哉(伊達市噴火湾文化研究所)・永谷幸人(北海道教育庁)・渋谷綾子(国立歴史民俗博物館)・中村賢太郎(株式会社パレオ・ラボ)・菅野修広(登別市教育委員会)・松田宏介(室蘭市教育委員会)・三谷智広(洞爺湖町教育委員会)・宮地　鼓(苫小牧市美術博物館)・渡邊　剛(北海道大学大学院理学研究院)・甲能直樹(国立科学博物館)

○Yuji Soeda(Hokkaido Museum)・Tomoya Aono (Date City institute of Funkawan Culture)・Yukihito Nagaya(Hokkaido Board of Education)・Ayako Shibutani(National Museum of Japanese History)・Kentarou Nakamura(Paleo labo Co.,Ltd)・Nobuhiro Kanno(Noboribetsu City Board of Education)・Kousuke Matsuda(Muroran City Board of Education)・Tomohiro Mitani (Toyako Town Board of Education)・Tsuzumi Miyaji(Tomakomai city museum)・Tsuyoshi Watanabe(Hokkaido University)・Naoki Kohno(National Museum of Nature and Science)

1. はじめに

15 世紀から 20 世紀初頭は小氷期(Little Ice Age)と呼ばれる寒冷期で、特に寒冷であった 17 世紀の北海道では巨大噴火・津波も頻発していた。松前藩関連の古文書には寒さと噴火、津波でアイヌ民族に多数の死者が出たと記されているが断片的であり、また、当時のアイヌ民族は文字による記録を残していないためその影響を正確に読み取ることができない。そこで我々は「小氷期最寒冷期と巨大噴火・津波がアイヌ民族へ与えた影響(JSPS 科研費 15H03272、期間:2015～2018 年度)」に着手した。本研究の目的は、(1)1640 年の駒ヶ岳噴火・津波と 1663 年の有珠山噴火に被災した伊達市カムイタプコプ下遺跡を発掘し当時の生活を明らかにする、(2)貝塚出土貝類の安定同位体および微細成長縞分析による気候復元、(3)畑跡での残存デンプン粒、花粉・種子分析による寒冷環境下での栽培作物特定、(4)植物珪酸体分析による積雪量復元からアイヌ民族への影響を推定、(5)貝塚出土の北方系哺乳類骨(セイウチやラッコなど)の年代測定や古代 DND 分析から小氷期との関係を探る、(6)地質調査から巨大噴火・津波の実態を復元し被災状況を明らかにする、ことである。このうち、本発表では、(1)と(3)に関する結果を中心に速報する。

2. 手法、結果

遺跡の発掘は 2015 年度の検土杖調査によって特定した貝塚と畑跡を対象として 2016 年 10 月 13 日と 17～22 日に行い、①微細成長縞解析および安定同位体分析用の貝のサンプリング、②畑跡における作物痕の検出と残存デンプン粒分析用の土壌サンプリング、を主目的とした。発掘は1区の北側の「3区」および北東側の「4区」で行った(図1:発掘面積計約 60 ㎡)

結果、1600 年前後～1640 年頃の貝塚と 1640 年～1663 年の畑跡および作物痕を検出した。火山灰との層位関係と ^{14}C 年代測定(AMS 法)で得られた貝塚の年代は、1区のチセ(住居趾)と一部同時期に存在した可能性を示し、アイヌ民族の生活(村の様子)を明らかにする上で重要な遺構となった。残存していたデンプン粒が示す植物としては根菜類や球根類が推定され、作物痕の形態と合わせて考慮すると、現時点では根菜類を栽培していた可能性が考えられる。また、現在、上記(2)(5)(6)の分析も進行中である。

3. 謝辞

研究の実施にあたり、遺跡の土地所有者である美馬久美子氏、伊達アイヌ協会の諏訪野義雄会長、有珠地区の住民の皆様、石田組土建株式会社、伊達市には多大なご協力を頂いた。厚く御礼申し上げる。

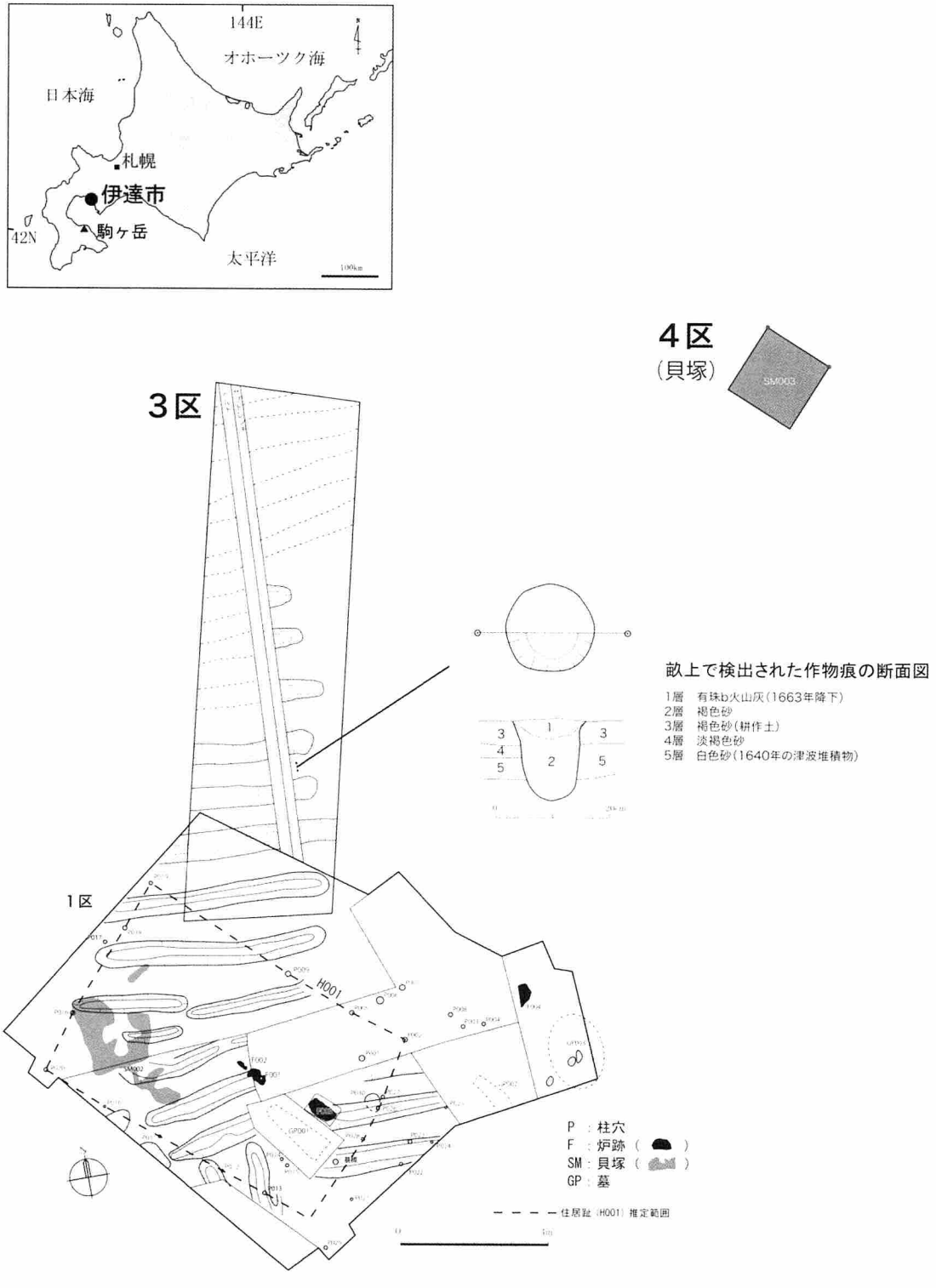


図1 調査区と遺構配置図および作物痕断面図

イネプラント・オパール中に内在する遺伝情報抽出手法の実用化に向けた研究（第1報）

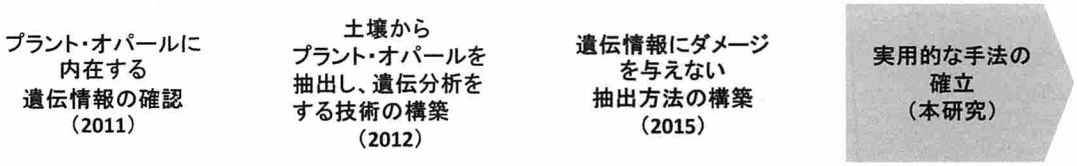
Study for practical use of the technique of salvaging the genetic information existing in the rice phytolith(I)

○宇田津徹朗（宮崎大学）・田中克典（弘前大学）・古賀達朗（宮崎大学）
○Tetsuro Udatsu （Miyazaki Univ.）・Katsunori Tanaka(Hirosaki Univ.)・
Tatsuro Koga(Miyazaki Univ.)

1. はじめに

東アジアの各地各時代のイネの遺伝情報を収集・復元することができれば、稲作の起源や伝播といった時間と空間において連続的に変化してゆく歴史的な事象を復元・実証することが可能となるはずである。今日、遺伝分析の技術は、必要とされるレベルに達してきているが、その一方で、分析対象となる（遺伝情報の給源となる）イネ遺物（種子や植物体など）は、出土が少なく、偶発的で、時代や地域を網羅した分析試料とはなり得ず、大きな障害となってきた。

そこで、筆者らは、2011 年より、時代や地域に関係なく安定して検出されるプラント・オパールに内在する遺伝情報の利用の検討を開始し、現在、その手法は下図のように実用化の一歩前まで来ている。



現段階の技術では、およそ 500g の土壌（現地採取時の重さ）から、遺伝分析に必要なイネプラント・オパールの確保と遺伝情報の抽出が可能である。しかし、500gの土壌を処理する負担は小さくなく、また、粘土粒子の除去もこれまでの沈底法の自動化では効果に限界があるなど、実用化の壁となる課題が明らかとなってきた。ここでは、2016 年に実施したこれらの課題解決の取り組みの概要と成果について報告する。

なお、本研究は JSPS 科研費（課題番号 25560137、課題番号 16H03104）の助成を受けたものである。

2. 取り組みの概要

本研究では、日本国内のいくかの水田遺構土壌を用いた実験を行い、次の2点について検討した。

課題1：プラント・オパール抽出工程の最適化

課題2：供試土壌重量の最小化

【材料と方法】

1）供試試料

日本の東北地方、中部地方、中国四国地方。九州沖縄地方に所在する4つの遺跡の水田遺構土壌を供試した。時代は、以下のとおりである。

東北地方：K 遺跡（弥生～古墳）　　中部地方　　：A 遺跡（弥生～古墳）
四国地方：N 遺跡（弥生～中世）　　九州沖縄地方：I 遺跡（鎌倉～室町）

2）実験方法

「プラント・オパール抽出工程の最適化」は、図 1 に示すとおり、土壌からプラント・オパールを抽出する5つの工程について、各工程で選択できる方法の全ての組み合わせ（12 通り）の抽出処理を行い、以下の2つの基準から最適な抽出工程を検討する。1つの抽出処理には 100g の土壌を供試した。

基準1：抽出試料の質（プラント・オパールの純度や夾雑粒子の有無と程度）
基準2：遺伝情報の抽出実験を行い、抽出の有無と程度

なお、今回の実験では、粘土粒子除去工程は、実験者の拘束時間の短縮に限界があることから、従来の篩による篩別と沈底法を組み合わせた方法から、写真 1 に示したディスポの 20 ミクロンファイルターを装着できる篩を製作し、必要な 20～120 ミクロンの粒子を篩別だけで確保する工程を導入した。

「供試土壌重量の最小化」は、昨年度までの研究により、10mgの抽出プラント・オパールがあれば遺伝情報の抽出が可能という目安が得られていることから、上記の実験で抽出された48組(4遺跡×12通りの抽出工程)のプラント・オパール重量を用いて最低限必要な土壌重量の算定を試みた。

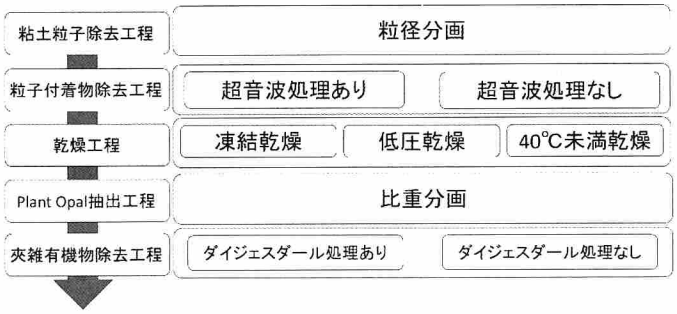


図1 土壌からのプラント・オパール抽出工程とその組合せ

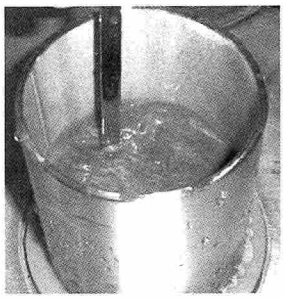


写真1 製作した20ミクロン篩

3. 結果および考察

1)プラント・オパール抽出工程の最適化について

表1は、各条件で抽出したプラント・オパールの重量および、元々の土壌と抽出試料に含まれるプラント・オパール数から算定した抽出率(%)である。抽出率は4～87%と、試料によって大きなばらつきが見られたが、工程の組合せによる際立った違いは認められなかった。しかし、DNA分析に必要な試料重10mgという点では、いずれの条件でも最低限の量が確保できた。

また、「基準1:抽出試料の質」からは、有機物分解処理を行ったものが良好である以外は顕著な差異は認められなかった。また、「基準2:遺伝情報の抽出実験を行い、抽出の有無と程度」からは、超音波と有機物分解処理を行わない抽出工程がやや良好であるという結果を得た。

表1 遺跡土壌からのプラント・オパールの抽出重量と抽出率

超音波処理	乾燥方法			有機物分解	K遺跡		A遺跡		N遺跡		I遺跡	
	凍結	低圧	40℃未満		重量(mg)	抽出率	重量(mg)	抽出率	重量(mg)	抽出率	重量(mg)	抽出率
○	○	−	−	○	370	17%	190	10%	150	29%	190	39%
○	○	−	−	−	640	30%	270	14%	100	19%	210	43%
○	−	○	−	○	810	38%	160	9%	210	40%	20	4%
○	−	○	−	−	620	29%	270	14%	240	46%	80	17%
○	−	−	○	○	620	29%	290	15%	240	46%	20	4%
○	−	−	○	−	600	28%	370	20%	170	33%	20	4%
−	○	−	−	○	680	32%	130	7%	260	50%	60	12%
−	○	−	−	−	1,000	47%	430	23%	200	38%	80	17%
−	−	○	−	○	610	29%	310	17%	200	38%	120	25%
−	−	○	−	−	1,080	51%	580	31%	310	60%	110	23%
−	−	−	○	○	970	45%	320	17%	260	50%	60	12%
−	−	−	○	−	1,010	47%	380	20%	300	58%	420	87%

2)供試土壌重量の最小化について

10mgのプラント・オパールを確保するという点では、表1より最小の抽出重量が100gの土壌から20mgであったことから、理論上は50gまでは土壌重量を減らせる可能性が明らかとなった。

4. まとめ

本研究の結果、概ね一般的な水田土壌を50g以上確保して、超音波処理およびダイジェスダール処理を実施せず、粒径分画と低圧乾燥による抽出工程が適当であると考察される。なお、この工程の場合、処理全体に要する時間は6～13時間であるが、オペレータが拘束される時間は、1.5～2時間程度と従来の方法と比べると大幅に短縮されており、実用化のレベルに大きく近づいたと判断される。

良渚遺跡群荀山地区の試掘調査から推定される水田稲作について

The paddy rice cultivation estimated from the investigation of test trench in the Xun Shan area located in Liangzhu Sites Group.

○ 宇田津徹朗（宮崎大学）・田崎博之（愛媛大学）・中村慎一（金沢大学）・
劉斌（浙江省文物考古研究所）・王寧遠（同）・鄭雲飛（同）
○Tetsuro Udatsu(Miyazaki Univ.), Hiroyuki Tasaki(Ehime Univ.),
Shinichi Nakamura (Kanazawa Univ.), Bin Liu(Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology), Ningyuan Wang(〃), Yunfei Zheng(〃)

1. はじめに

筆者らは、中国において、稲作農耕社会の形成の原動力となり得る水田稲作技術、すなわち、水田を造成し、そこから安定した余剰生産を生み出す水田稲作が成立した時期と地域について研究を進めている。2013 年度より、その有力な候補として浙江省の良渚遺跡群内で広範な水田遺構探査を実施してきた（図1）。これまで探査を行ってきた3つの調査区（上渓村調査区、黄泥口・扁担山調査区、荀山調査区）の中でも、荀山調査区（図 2）が最も安定した水田が存在する可能性が高いことを推定した（宇田津ら 2015）。

ここでは、当該調査区で実施された試掘調査の概要と調査結果から推定される良渚文化期の水田稲作について報告を行う。なお、本研究は JSPS 科研費（課題番号 15H05968）の助成を受けたものである。

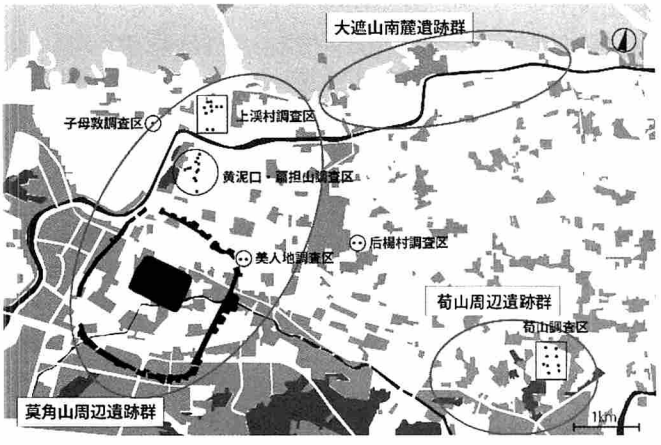


図1 良渚遺跡群における調査区の所在

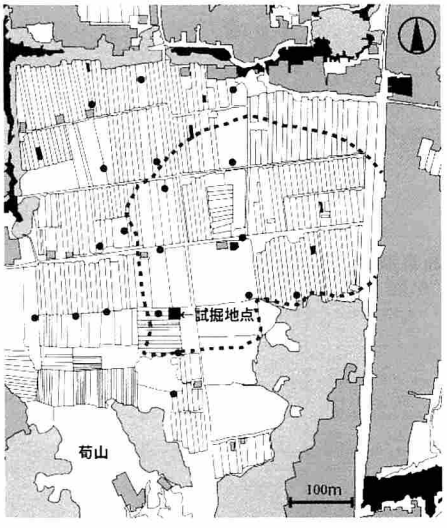


図2 荀山調査区と試掘地点の位置
※●はボーリング調査地点

2. 試掘調査の概要

図 2 に示したとおり、当該調査区で実施したボーリング調査による水田遺構探査の結果、点線で囲んだ範囲に水田が分布する可能性が高いと推定した。試掘地点は、水田推定範囲の西側の湿地へと下がっていく境界部に設定した（試掘面積は約 25 ㎡）。

これは、主に次の理由による。まず、周辺のボーリング調査で良渚文化期の文化層が出土する現地表下 80～120 ㎝に暗色の土壌層が確認でき、その土壌にイネのプラント・オパールが一定密度で含まれていたこと、人為的な攪拌を推定できる偽礫が混じること、そしてイネやカヤツリグサなどの湿地雑草の種子が出土していることに基づく。種子の出土は、試掘によって、水田の年代決定に必要な植物遺体の確保という点も期待される。

試掘調査は、2015 年度 11 月末から浙江省文物考古研究所によって実施され、筆者らは、土層の観察、プラント・オパール分析および粒度分析の試料採取ならびに主要な土層の切り取りを共同で実施した。

3. 試掘調査の結果

図 3 は試掘ピット南壁の土層断面である。断面観察の結果、地表土を 1 層として 11 層に分層でき、堆積相分析から 7 層と 8 層の上層水田、9 層と 10 層の下層水田を確認した。

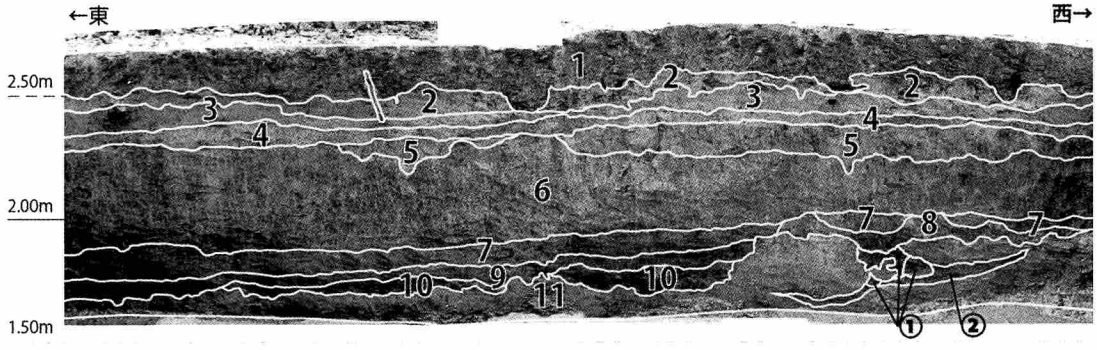


図 3　試掘ピット南壁の土層断面

1 層:褐灰色の分級が悪い粘土質シルト。現在の水田作土。
2 層:褐灰色の極細粒砂混じり質粘土質シルト。　3 層:黄灰色の粘土質シルト。
4 層:黄灰色の分級が悪い粘土質シルト。　5 層:褐灰色の粘土質シルト。6 層との層界は不明瞭。
6 層:灰黄色の分級が悪いシルト質極細粒砂。　7 層:褐灰色の分級が悪い偽礫が少量混じるシルト。
8 層:黄灰色シルト。下底面に耕作痕と考えられるトラフ形や V 形の落ち込み。
9 層:褐灰色の分級が悪いシルト(11 層由来の偽礫が 混じる)。
10 層:灰色の分級が悪いシルト(11 層由来の偽礫が多い)。下底面の層理に耕作痕跡と考えられるトラフ形や V 形の落ち込み。
11 層:灰白色の極細粒砂。細粒砂のラミナを観察できる。
※図の右側の数値は標高、①は樹根痕、②は 11 層中の黒褐色有機質土のレンズ状ブロック。

4. 考察とまとめ

1)検出された水田層の帰属年代について

試掘調査では、6 層と上層水田である 7 層から黒皮陶を含む良渚文化期中期～晩期の土器が出土した。また、7～10 層から切り取った土壌を水洗選別して得られた炭化物片で C14 年代測定を行った。その結果、下層水田(9・10 層)は BC2900 年前後の良渚文化中期の水田、上層水田(7・8 層)は、測定に用いた炭素が微量で、根痕など上層の影響を視野に入れておく必要があるが、BC13～15 世紀、殷早期もしくは馬橋文化後半期に併行する時期の水田であると推定できる。

2)試掘結果ならびに各種分析結果から推定される荀山遺跡群における水田稲作について

【試掘地点の水田環境と生産性について】

7～10 層の切り取り壁状資料の土壌構造分析で、偽礫(mud-chip)とラミナ(lamina、葉層)を確認でき、下層水田下半の 10 層は常に地下水でみたされた環境下にあったことを推定した。これに対して、下層水田上半の 9 層では 2 次団粒と考えられる集塊(ped)が観察され、試掘地点の水田は、作土の上半が地下水の変動域に含まれ、季節によっては地下水位が低くなり作土から水分が抜けた状態になる「生産性が低い強湿田～湿田」であったと推定される。実際、土壌のプラント・オパール分析の結果、イネプラント・オパールの検出密度は 1,300～1,400 個／g であり、日本の同様な状況の水田の分析結果にほぼ相当する。

【良渚遺跡群における水田稲作について】

さらに、10 層に混じる偽礫(mud-chip)とラミナ(lamina、葉層)に変形構造を確認でき、層界部の形状をあわせ、石犂や破土器によって耕起され、9 層も人為的に繰り返して攪拌(耕耘)されたと判断される。このことは、10 層は造田時に形成され普通は耕起が及ばない芯土部分、9 層は頻繁に耕耘が行われる作土部分であることを意味する。

今後、さらに試掘域を広げた検証が必要であるが、荀山遺跡群における水田稲作は、図 2 に示した水田分布域の中で湿地を人工的に水田適地に改変(基盤整備)する段階に到達していたと推定される。

東日本における馬給餌の歴史−同位体化学分析による検討−

History of horse feeding strategies in Eastern Japan revealed through isotope analysis

○植月　学(弘前大学)・覚張隆史(金沢大学)
Manabu Uetsuki (Hirosaki University), Takashi Gakuhari (Kanazawa University)

1. はじめに

近年、遺跡出土動物遺体を用いた同位体化学分析の研究手法が欧米のみならず東アジアの諸地域においても積極的に応用され始めている。特に、歯エナメル質の炭素同位体分析は、全摂取食物の割合を評価するうえで精度の高い手法で、文献情報との対応関係を議論するうえでも有力な指標といえる。

日本において給餌記録が比較的多い動物種として馬があげられる。特に東日本内陸部は古代から中世にかけて古代に御牧が設置され、馬の給餌内容を記した文献との比較検討に適した地域である。そこで、本発表では東日本内陸部の遺跡出土馬の臼歯エナメル質の炭素同位体分析により食性を推定し、各時代の給餌形態の変化を検討することを目的とした。

2. 資料と方法

山梨県遺跡出土馬の給餌形態を復元するために、古墳時代〜中世の8遺跡より、計21点の試料を分析した。分析は(1)歯エナメル質のサンプリング、(2)エナメル質粉末の前洗浄、(3)歯エナメル質の炭素同位体比測定の順でおこなった。方法の詳細は、覚張(2015)を参照されたい。

3. 分析結果

歯エナメル質の炭素同位体比測定の結果、各遺跡の値は-10.9から-4.2までの幅広い値を示した(図1)。各遺跡出土馬間で炭素同位体比の分散および平均値に差があるか評価するため、多群間における分散および平均値の差の検定を実施した（バートレット検定およびスティール検定)。その結果、歯エナメル質の炭素同位体比の分散に集団間で有意な差がないものの、平均値は有意な差が示された（$P<0.01$)。特に、坂ノ上姥神遺跡および三ヶ所遺跡は、他の遺跡よりも有意に高い炭素同位体比を持つことが示された（$P<0.05$)。

4. 考察

今回の分析では(1)年齢に応じた給餌形態の変化、および(2)古代から中世にかけての時期的変化が示された。

(1)年齢に応じた給餌形態の変化については古代(奈良時代末〜平安時代初期)に属する地耕免遺跡において、2歳齢から4歳齢にかけてC4植物摂取割合が大きく上昇することが確認できた(図2)。このような例はすでに古墳時代の群馬県三ツ寺Ⅰ・Ⅱ遺跡や古墳時代〜飛鳥時代の奈良県南郷大東遺跡でも報告されており、年齢に応じた給餌形態の変更や『厩牧令』に見られる給餌規定との関連も論じられている(覚張2015、青柳ほか2016)。本遺跡例も自然とは考えにくく、人為的な給餌の変更が行われていたと推測される。

(2)時期的変化については、古墳時代から古代の馬はC3植物摂取の割合が多いものの、中世以降になるとC4植物の摂取割合が全体的に上昇する傾向が見られた(坂ノ上姥神遺跡、三ヶ所遺跡)。中世以降でみられるこの給餌形態の変化は雑穀(C4植物)を基軸とした農業・畜産文化の成立・広がりと関連している可能性がある。一方で、中世の2遺跡はいずれも相対的に標高の高い地域に位置し、水稲耕作に不向きであることから、こうした立地環境の差が給餌に影響している可能性も排除できない。本発表では他地域のデータも加味しながら、上記仮説のいずれが妥当であるかさらに検討を加える。

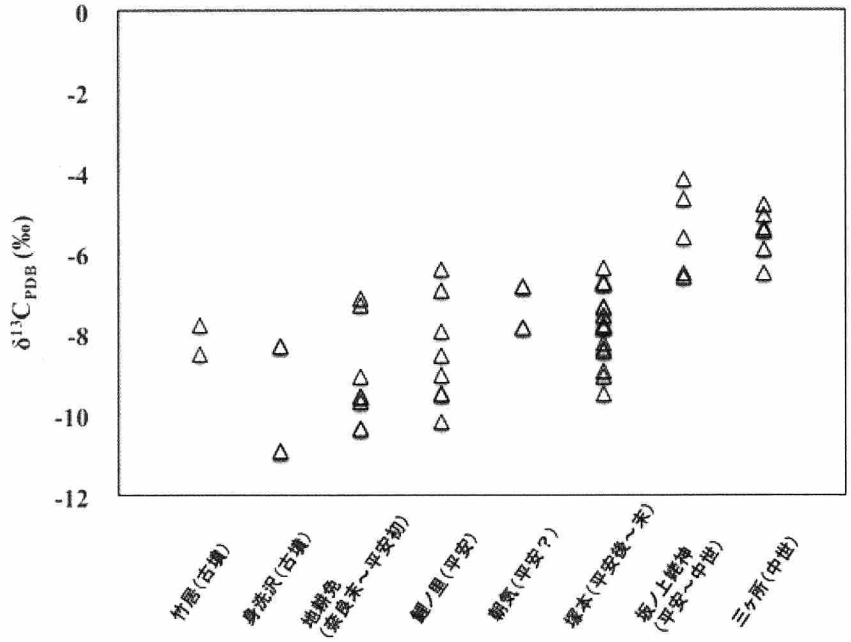


図１　各遺跡の炭素同位体比の分布

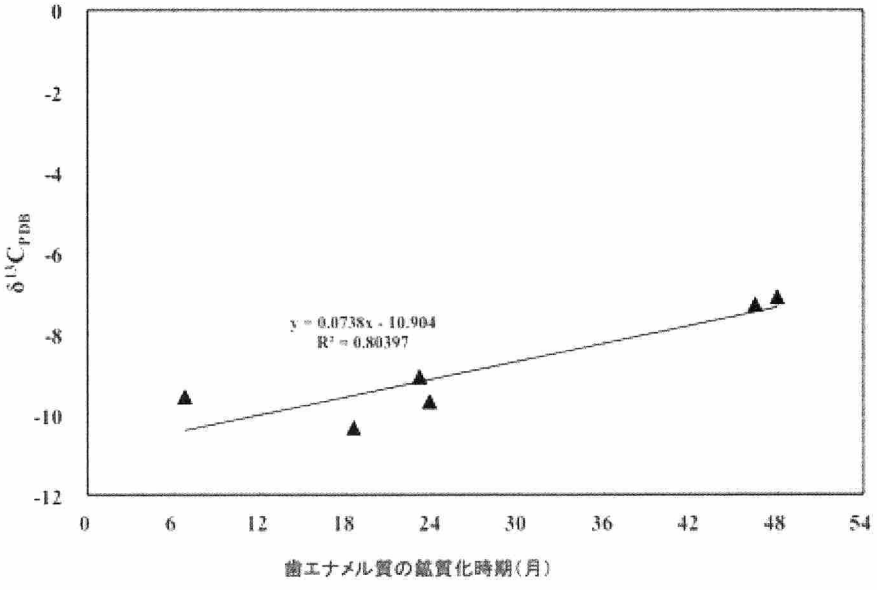


図２　地耕免遺跡における炭素同位体比の加齢変化

引用文献

青柳泰介・覚張隆史・丸山真史（2016）「南郷大東遺跡から出土した馬歯の化学分析－安定同位体分析による食性および生育環境の復元の試み－」『青陵』146. pp.1-3.

覚張隆史（2015）「歯エナメル質の炭素安定同位体比に基づく三ツ寺Ⅰ・Ⅱ遺跡出土馬の食性復元.」『動物考古』32　pp. 25-37.

イネプラント・オパール中に内在する遺伝情報抽出手法の実用化に向けた研究（第2報）

Study for practical use of the technique of salvaging the genetic information existing in the rice phytolith (II)

○田中克典（弘前大学）・宇田津徹朗（宮崎大学）・古賀達朗（宮崎大学）○Katsunori Tanaka (Hirosaki Univ.), Tetsuro Udatsu (Miyazaki Univ.), Tatsuro Koga (Miyazaki Univ.)

1. はじめに

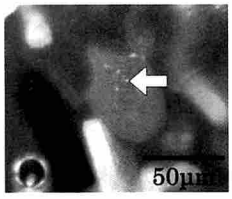
遺跡から出土したイネ遺物は稲作の発達段階を検討する研究において重要な資料である。中でもイネ種子は好適な資料であるが、検出が偶発的で、その頻度や量に限りがある。一方、プラント・オパールは時代や地域に関係なく安定して遺存しているので、演者らはプラント・オパールに内在する遺伝情報（DNA）に着目してきた（第 1 図）。これまでの研究ではプラント・オパールの抽出工程に改良を重ねながら遺伝分析まで実用可能な一歩前まできている。

実用化にむけて、宇田津ら（本大会）はプラント・オパールの抽出方法に関わる課題について検討結果を報告した。そこで、本報では DNA 復元の側面から最適な抽出方法を見いだすべく、下記の課題を検討した。

課題 1：DNA 領域やその長さによる復元の難易度

課題 2：DNA 復元に必要な最低濃度

なお、本研究は JSPS 科研費の助成を受けたものである（課題番号 25560137、16H03104）。



第 1 図　DAPI 染色したプラント・オパール
試料は 40℃未満で乾燥処理後に DAPI 染色し、蛍光顕微鏡で撮影した。図中の矢印は DAPI で染色されたイネの DNA。

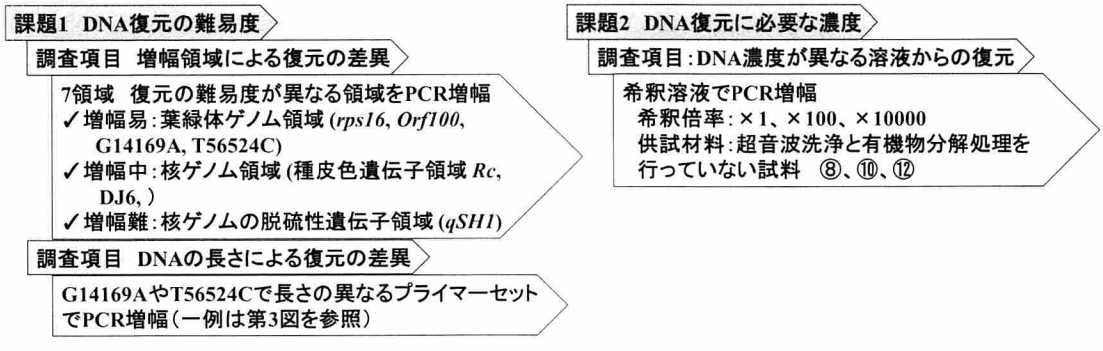
2. 供試材料

供試材料は N 遺跡の水田土壌（四国地方，古代末～中世）に由来する①～⑫のプラント・オパールで、左表で示した5つの工程を組み合わせて採集された。その詳細は宇田津ら（本大会）を参照されたい。①～⑫について 10mg を超純水で洗浄し、外部の DNA を DNaseI（Takara Ltd, Japan）で分解した。内部の DNA はプラント・オパールを破砕に Mutou et al（2014）の方法で抽出して、第 2 図の 2 つの課題に利用した。各課題において、標的領域の有無は特異的プライマーで 2nd PCR 法で増幅後に、PCR 産物をアガロース電気泳動することで確認した。反復の数は 5 とした。

第1表　供試材料の採集条件と条件別試料番号

試料番号	超音波洗浄	乾燥方法			有機物[1)]分解処理
		凍結	低圧	40℃	
①	○	○	−	−	○
②	○	○	−	−	−
③	○	−	○	−	○
④	○	−	○	−	−
⑤	○	−	−	○	○
⑥	○	−	−	○	−
⑦	−	○	−	−	○
⑧	−	○	−	−	−
⑨	−	−	○	−	○
⑩	−	−	○	−	−
⑪	−	−	−	○	○
⑫	−	−	−	○	−

[1)]ダイジェスダール分解処理である。

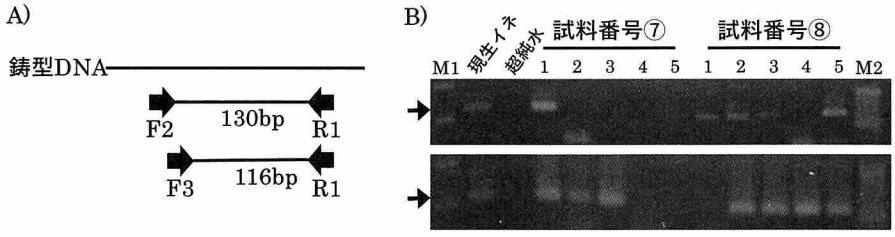


第2図　本研究における課題と各課題における調査項目

3. 結果

課題 1 DNA 復元の難易度

標的領域と同じ長さの DNA 断片はプラント・オパールから抽出した DNA 溶液から復元できた（第 3 図）。



第3図 プラントオパールから抽出したDNA試料におけるG14169Aマーカー領域の分析
A) G14169Aマーカー領域におけるイネ特異的プライマーセットおよびPCR増幅産物の期待サイズ。**B)** G14169Aマーカー領域のイネ特異的プライマーセットでPCR増幅した産物の電気泳動。***上側***: F2-R1プライマーセット領域、***下側***: F3-R1プライマーセット領域。***M1***: 100bp DNA Ladder, ***M2***: 20bp DNA Ladder。矢印は標的DNA領域のサイズ。

ただし、その検出頻度は核ゲノムの *qSH1* や IDJ6 の領域で低かったのに対して、葉緑体ゲノム領域や核ゲノムの *Rc* 領域で高かった（第 2 表）。特に *rps16*、*Orf100* や G14169A の復元は、超音波洗浄やダイジェスダール分解を行っていない試料で容易であった。また、G14169A や T56524C では 116bp 以下の短い領域は復元されやすかった。

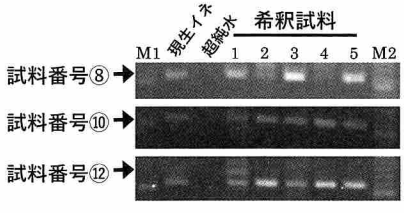
第2表 プラントオパールから抽出したDNA試料のPCR産物における標的DNAの検出数

領域名	遺伝子/遺伝子間	プライマーセット	増幅長[1] (bp)	試料番号[2] ①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
葉緑体ゲノム															
rps16	遺伝子間	F2-R2	144/152	2	3	1	4	3	1	3	3	3	4	3	4
Orf100	遺伝子	F1-R2	100/162	0	0	0	3	1	1	0	1	1	1	1	1
G14169A	遺伝子間	F2-R1	130	0	2	1	2	3	4	1	4	1	5	2	2
		F3-R1	116	2	3	2	2	4	5	3	4	3	2	4	5
T56524C	遺伝子間	F4-R1	158	4	4	1	3	2	3	2	4	1	3	2	1
		F1-R1	134	5	5	5	4	5	5	4	4	5	4	4	5
核ゲノム															
Rc	遺伝子	F7-R1	130/144	3	3	5	4	2	2	2	4	2	5	3	4
qSH1	遺伝子	F1-R1	71	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IDJ6	遺伝子間	F5-R2	99	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	1

[1]複数の数値が記載された領域では、増幅長はジャポニカとインディカとで、また褐色種皮イネと赤色種皮イネとで異なる。
[2]第1表参照。各試料で5本のDNA溶液を抽出ならびに分析に利用した。

課題 2 DNA 復元に必要な濃度

G14169A の F2 と R1 プライマーセットを用いて、等倍ならびに 100 倍や 10000 倍に希釈した溶液を PCR 増幅したことで、標的領域と同じ長さの DNA 断片は試料番号⑧、⑩および⑫で認められた。ただし、DNA 断片が 10000 倍では検出できたが 100 倍では検出できない溶液もあり、その増幅は安定していなかった。



第4図 10000倍に希釈したDNA溶液におけるG14169A領域の分析
プライマーセットはF2とR1を用いた。
M1: 100bp DNA Ladder, ***M2***: 20bp DNA Ladder。
矢印は標的DNA領域のサイズ。

4. まとめ

10mg のプラント・オパールに内在する DNA を復元するためには、下記の点に注意すべきであることがわかった。

・試料は宇田津ら（本大会）が提示したように超音波洗浄とダイジェスダール分解を実施しない。
・復元する領域の長さは 120bp 程度がよい。ただし、核ゲノム領域の増幅は難しい。
・反復を重ねることで抽出溶液の希釈溶液から DNA が復元可能で、溶液の量的増加が見込める。

今後、分析する場所と分析者を新たに設けることで分析手法の汎用性を高める。

ポンペイ遺跡における壁画技法および保存状況調査

The wall painting technique andconservation condition survey at the archaeological site of Pompei

○前川佳文（東京文化財研究所）・モニカ・マルテッリ・カスタルディ（スオル・オルソラ・ベニカーザ大学）・グイド・ボッティチェッリ（フィレンツェ国立修復研究所）・ステファーニア・フランチェスキーニ（保存修復 S.F）

○Yoshifumi MAEKAWA (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo)・Monica Martelli CASTALDI(Suor Orsola Banincasa University of Naples)・Guido BOTTICELLI(Opificio delle Pietre Dure)・Stefania FRANCHESCHINI(S.F.Restauri)

1. はじめに

カンパーニア州ナポリ県（イタリア）のポンペイ遺跡は、79年に発生したヴェスヴィオ火山噴火によって地中に埋もれた稀有な遺跡であることから広く知られている。1748年に発掘調査がはじまって以降、壁面を彩る数々の壁画が発見されると、当時の人々の暮らしを知るうえでの貴重な資料として、また、その美しい表現方法や彩色技法から古代ローマを代表する美術作品として、多くの人々を魅了し続けてきた。本研究では、ポンペイ遺跡に残された壁画の状態観察を通じて、この地に伝えられた古代ローマの壁画技法について考察を試みるとともに、技法と今日みられる保存状態の関連性に着目しながら、その劣化状況や保存修復方法について検討を試みるものである。

2. ポンペイ遺跡にみられる壁画の特徴

2−1. 壁画の様式

ドイツの考古学者アウグスト・マウによると、ポンペイの壁画は紀元前150年頃から火山噴火に見舞われるまでの約230年間の間で、第一様式（紀元前150年～紀元前80年）、第二様式（紀元前80年～紀元前14年）、第三様式（紀元前14年～60年）、第四様式（62年～79年）の4種類のスタイルに分類できると提唱されている。[1]

2−2. 壁画の技法

2−2−1. 漆喰層

煉瓦建造物の壁に描かれたポンペイの壁画には、砂やポゾラン、ブリックパウダーなどの骨材と消石灰を練り合わせた漆喰が使用されている。漆喰層が部分的に剥落している複数の壁画を対象に目視観察を行ったところ、その調合度合いや使用骨材の種類は一様でないことが確認できた。また、層構造に関しては、古代ローマの壁画技法の特徴のひとつである多層塗り工法（写真1）が採用されており、厚いところでは12cmにも及ぶ。漆喰を塗布するに当たっては、組まれた足場に沿って平行に作業を進めるポンターテ法が採用されているが、大壁面においても作業工程の指針となる継ぎ目は目立たない様に処理されており、高い左官技術が伺える。

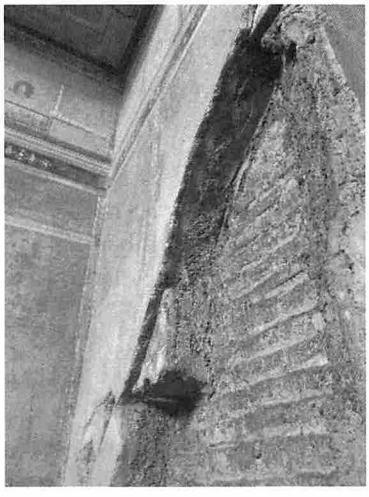


写真1　多層塗り工法

2−2−2. 彩色層

ポンペイ遺跡内の壁画は、セッコ画技法で描かれているものと、フレスコ画技法で描かれているものが確認できるが、彩色層の目視による観察の結果、その大半はフレスコ画技法の中の2種類の技法を組み合わせたフレスコ画混合技法であることが分かった。細密に描かれた装飾が剥落した箇所からは、背景色と同じ彩色が露となっていることから（写真2）、二層に描き分けられており、細密描写箇所は僅かに盛り上がっていることが確認できる（写真3）。以上のことから、彩色手順としては、一般的なフレスコ画技法で背景色を塗りあげたのち、顔料に消石灰を加えて描くビアンコ・ディ・カルチェ技法で時間を要する細密描写がなされていると考えられる。ビアンコ・ディ・カルチェ技法は、本来漆喰が乾燥するまでに描きあげることが義務付けられるフレスコ画技法の中でも、顔料に混ぜる消石灰がバインダーの役割を果たすことから制作時間を長く保つことができる。装飾表現が繊細さを増すにつれ、必要に迫られて生み出された制作手順といえるのではなかろうか。

写真２　彩色層の剥落箇所

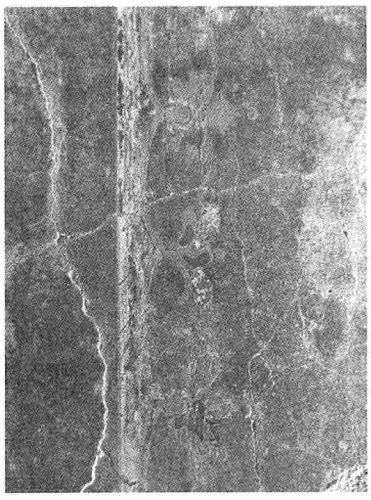


写真３　フレスコ画混合技法

3. 壁画の保全状況

ポンペイ遺跡は約100ヘクタールにも及ぶ広大な面積を有し、今日に至るまでにはこの広大な遺跡を守るために様々な修復活動が繰り返されてきた。その結果、統一感を欠いた介入方法が乱立し、それは、壁画にも大きな影響を与えている。ここでは数々の問題点の中から、近年特に問題視される症状について取り上げるものとする。

2－1. 漆喰層における問題点

前述したように、ポンペイの壁画は古代ローマ様式の特徴のひとつである多層塗り工法が適用されていることから、各層間での剥離が深刻な問題となっている(写真4)。特に雨曝しの環境下に置かれた壁画は、漆喰層が厚みをもつがゆえに水分を長時間内部に取り込む傾向にあり、このことが原因で炭酸カルシウムの溶解を促し、剥離発生に繋がっていると考えられる。また、ポンペイの壁画は表面に光沢を帯びたものが数多くみられるが、その原因のひとつとして、鏝による最表層の押さえ作業が挙げられる。こうして表面に圧力をかけることで漆喰内部に含まれる水分は表面に浮かび上がり、結果、壁画の制作時間を長く確保することができる。こうして密度高く仕上げられたことが壁画内部の水分の揮発経路を塞ぎ、上記した剥離の原因に繋がっていることは否定できない。

写真４　フレスコ画混合技法

2－2. 彩色層における問題点

ポンペイにおける過去の修復では、彩色層に蜜蝋や合成樹脂を塗布する処置方法が頻繁にとられていた。ひとつは、ポンペイの街が海岸線に近く湿気の影響を受け易いという理由から防水効果をねらったもの。もうひとつは、彩色層の補強と発色を際立たせる目的のためである。こうした塗布物は表面に皮膜を形成し、ニスがけしたような強い光沢を放つ。こうした処置が、壁画本来のオリジナル性を損ねるだけでなく吸放湿性能を著しく低下させ、彩色層の劣化を促す要因になっていると考えられる。

4. まとめ

今回の調査を通じ、壁画の彩色技法や制作工程を理解することで、現時点において確認できる損傷要因を特定することができた。また、遺跡に残された壁画群を対象に考えた場合、その性質や周辺環境から根絶することが不可能な傷みがあることも理解できた。今後は、「改善」や「抑制」をテーマにした保存修復方針も念頭に置きながら、ポンペイ遺跡の壁画に適した保存修復方法の開発研究を続けてゆく。

1) August Mau, *Geschichte der decorativen Wandmalerei in Pompeji*, Berlin, G.Reimer, 1882.

＊本研究は、科学研究費助成事業［基盤研究(B)(課題番号：16H05640)］の成果の一部である。

陶磁器の上絵層における有機物分析の試み
－赤外放射光分析による焼成に伴う膠成分の変化に関する検討－

Attempt to analyze organic materials in overglaze color layers of ceramics
- Analysis of the glue ingredients in calcination by synchrotron radiation FT-IR-

○樋口智寛（東京都立産業技術研究センター）、二宮修治（東京学芸大学）、
新免歳靖（東京学芸大学）、水本和美（東京藝術大学）
○Tomohiro Higuchi(Tokyo Metropolitan Industrial Technology Research Institute),
Shuji Ninomiya(Tokyo Gakugei University), Toshiyasu Shinmen(Tokyo Gakugei University),
Kazumi Mizumoto(Tokyo University of the Arts)

1. はじめに

陶磁器の製作年代や技法等の解明手法の一つとして、胎土や釉薬についての成分分析が広く行われている[1]。また陶磁器の製作には、加飾技法などに膠やろうなどの有機物も用いられており、本研究では、製作に用いられた膠やろう等の有機物を焼成後の陶磁器から判別することを最終目標とし、高感度分析を試みている。これまでに、膠を混合した上絵具を用いてガラス板に上絵付けしたモデルを作製し、その断面に対して飛行時間型二次イオン質量分析計（TOF-SIMS）による分析を行った結果、焼成後の上絵層に有機物が残存していることが分かっている[2,3]。今回、残存有機物成分の同定に向けた試みの一つとして、上絵付け焼成中における膠の経時変化を捉えることを目的とし、赤外放射光を利用した赤外分光光度計（synchrotron radiation FT-IR）によるその場観察を行った。

2. 実験

試料として、市販されている上絵具（有田錦古代赤、梶山工芸製）および粒膠（吉祥製）を用いた。粒膠をイオン交換水へ 24 時間浸漬した後、60℃にて湯煎および攪拌して、約 10%(m/m)粒膠溶液を作製した。上絵具 1gに粒膠溶液1mlを加え、混合した後、ふっ化カルシウム板（ピアーオプティックス製）へ刷毛を用いて塗布し、上絵付けのモデル試料を作製した。IR 分析は、大型放射光施設 SPring-8（ビームライン 43IR）の赤外放射光を用いた赤外顕微鏡（Bruker Hyperion2000）を使用し、空気気流中において室温から 600℃まで試料を加熱しながら、透過法により行った。また焼成条件による膠の変化の差異を確認するため、試料の昇温を 100℃/時間および 10℃/分とし、さらに分析箇所による成分変化の差異を確認するため、複数箇所の分析を行った。

3. 結果および考察

IR 分析は温度毎に複数箇所について行ったが、得られたスペクトルからは分析箇所間での大きな差異は確認されず、試料の加熱状態はほぼ均一であると推定された。そのため、任意の1箇所から得られたスペクトルを図1に示した。図中のスペクトル左に分析時の試料温度を記載した。膠の主成分であるタンパク質由来の 3300 や 1700-1200cm^{-1} 付近の吸収に注目すると、昇温速度 100℃/時間および 10℃/分の両試料共に、未焼成から240℃までの温度範囲において、吸収強度の顕著な変化は確認されなかった。焼成が 300℃まで達すると、100℃/時間の試料では、タンパク質がほぼ消失していたものの、

10℃/分の試料では残存していることが確認された。焼成 380℃以上では、両試料共に、タンパク質由来の顕著な吸収は確認されなかった。これらから、TOF-SIMS による既往の研究において残存が確認された上絵付け焼成後の有機成分の同定には現状ではつながっていないものの、上絵付け焼成時の昇温条件が、焼成後の残存有機物成分に関与する可能性があることが示唆された。

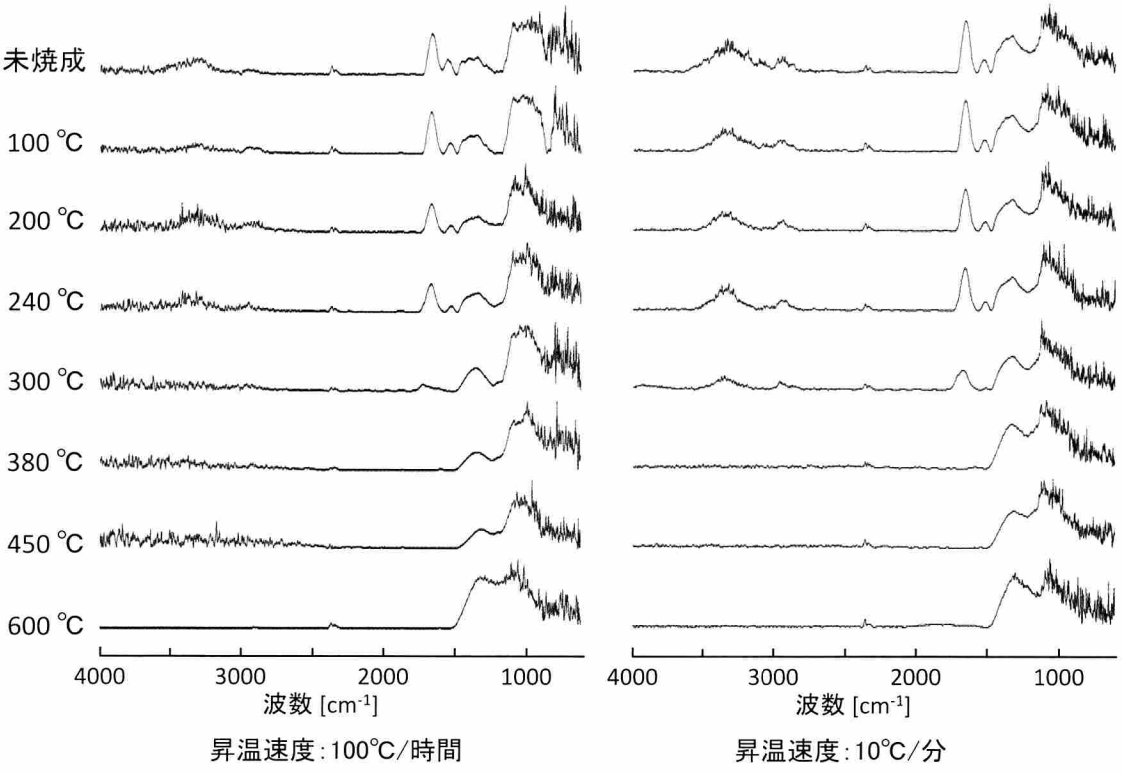


図1　焼成による伴う赤外分光スペクトルの変化

4. まとめ

陶磁器の上絵層における残存有機物成分の同定に向けた試みとして、上絵付け焼成中における膠の経時変化を、赤外放射光を利用した赤外分光分析により、その場観察した。その結果、上絵付け焼成時の昇温条件の違いにより、膠の分解挙動が異なることが明らかとなり、また焼成後の残存有機物成分に関与する可能性があることが示唆された。

謝辞　本研究は JSPS 科研費 JP25560139 および JP16K01188 の助成を受け、また SPring-8 利用課題 2016B1795 として行われた。

参考文献

1) 新免歳靖、岡野智彦、二宮修治、初期および中期ラスター彩陶器の胎土分析による生産地推定、総研大文化科学研究　6、99(2010)

2) 樋口智寛、二宮修治、陶磁器の上絵層における有機物分析の試み－焼成後における有機物材料残存の可能性について－、日本文化財科学会第31回大会研究発表要旨集、258(2014)

3) 樋口智寛、二宮修治、陶磁器の上絵層における有機物分析の試み－焼成に伴う膠成分の変化を中心に－、日本文化財科学会第32回大会研究発表要旨集、208(2015)

放射光X線マイクロCTを用いた松尾大社神像群の樹種調査

Wood identification of Deity statues by using synchrotron X-ray microtomography

○田鶴寿弥子(京都大学)、杉山淳司(同左)
○Suyako Tazuru-Mizuno, Junji sugiyama (Kyoto University)

概要

木彫像の中でも比較的研究が遅れている分野である神像彫刻に使用されている樹種を明らかにすることは、神仏習合といった様々な影響を考える上でも重要な知見となりうる。本研究では、数多くの神像が現存していることが明らかとなった京都府京都市に位置する松尾大社の神像群を対象として樹種調査を行った。近年、木質文化財の樹種調査においては、従来の顕微鏡観察に加えて様々な手法が開発されているが、本研究ではごく僅かな試料に対して有効な手法である放射光X線マイクロCTによる識別手法を適用した。その結果、目視によりケヤキやクスノキの使用が推定されてきた神像群について、カヤやケヤキをはじめとした樹種の使用を明らかとすることができた。松尾大社の神像は、仏教との接触が比較的弱い地主神・祖先神であり、神仏習合の影響を多く受けた神像群との差を見る上でも、樹種の情報は重要な意味を持つ可能性が推察される。

1. はじめに

近年、これまで多くがヒノキ製と考えられてきた8-10 世紀の仏像彫刻の多くがカヤ製であることが科学的手法で明らかにされ、美術史や宗教史に新たな知見がもたらされた[(1)-(3)]ように、文化財における樹種識別はより重要度を増している。木彫像の中でも、仏像にくらべ数量的にも少ない他、調査の機会に乏しかった神像についても、近年徐々に調査研究が進んできており、神像の情報を網羅的にまとめた書籍も発行されてきている。日本における神像の美術史的意味、技法など、これまで渋滞していた神像に関する研究が飛躍的に進展していくことが期待されている。

そのような流れの中で、神像彫刻においても、材質情報がフォーカスされつつある。神像彫刻は、神仏分離・廃仏毀釈による影響、神像が仏像と異なる様式や構造的特徴を持ち、独自の史的展開を遂げた点、或いは、造像銘のある像が稀少で、平安時代に遡るものが皆無に近い点などにより調査が遅れてきたが、体系的調査とデータベース構築が求められている。

本研究で調査を行った京都府京都市松尾大社の神像群は、秦氏の信仰を受けたものである。これらについて樹種を調査することは、これまで不明な点が多いとされてきた、仏教との接触が比較的弱い地主神・祖先神について、新しい情報を付与するものとして期待される。

2. 試料と方法

京都府京都市に位置する松尾大社の神像群のうち 17 点を対象とした。松尾大社、京都府教育庁文化財保護課文化財保護技師および和歌山県立博物館館長の立ち会いのもと、神像を傷つけることなく、神像から剥落した微細木片を採取し、兵庫県の大型放射光施設(SPring-8)の医用ビームライン BL20XU に持参し、放射光X線マイクロCTでの樹種調査に供した。BL20XU では、約0.5 μm の分解能が得られるため、木材の樹種識別に必要な組織の観察が可能である[(4)]。実験で得られる1800 枚程度の透過像から断層像を再構成し、その後ソフトを用いて3D レンダリング像を得て、樹種識別を行った。

3. 結果と考察

樹種調査を行った結果、例えば従来クスノキと考えられていた女神像 3, 4(平安時代後期か。詳細はポスターにて提示する)について、カヤであることが判明した。それ以外の神像群についても現在識別を進めているが、広葉樹が多く使用されていることが判明している。中でも女神像 3 については、像底に康治 2 年(1143 年)造像に際してと思われる墨書銘が残っており、平安後期の作と推定される。

神像における樹種識別は、仏像と比べてまだ遅れているのが現状であるが、これまでの調査で、滋賀県でカヤやヒノキが多く使用されている例も判明しており[5]、今後このようなデータを蓄積し、公表していくことにより、神像彫刻の歴史的背景に何らかの知見をもたらせるものと期待される。

4. 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:2016B1743 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。

また現地調査で御協力いただいた松尾大社、和歌山県立博物館伊東史朗先生、京都府教育庁文化財保護課に心よりお礼を申し上げたい。本研究は科研費若手B(16K18730)の助成を受けたものである。

参考文献

(1) 金子啓明, 岩佐光晴, 能城修一, 藤井智之, 日本古代における木彫像の樹種と用材観-七・八世紀を中心に-, MUSEUM 東京国立博物館研究誌, 555, 3-54, 1998.
(2) 金子啓明, 岩佐光晴, 能城修一, 藤井智之, 日本古代における木彫像の樹種と用材観Ⅱ-八・九世紀を中心に-, MUSEUM 東京国立博物館研究誌, 583, 5-44, 2003.
(3) 金子啓明, 岩佐光晴, 能城修一, 藤井智之, 日本古代における木彫像の樹種と用材観Ⅲ-八・九世紀を中心に(補遺)-, MUSEUM 東京国立博物館研究誌, 625, 61-78, 2010.
(4)水野(田鶴)寿弥子, 高瀬克彦, 杉山淳司, シンクロトロン放射光 X 線トモグラフィー(SRX-ray μCT)を用いた木質文化財の樹種識別, 考古学と自然科学, 62, 85-95, 2011.
(5)田鶴寿弥子, 杉山淳司, 山下立, 滋賀県地域における神像彫刻の樹種調査-新旧手法の適用による-, 滋賀県立安土城考古博物館紀要, 21,71-94, 2013.

植物灰ガラスの多様性と生産地に関する考古科学的研究

Archaeometric investigation on diversity and production areas of plant ash glasses

○大賀克彦(奈良女子大学)・田村朋美(奈良文化財研究所)
○Oga Katsuhiko (Nara Women's University)・
Tamura Tomomi (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. 目的と方法

古代ガラスにおける主要な材質グループとして、植物灰を融剤として使用したソーダガラス、すなわち植物灰ガラスが存在する。植物灰ガラスは西アジア周辺において伝統的に生産されていたと考えられており、MgO や K_2O の含有量が多いことが特徴である。一般的には、MgO および K_2O の含有量がともに1.5%以上となることが指標であると認められている。ただし、植物灰ガラスの認定はそれほど単純な判断ではなく、他の元素の含有量を含めた総合的な検討が不可欠である。

本研究では、古代の日本列島において流通していた植物灰ガラスに関して全体的な検討を行い、材質的な多様性の確認や生産地の推定を試みた。実際には、エネルギー分散型蛍光X線分析法による材質の調査と、表面電離型質量分析法による着色剤に由来する鉛の同位体比の測定[1]を中心として行っている。

2. 調査の対象

本研究では、日本列島の弥生～古墳時代を中心とした遺跡から出土したガラス玉類を対象とした。その際、調査対象資料の選定には考古学的な知見を含めた充分な検討を行った。特に、帰属時期が明確な資料を選択することと、出現する植物灰ガラスが網羅されるように、様々な種類のガラス玉類を対象として取り上げることを重視している。そのため、出土が普遍的な引き伸ばし法によって製作されたモノトーンのガラス小玉だけではなく、重層ガラス玉やモザイク玉のような特殊なガラス玉類についても意識的に取り上げた。また、以後の検討は既発表のデータも加えて行っている。

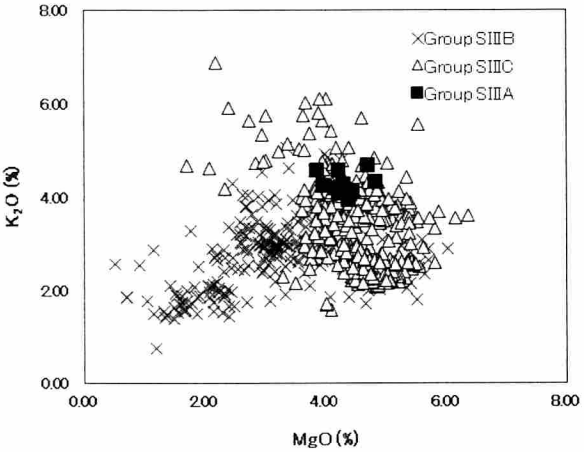


図1　植物灰ガラス（Group SIII）の材質区分

3. 材質の調査

これまでの研究において、筆者らは弥生～古墳時代の日本列島に流入するモノトーンのガラス小玉に関する材質調査結果に基づいて植物灰ガラスを Group SIII と呼称し、Group SIIIA～Group SIIIC の3つの材質グループに細分した[2]。Group SIIIA～Group SIIIC は離散的な材質を持つ分類単位ではないが(図1)、適用される着色技法、玉を加工する時の製作技法、もしくは日本列島への流入時期が全く異なることから、容易に区分することができる。

Group SIIIB は、Group SIIIA や Group SIIIC に比べて MgO や K_2O の含有量の変異が大きく、両者の含有量は少ないものでは 1.5%程度の範囲まで連続的に分散する。それに対して、Group SIIIA や

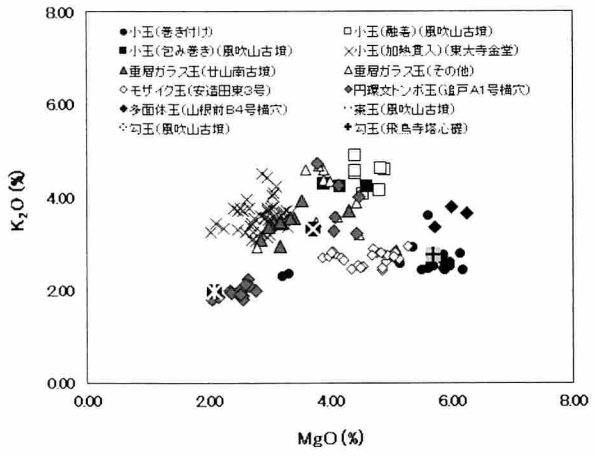


図2　様々な植物灰ガラス製玉類における材質の比較

Group SIIIC においては MgO や K_2O の含有量が 3.0%以下となることはほとんど認められない。すなわち、Group SIIIB に関しては、MgO や K_2O の含有量が少ない種類のガラスとの混合が推定される。Al_2O_3 や CaO の含有量に関しては目立った相違は認められないので、ナトロンガラスと混合された可能性が大きいと判断される。

一方で、Group SIIIB と同種のコバルト原料で着色されたガラスの中に、Al_2O_3 の含有量が多く、CaO の含有量が少ないものが少数ながら確認される。これらは Group SIIB に包括してきたが、Group SIIIB との混合物である可能性が高まった。また、Group SIIIC に関しては、K_2O の含有量の多寡によって二分される可能性がある。これらの問題点に関しては、現在も検討を継続中である。

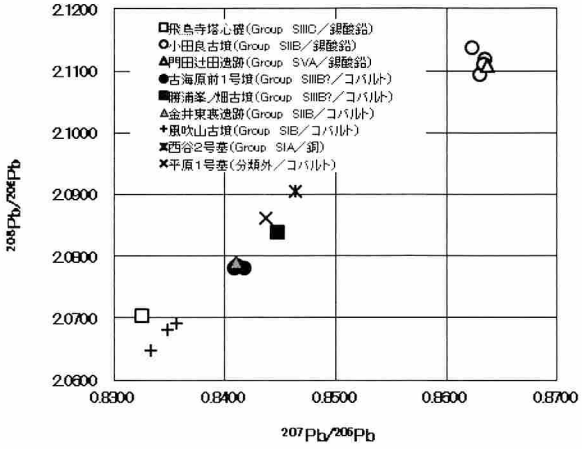


図3　植物灰ガラス製玉類関連資料の鉛同位体比

次に、器種や製作技法、もしくは適用される着色技法等から、Group SIIIA～Group SIIIC に含まれない植物灰ガラスの材質を図2に示す。MgO や K_2O の含有量が 3.0%以下となる事例は例外的にしか出現しないことや、種類ごとに材質的傾向が異なることが確認される。

本研究において注目した種類としては、鉄によって淡緑色もしくは青緑色に発色し、巻き付け法で製作された丸玉が挙げられる。MgO の含有量が多く、明確に $MgO > K_2O$ の傾向を示し、Al_2O_3 の含有量が少なく、CaO の含有量が多い点で、Group SIIIA～Group SIIIC のいずれとも異なる。このグループは Group SIIIC と相前後して古墳時代後期末頃に新たに流入する。分布が九州を中心とした西日本に偏り、勾玉のように韓国および日本列島で加工されたことが確実な種類にも使用される点が注目される。また、少数派の植物灰ガラスとしては最も出土個数が多い重層ガラス玉の中で、鉄によって着色された黄褐色を呈するものは材質的な類似性が高く、特に内層のガラスにおいて、Group SIIIA～Group SIIIC よりも CaO の含有量が少ない傾向が認められる。しかし、同じ重層ガラス玉でも、ほぼ無色透明を呈する廿山南古墳例は MgO の含有量が少なく、材質が異なる。

4. 鉛同位体比の測定

鉛同位体比の測定は飛鳥寺塔心礎出土の 1 点について行った(図3)。錫酸鉛で着色された黄色不透明を呈する Group SIIIC である。Group SVA や Group SIIB の着色に多用される錫酸鉛は一般的にタイのソントー（Song Toh）鉱山産鉛を原料として製造されることが判明しているが、飛鳥寺塔心礎例は鉛同位体比が大きく異なる。Group SIIIB のほとんどを占めるコバルト着色のものでは、関連する資料の鉛同位体比がいくつか報告されている。コバルト着色や銅着色の Group SI と類似した鉛同位体比を示す。また、公表された鉱石データではイラン、パキスタン、オマーン等に類似の値を示すものが存在する。

5. 結果と考察

植物灰ガラスは多様なガラス製品の素材として利用されており、材質区分を細分する必要があることが判明した。安定的な分類単位を構成するだけの数量が得られなかった種類も含まれるので、今回は設定を見送った。今後の課題である。また、材質と製品の種類や適用される着色技法の選択、もしくは日本列島への流入時期には明確な相関関係が認められた。このことは植物灰ガラスの生産地を具体的に特定する上で、重要な手掛かりになると考えている。鉛同位体比の分析結果を併せても、現状では、西アジア周辺という通説的な理解を超えることはできなかった。しかし、例えば、近年注目されている厚手の切子碗とは材質的な特徴が必ずしも一致しない点は、生産地を判断する上で留意される。

1) 鉛同位体比の測定に関しては、日鉄住金テクノロジー株式会社に委託した。

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

蛍光 X 線分析による天理参考館所蔵 成吉思皇帝聖旨牌の材質分析

X-ray fluorescence analysis of the Golden Paizi with an inscription of the name of Genghis Khan, in the collection of the Tenri University Sankokan Museum

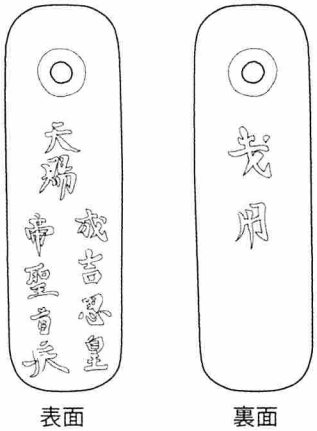
○青木 智史※1、阿部 善也※2、巽 善信※1、日野 宏※1、藤原 郁代※1、金原 正明※3
○AOKI Satoshi※1, ABE Yoshinari※2, TATSUMI Yoshinobu※1, HINO Hiroshi※1,
FUJIWARA Ikuyo※1, KANEHARA Masaaki※3
※1 天理大学附属天理参考館(Tenri University Sankokan Museum)、※2 東京理科大学(Tokyo University of Science)、
※3 奈良教育大学(Nara University of Education)

1. はじめに

本研究で調査対象とした資料は、天理大学附属天理参考館が所蔵するモンゴル帝国時代(12～13 世紀)の製品と考えられる金属製の牌子である(写真 1)。現状色として金色、および緑青色と茶褐色を呈し、銅系の地金に鍍金を施したものと推定される。ジャムチ(駅伝制)で用いられた牌子と考えられ、中国の旧熱河省で出土したと伝えられている。注目すべき点は、牌子の表面に「天賜成吉思皇帝聖旨疾」と漢字で刻字されており(図 1 左)、初代モンゴル帝国初代皇帝であるチンギス・カン(成吉思汗)の名が認められることである。この 10 文字の刻字は、チンギス・カン在位中の南宋側の記録『蒙韃備録』(1221 年頃に成立か)に全く同文の記載が残されている(1)。また、同記録にはこの文字は素金牌と素銀牌に刻まれた文字であることも併せて記載され、その内容を信じるなら当該資料は素金牌に相当するものと考えられる。また、裏面には漢字に類する文字が 2 字刻まれており(図 1 右)、下一文字は契丹文字の「馬」と一致することから契丹文字が刻まれていると推定される(2)。上一文字は、現在解読されている契丹文字とは一致しないが、先行研究などから「走」と読むのが妥当と考えられている(3)。なお、形状や刻字に関してほぼ一致する資料が、京都大学大学院東洋史研究室と中国国家博物館に収蔵されている。これらの資料はジャムチやそれに用いられた牌子を研究する上で重要な基礎資料であるが、本資料に関しては 1934 年に羽田亨によって京都大学大学院東洋史研究室蔵の類品とともに紹介されて以来、本格的な調査はなされないままであった。2016 年秋に東京天理ギャラリーで開催された「古代東アジア馬ものがたり」展(4)に初めて本資料が出展されるのに併せて、改めて本格的な調査を実施しその価値の検討を行った。その際、可搬型蛍光 X 線分析装置を用いた簡易的な成分分析を実施したところ、主要成分として Cu と Zn、および Au が検出され、当該資料の地金部分が黄銅製である可能性が示された。従来は青銅製と考えられてきた資料であったため、予想外の分析結果であった。この結果を改めて検証する目的で、東京理科大学および奈良教育大学の協力を得て詳細な定性分析調査を実施した。

表面　裏面

写真 1：成吉思皇帝聖旨牌



表面　裏面

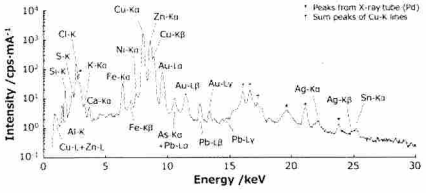
図 1：成吉思皇帝聖旨牌 刻字 書き起こし

2. 分析および測定結果

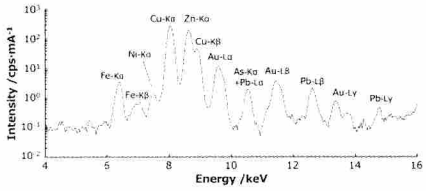
分析に使用したのは可搬型蛍光X線分析装置OURSTEX 100FA-IVおよびハンドヘルド蛍光X線分析装置OLYMPUS DELTA DP-2000 Premiumである。前者の測定条件は右図に示した。後者の測定条件は、励起用X線ターゲットがRh、管電圧は40kV、管電流は100μA、計測時間は60秒、測定部径は3mm、測定雰囲気は大気雰囲気である。

OURSTEX 100FA-IVの測定結果を図2に例示した。検出された主要金属元素は、Cu、Zn、Au、Pb であり、微量成分としてSn、Fe、Ni、Agも検出された。この結果により、測定対象の牌子は黄銅製であることが改めて確かめられた。同装置では測定室の容量の制約から資料の上端部のみしか測定ができなかったため、その他の部分 9 箇所について OLYMPUS DELTA DP-2000 Premiumによる定性分析を実施した。また、黄銅標準試料(CURM30.20-4)等の金属標準試料との比較による主要元素の半定量分析を行った。

地金の露出した剥離部の分析の結果、主要元素としてCu、Zn、Pb が検出され、他にもSi、Sn、Fe、Ni、Agの明瞭なピークが得られた。黄銅のCuとZn比は、Cu : Zn ≒ 68:32 であり、他に約2%の鉛を含み、Si、Sn、Fe、Ni、Agは1%未満であった。また、牌子本体の他の部分も金(Au)が検出される以外は基本的同様の結果となった。一方、紐穴を補強するための輪状金具部分の半定量結果は、本体とは比率が大きく異なっており注目される。本体部分に比べてSn、Pbが多い特徴があり、Znは少ない。Cu、Zn、Sn、Pbの成分比を評価すると、Cu : Zn : Sn : Pb ≒ 79 : 8 : 6 : 7であった。このため、紐穴金具は青銅製であり、地金部分とは別材であることが明らかとなった。



白色X線励起



Pd-Kα単色X線励起

装置構成・測定条件

装置名(メーカ): OURSTEX 100FA-IV
(アワーズテック株式会社)
X線源:Pdターゲット, 白色X線と単色X線の2種類
ビームサイズ:直径約2mm(Pd製コリメータで集光)
検出器:SDD(高分子膜を使用)
管電圧:40 kV
管電流:Dead timeが30%になるよう自動調整
測定時間:1スペクトルあたり100秒(live time)
測定雰囲気:真空中

図2 蛍光X線分析結果と測定条件

3. 考察

本研究の成果により、モンゴル帝国時代に用いられていたと考えられる牌子(おそらく素金牌と呼ばれた牌子)の地金素材として、黄銅が利用されていたことが明らかになった。本例と同種の他の2例の牌子はいずれも銀牌とされており、この種の素金牌の科学的調査は今回がはじめてである。モンゴル帝国時代の牌子研究に資する成果といえよう。また、検出された元素種については、古代の黄銅製品を分析した先行研究[5]と概ね共通し、今回検証のため併せて分析した天理参考館所蔵の黄銅製帯金具(高麗時代)の分析結果とも調和的なものであった。今後、より詳細な定量分析を行う予定であり、ジャムチに用いられた牌子の研究発展に寄与していきたい。

・ 参考文献

(1) 孟珙 撰・曹元忠 校注『蒙韃備録校注』, p.54,1901年.
(2) 陶宗儀「遼」『書史会要』, 巻八, p.1, 清家文庫本, 京都大学附属図書館所蔵, (原著出版1376年).
(3) 羽田亨「成吉思皇帝聖旨牌」,『歴史と地理』, 34(4/5), pp.243-249, 史学地理学同攷会, 1934年
(4) 藤原郁代『天理ギャラリー第159回展 古代東アジア 馬ものがたり』, p1, 天理ギャラリー, 2016年
(5) 例えば、成瀬正和「正倉院宝物に見える黄銅材料」,『正倉院紀要』, 29 , pp.62-79, 宮内庁正倉院事務所, 2007年

国宝慈光寺経における真鍮泥の利用

The use of brass in *Jiko-ji kyo*, a national treasure

○早川泰弘（東京文化財研究所）
○Yasuhiro HAYAKAWA (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

国宝慈光寺経（国宝指定名称は「法華経一品経」、「阿弥陀経」、「般若心経」）は鎌倉時代に製作された写経で、国宝久能寺経、国宝平家納経と並ぶ三大装飾経の一つである。法華経二十八品の一品経のほか、開経の無量義経と結経の観普賢経、さらに阿弥陀経と般若心経を加えて一具三十二巻の構成で、現在は勧発品が前後二巻に分けられているため計三十三巻から成っている。慈光寺経は京都で貴族文化の中枢にいた九条家ゆかりの人々を中心に、後鳥羽上皇も加わって書写されたものである。

慈光寺経各巻の見返しには経意絵のほかに風景・草木などが彩色によって描かれ、本文の料紙には金銀の切箔や砂子、野毛が散らされ、界線は金・銀・青色などで施されている。経文の多くは墨書であるが、金や青色で書写されているものもある。金属泥の欠落や本紙の縦皺による傷みが著しいことから、平成20（2008）年度から7年をかけて修理が行われた。修理に際して、他の装飾経に比べて金属泥部分での傷みが激しいことから、その原因を探るために科学的な調査が実施された。その結果、慈光寺経の界線や経文部に真鍮泥が使われている部分が多数存在していることが明らかとなった。本発表では、その調査結果の概要を報告する。

2.慈光寺経の材料調査

慈光寺経の中でも傷みが激しい法華経一品経の五百弟子受記品と阿弥陀経の二巻を対象に、可搬型蛍光X線分析装置による材料調査を実施した。五百弟子受記品については金色文字や金属泥・金属箔部分を中心に15か所、阿弥陀経については7か所の分析を行った。分析条件は下記の通りである。

分析装置　：　ｾｲｺｰｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾂ　SEA200、Rh ターゲット
管電圧・管電流　：　50kV・100 μ
X線照射径　：　ϕ2mm
分析時間　：　100 秒

3. 調査結果

3.1 法華経一品経 五百弟子受記品

五百弟子受記品は法華経二十八品の第八品であり、経文はすべて金色、界線は二重の銀黒色線の中に金色の単線が引かれている。見返しには金色・銀色の蓮弁や切箔、砂子が散らされ、経文の天地にも金色・銀色の蓮弁が散らされている。

（1）金色文字

金色の経文部分の拡大写真を図1に、金色文字部分①の蛍光X線スペクトルを図2に示す。Au とともにCu、Zn が同時に検出されていることがわかる。紙地部分②からはAu、Cu、Zn のいずれの元素も検出されず、金色文字の一部が剥落している部分③からはAu は検出されないが、微量のCu が検出される結果が得られた。Au、Cu、Zn の3元素が合金を形成しているとは考え難く、Au とCu-Zn 合金（真鍮）の2種類の金属が存在している可能性が高い。Cu-Zn 組成比を求めると、Cu70%-Zn30%程度の値が得られた。

（2）界線

界線は現在黒色に見える二重線とその間に金色の単線が引かれている。金色線部分からはAuとともにCu、Znが同時に検出され、Cu-Zn組成比はCu75%-Zn25%と、金色文字に近い値が得られた。

3．2　阿弥陀経

阿弥陀経は法華経二十八品一品経とともに慈光寺に伝わる経典であり、界線が金色の単線であるが、暗緑色から灰緑色に変色している部分が見られ、剥落している箇所もある。経文の天地には金色・銀色の切箔、砂子が散らされている。

（1）界線

暗緑色に変色している界線部分の拡大写真を図３に、得られた蛍光X線スペクトルを図４に示す。検出された元素はCuとZnだけであり、AuやAgは検出されなかった。Cu-Zn組成比はCu80%-Zn20%程度の値が得られた。五百弟子受記品では、Cu、Znが検出された箇所のほとんどからAuが同時に検出されたが、阿弥陀経の界線からAuが検出された箇所はない。

（2）天地装飾

天地の切箔や砂子部分からはCu、Znは検出されず、金色部分からはAuが大きく検出され、微量のAgが同時に検出された。一方、銀色砂子部分からはAgだけが検出され、AuやCuはほとんど検出されなかった。

4．考察

今回の調査で見出された真鍮材料が当初材であるか後補材であるかについては、慎重な判断が必要である。解体修理作業の過程で細部まで詳細に観察を行っても、後世に真鍮材料を重ね書きしたと思われる箇所は見つかっていない。阿弥陀経では天地の金色切箔以外の部分からは金が一切検出されていないことから、真鍮材料を後補材と考えると、界線部分のほぼすべてを後世に補筆したということになり、その解釈は甚だ無理がある。今回の調査結果は、鎌倉時代に真鍮が使われた例として、またこれまで報告例の少ない経典への真鍮の利用例として位置づけることができるものであると考える。

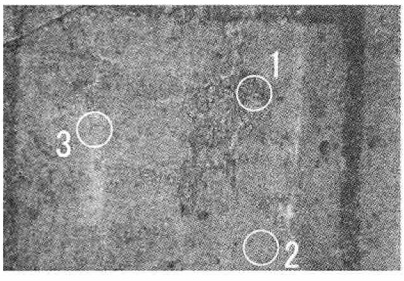


図１　五百弟子受記品の分析ポイント

図３　阿弥陀経の分析ポイント

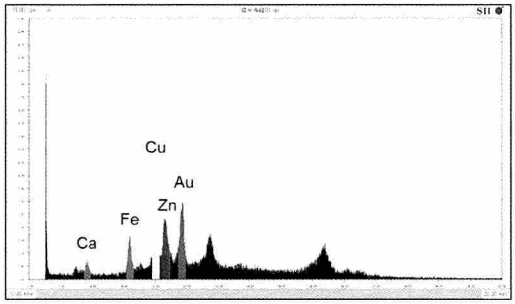


図２　五百弟子受記品　ポイント①の分析結果

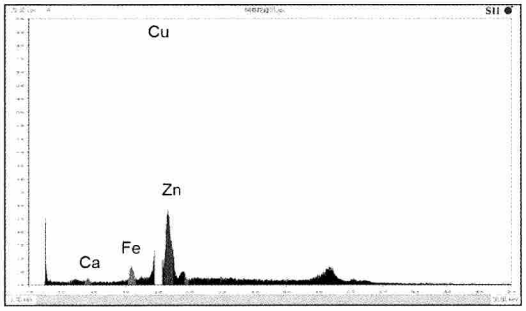


図４　阿弥陀経　ポイント⑯の分析結果

福井市内の遺跡から出土した耳環の自然科学的研究

Scientific Studies on the Ancient Earrings Excavated from Sites in Fukui City

○中村晋也（金沢学院大学）、北村彩（同左）、田邊朋宏（福井市教育委員会）、
河村友佳子（(公財) 元興寺文化財研究所）、日髙真吾（国立民族学博物館）
○Shinya NAKAMURA, Sayaka KITAMURA（Kanazawa Gakuin University），
Tomohiro TANABE（Fukui city Board of Education），
Yukako KAWAMURA（Gangoji Institute for Research of Cultural Property），
Shingo HIDAKA（National Museum of Ethnology, Japan）

1. はじめに

福井市内に所在する 18 遺跡から出土した 33 点の耳環（単環）を対象として、それらの製作技法・材質の解明を目的に、自然科学的手法を用いて分析調査をした結果について報告する。

2. 調査方法

全資料について、実態顕微鏡観察、X 線透過撮影、蛍光 X 線定性分析を実施し、X 線透過撮影において、中空構造と判明した高尾 2 号墳（TK1）については、国立民族学博物館の所有の機器を使用して、X 線 CT 撮影（以下、CT 撮影）を実施した。

3. 観察・分析結果

資料の概要と観察・分析結果について、表 1 に示す。33 点の対象資料のうち、高尾 2 号墳出土の TK1、法土寺 2 号墳出土の HD1 の 2 点が「中空耳環」であった。このうち TK1 については、顕微鏡観察、X 線 CT 撮影から芯部と中間層の 2 層が確認され、蛍光 X 線分析の結果とあわせて「銅地銀板貼鍍金」であると推定した。また開口部は、側面端部を折り曲げずに、蓋となる薄板をそのまま被せている「薄板技法」であると推定できた。一方、HD1 については、資料の劣化、破片化がひどく十分な観察ができない箇所もあったが、調査の結果、「銅地金箔貼」もしくは「銅地銅板金箔貼」であると推定した。また開口部は、TK1 と同様に「薄板技法」であると推定したが、蓋部は銅板の上に金板もしくは金箔を重ねる二層構造である点が特徴的であった。

残りの 31 点は「中実耳環」であり、「銅芯銀板貼鍍金」18 点、「銅芯金板貼」3 点、「銅芯銀板貼」4 点、「銅芯合金板貼」4 点、「銅無垢もしくは芯部のみの残存」2 点と推定した。中でも「銅芯合金板貼」とした 4 点は、表層部の分析において、Au（金）の顕著な検出に加えて Ag（銀）の顕著な検出が認められ、Hg（水銀）が各資料のいずれの分析箇所からも検出されなかったことを推定根拠としている。これまでに銅芯合金板貼耳環の例として、大池東古墳（松山市）、石ケ元古墳群（福岡市）の報告があるが、今回の 4 点も同様のタイプであれば貴重な例となる。

ただし、今回は耳環表層部に対する非破壊による定性分析からの判断であり、金－銀合金の詳細な組成は不明であり、鍍金ではなく「銅芯銀板金箔貼」の場合、同様の蛍光 X 線分析結果を示す可能性も考慮しておかなければならない。

表 1　調査対象資料と観察・分析結果　　※開口部空欄は、欠損等により不明

遺 跡 名	時　代	分析No.	構造・装飾	開口部
免鳥2号墳	6C中葉～7C初頭	MD1	銅芯銀板貼鍍金	
漆谷1号墳	6C中頃～7C初頭	UD1	銅芯銀板貼鍍金	
水切3号墳(推定)	6C後半～7C	MK1	銅芯金板貼	
		MK2	銅芯金板貼	
水切2号墳(推定)	6C後半～7C	MK3	銅芯合金板貼	絞り込み
		MK4	銅芯合金板貼	絞り込み
高尾2号墳	6C末～7C初頭	TK1	銅地銀板貼鍍金	薄板
天神山8号墳	6C末～7C	TJ1	銅芯銀板貼鍍金	
天神山9号墳	6C末～7C	TJ2	銅芯銀板貼鍍金	たたみ込み
		TJ3	銅芯銀板貼鍍金	たたみ込み
		TJ4	銅芯銀板貼鍍金	たたみ込み
天神山10号墳	6C末～7C	TJ5	銅芯銀板貼鍍金	
		TJ6	銅芯銀板貼鍍金	
		TJ7	銅芯銀板貼	たたみ込み
		TJ8	銅芯金板貼	
天神山11号墳(推定)	6C末～7C	TJ9	銅芯銀板貼鍍金	たたみ込み
杣脇25号墳	7C中葉	SW1	銅芯銀板貼鍍金	たたみ込み
		SW2	銅芯銀板貼鍍金	絞り込み
杣脇22号墳(北土壙墓)	古墳時代後期	SW3	銅芯銀板貼	絞り込み
		SW4	銅芯銀板貼	絞り込み
法土寺2号墳	古墳時代後期	HD1	銅地金箔貼または 銅地銅板金箔貼	薄板
法土寺3号墳	古墳時代後期	HD2	銅芯合金板貼	絞り込み
		HD3	銅芯合金板貼	たたみ込み
		HD4	銅芯銀板貼鍍金	
		HD5	銅芯銀板貼鍍金	
法土寺4号墳	古墳時代後期	HD6	銅芯銀板貼鍍金	
		HD7	銅芯銀板貼鍍金	
法土寺5号墳	古墳時代後期	HD8	銅芯銀板貼鍍金	絞り込み
		HD9	銅芯銀板貼鍍金	絞り込み
		HD10	銅無垢または銅芯のみ	
法土寺6号墳	古墳時代後期	HD11	銅芯銀板貼鍍金	
法土寺16号墳	古墳時代後期	HD12	銅芯銀板貼	
法土寺遺跡(出土位置不明)	古墳時代後期(推定)	HD13	銅無垢または銅芯のみ	

4. まとめ

本研究において、6～7 世紀の福井市内遺跡から出土した耳環には、構造・材質、開口部の仕上げ技法からの分類で、少なくとも 9 種が存在することが明らかになった。中実耳環では「銅芯銀板貼鍍金」が最も多いという傾向は、石川県や富山県の特徴とも共通している。一方、中空耳環の開口部では、石川県で確認したものが「薄板被せ技法」のみであることに対して、福井市では「薄板技法」のみであるなど相違点も認められた。また、材質・構造別の時代変遷を認めることはできず、多種の耳環が同時的に流通していた様相を明らかにすることができたと考える。

正倉院宝物の檜和琴玳瑁絵に使用された色料の分析

Analysis of the color materials used for painted tortoiseshells of Japanese cypress wagon zither stored in the Shosoin

○鶴　真美(宮内庁正倉院事務所)　　中村　力也(同左)　　成瀬　正和(東北芸術工科大学)
○Mami Tsuru,　Rikiya Nakamura(Office of the Shosoin Treasure House)
Naruse Masakazu(Tohoku University of Art And Design)

1. はじめに

正倉院南倉に伝わる檜和琴（南倉 98）は、様々な素材で装飾されている。磯（琴の側面）には，墨で山水・花鳥などを描き、彩色を施した角質素材が彩色面を内側にして貼られていた。これらは玳瑁絵と呼ばれているが、牛角など、玳瑁とは異なる素材であることが明らかにされている（内田 1991）。なお、現在これらの角質材は和琴本体から脱落しているため，色料の調査が可能な状態にある。本宝物は和琴であることから日本で製作された可能性が高く、したがってこれらの玳瑁絵は貴重な奈良時代の絵画資料である。本宝物の色料を明らかにすることは、奈良時代の彩色材料研究においてはもちろんの事、保存、修理、復元を行う上で意義のあるものと考え、自然科学的手法を用いた調査を行った。

2. 調査宝物について

檜和琴附属玳瑁絵　其1~14について調査を行った。本宝物はそれぞれ縦約2 cm, 横約12.5 cmの、14枚の薄板状の角質材からなる。その背面に，墨で輪郭を描き，細部の彩色を施し、図様に色を塗り重ね、そして地色となる色で全面を塗り、紙を貼り付け、その紙を磯に固着したと考えられる。割れによる欠落や、色料の剥落している部分が多いが、其1～6については、比較的残存率が高く、図様の全体を把握することができる。地色と図様には一定の関連性があることが判明しており、緑地のものには花鳥（花・鳥・草・蝶）が、赤・橙・紫地のものには山水（山・樹木・獣）が描かれ、緑地の薄板とその他の地色の薄板が交互に張り付けられていたと推定されている（林他 1956）（図1）。

各薄板の地色は其1、12に赤色、其2、6、8、9、10、14には緑色、其3、11には赤紫色または褐色、其4、5に橙色が塗られている（図2、3）。其7、13については地色の判別が困難であった。

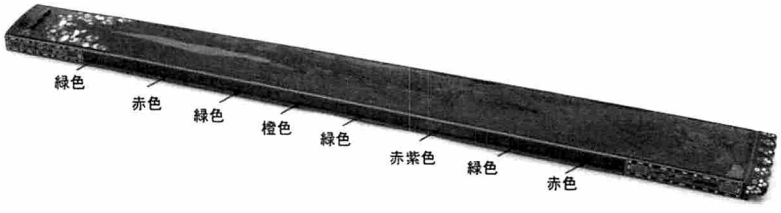


図1　檜和琴（南倉98）

図2　檜和琴附属玳瑁絵　其3

図3　檜和琴附属玳瑁絵　其4

3. 調査方法

X線回折、蛍光X線分析および可視分光分析を行った。 X線回折：X線回折日本フィリップス社X線回折装置X'Pert Pro MPD（文化財用改造仕様）（ターゲット：Cr、電圧：40 kV、電流：10 mA、測定範囲：10～90°　スキャンスピード：2.4 deg/min）。蛍光X線分析：前述のX線回折装置にEDAX

社製 Sapphire CDU X 線分析装置用検出器を付属させた装置。（ターゲット：Cr、電圧：40 kV、電流：10 mA、径：約 10 mm、測定時間：200 秒）。可視分光分析：オーシャンオプティクス社 USB4000（光源：ハロゲンランプ、測定波長：400～800 nm、測定距離：約 5 mm、測定角度：45°）。

4. 結果と考察

表 1　玳瑁絵に使用された主な色料の分析結果

資料名	蛍光 X 線分析	X 線回折
其 1（地）	S/K/Ca/Ti/Fe/Cu/**Hg**/Pb	辰砂
其 4,5（地）	K/Ca/Ti/Fe/Cu/Hg/**Pb**	四酸化三鉛
其 8（地）	K/Ca/Ti/Fe/**Cu**/Hg/Pb	孔雀石
其 2（地）	S/K/Ca/Ti/Fe/**Cu**/Hg/Pb	藍銅鉱
其 14（地）	K/Ca/Ti/Fe/**Cu**/Hg/Pb	ブロシャン銅鉱/孔雀石
其 1（樹木）	S/K/Ca/Ti/Fe/**Cu**/**Hg**/Pb	孔雀石/藍銅鉱
其 2（綬帯）	K/Ca/Ti/Fe/**Cu**/Hg/Pb	辰砂
其 4（樹木）	K/Ca/Ti/Fe/**Cu**/Hg/**Pb**	ブロシャン銅鉱/孔雀石
其 5（樹木）	K/Ca/Ti/Fe/Cu/Hg/**Pb**	ブロシャン銅鉱/孔雀石
其 10（鳥）	K/Ca/Ti/Fe/**Cu**/Hg/Pb	辰砂
	蛍光 X 線分析	可視分光分析 λmax(nm)
其 3（地）	K/Ca/Ti/Fe/Cu/Hg/**Pb**	525,575
其 11（地）	K/Ca/Ti/Fe/Cu/Hg/**Pb**	530,580

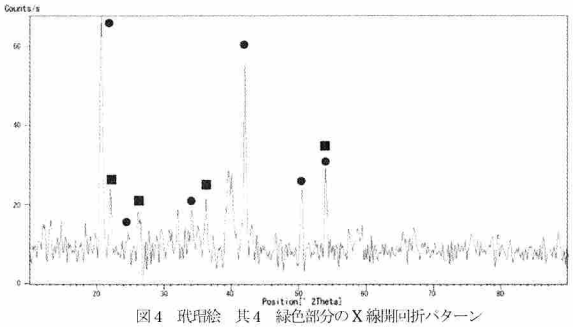


図 4　玳瑁絵　其 4　緑色部分の X 線回折パターン
●:ブロシャン銅鉱　■：孔雀石

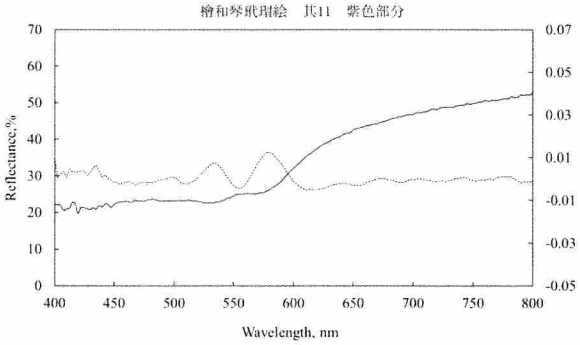


図 5　玳瑁絵　其 11　紫色部分のスペクトル図
（実線：可視反射スペクトル　破線：二次微分スペクトル）

主な分析結果を表 1 に示した。X 線回折分析の結果、其 1、12 の地の赤色部分からは辰砂、其 4、5 の地の橙色部分からは四酸化三鉛、其 8 の地の緑色部分からは孔雀石、其 2 の地の青緑色部分からは藍銅鉱、其 14 の地の緑色部分からはブロシャン銅鉱と孔雀石が検出された。其 1 の樹木の彩色からは、孔雀石と藍銅鉱が検出され、其 4、5 の樹木の彩色からはブロシャン銅鉱と孔雀石が検出された(図 4)。其 2、10 の綬帯や鳥からは辰砂が検出された。また其 3、其 11 の紫色、褐色部分からは可視分光分析により、ラック（臙脂）を検出し(図 5)、蛍光 X 線分析では主に Pb を検出した。

ブロシャン銅鉱の検出は、正倉院宝物では漆金薄絵盤（甲）の脱落した蓮弁の繧繝彩色に次いで 2 例目となる。ブロシャン銅鉱は孔雀石に随伴して産出することが多い点から、孔雀石の夾雑物として含まれていると考えられる。また、其 1、2 では孔雀石と藍銅鉱、または藍銅鉱のみが検出されたが、顕微鏡観察により、緑色と青色の粒子が混在していることを確認した。

ラック（臙脂）を検出した部分からは同時に Pb を検出したことから、ラックに鉛系白色顔料（鉱物種は不明）を混ぜている可能性が高い。正倉院宝物では、先述した漆金薄絵盤（甲）の脱落した蓮弁、紅牙撥鏤尺、紅牙撥鏤碁子などでラックの使用が確認されている。

本調査では、奈良時代の写実的な図様に使用された色料について、新たに知見を得ることができた。古代の色料は不明な点が多いことから、情報の蓄積は重要であり、これらのデータを今後の調査に活かしていきたい。

参考文献：林謙三・松村政雄「南倉和琴の所謂瑇瑁画について」『書陵部紀要』7、1956
内田至「正倉院宝物の海ガメ類材質調査報告」『正倉院年報』13、1991

デジタルマイクロスコープによる古文書料紙の検討
:「総合資料学」における文理融合型研究の試み

Examining papers of Japanese historical archives by a digital microscope: A new multi-disciplinary approach for "Integrated Studies of Cultural and Research Resources"

渋谷　綾子（国立歴史民俗博物館）
SHIBUTANI Ayako (National Museum of Japanese History)

1．はじめに

国立歴史民俗博物館では現在，機関拠点型基幹研究「総合資料学の創成と日本歴史文化に関する研究資源の共同利用基盤構築」を実施している。総合資料学とは，多様な「モノ」資料を時代・地域・分野等によって分類し，分野を超えた視点から統合的に分析することで，高度な共同利用・共同研究へと結びつける新たな学問である。この総合資料学構築のために，日本の歴史的資料をLinked Data（データをリンクでつないで資料情報をより豊かにするしくみ）やIIIF（画像を国際的に共同運用するための規格）によってデジタル化して情報基盤を構築するワークショップと情報基盤を活用した文理融合型研究を行うワークショップ，情報基盤と研究成果を教育や展示等に活用するワークショップの三つを構成して研究を行っている。

この総合資料学の一環として，報告者は現在，日本史史料に対する自然科学的な分析，すなわち紙の種類（紙質），素材・製法，使用方法の分析を進めている。具体的には，デジタルマイクロスコープなどの顕微鏡を用いて，20～2000倍の視野条件，かつ反射光・透過光によって古文書料紙の繊維や継ぎ目，折り目，糊など文字情報以外の情報を観察し，紙質や素材，製法，形態の歴史的変遷を検討するものである。さらに，大豆や米を原料とする糊の製作実験を行い，糊に含まれるデンプン粒を観察することによって，古文書の料紙に残る糊の比較・識別も進めている。本発表では，デジタルマイクロスコープによる古文書料紙の表面観察の結果と実験的に製作した糊のデンプン粒に関する検討結果を中心に報告する。

2．調査資料と方法

調査対象とした史料は，国立歴史民俗博物館が所蔵する大友宗麟軍忠披見状（雁皮，資料番号H-66-53），亀井茲矩書状（石見亀井家文書，竹紙，資料番号H-1031-9），豊臣秀吉朱印状（大高壇紙，資料番号H-1031-1-30），織田信長朱印状（米粉入り楮紙，資料番号H-1031-1-17），九条道家御教書（楮紙，資料番号H-743-404-5），関東下知状（楮紙，資料番号H-743-404-5）である。限定的ではあるが，いずれの史料もデジタルマイクロスコープ（キーエンス社製VHX-6000）と20～2000倍の高解像度レンズを用いた反射光での表面観察を行った。

さらに，先行研究によるデンプン糊の製作方法を参照し，市販の乾燥大豆，玄米，小麦粉をそれぞれ原料とする糊を実験的に製作した。これらの糊に含まれるデンプン粒を光学顕微鏡（Olympus BX53-33Z，簡易偏光装置付）の総合倍率400～1000倍の視野条件で観察するとともに，和紙に塗ったこれらの実験糊についてもデジタルマイクロスコープでの表面観察を試みた。

3．結果

デジタルマイクロスコープによって観察した史料には，直線的な繊維が非常に多い（亀井茲矩書状），扁平な繊維同士が密着している（大友宗麟軍忠披見状），柔細胞と細胞壁が見られる（豊臣秀吉朱印状），などの特徴がそれぞれ観察された。特に，500倍以上の視野条件では織田信長朱印状，豊臣秀吉朱印状，九条道家御教書，関東下知状それぞれに，紙を白くするために入れられた填料の米粉に由来する

デンプン粒の付着や，紙の繊維にからみつくデンプン粒の状態が確認できた。織田信長朱印状の一部の「ももける」（紙がほつれている）部位にはデンプン粒がほとんど確認できず，この部位は紙の填料が失われて繊維のほつれている状態が見られた。

今回の観察では主に紙の繊維や素材の比較を目的としたため，反射光の撮影のみ実施したが，今後は偏光装置とあわせて透過光による観察を行い，紙の素材に含まれたデンプン粒の識別や繊維の形状の比較・検討を行う。他の史料についても同様に，紙の種類，素材や製法，使用方法を検討していく。

実験的に製作した大豆，米，小麦粉の糊のデンプン粒については，いずれの糊も加熱による粒子自体の膨張や損壊，偏光十字の消失が見られ，デンプン粒の形態が非常に不明瞭な分解状態であることが確認された。和紙に塗った糊についても，デジタルマイクロスコープではデンプン粒の形態を識別することが困難であった。今回の実験糊は，いずれも先行研究の製作方法を一部簡略化して製作したが，糊のデンプン粒から原料を特定することは非常に困難である可能性が考えられる。引き続き，古文書に記された糊の製法を調査・復元を試みることによって，古文書や現存する伝製品に使用された，強い接着力を持ち，耐水性のある褐色の糊の検討を行う予定である。

4．謝辞

本研究は，国立歴史民俗博物館機関拠点型基幹研究「総合資料学の創成と日本歴史文化に関する研究資源の共同利用基盤構築」の成果の一部である。研究の実施にあたり，国立歴史民俗博物館の小島道裕先生，三上喜孝先生，小倉慈司先生，後藤真先生からは調査史料の選定とともに，古文書の機能や形態，見方など多岐にわたりご指導いただいた。さらに，キーエンス社の東始氏にはデジタルマイクロスコープVHX-6000を用いた観察にご協力いただいた。心より厚く御礼申し上げます。

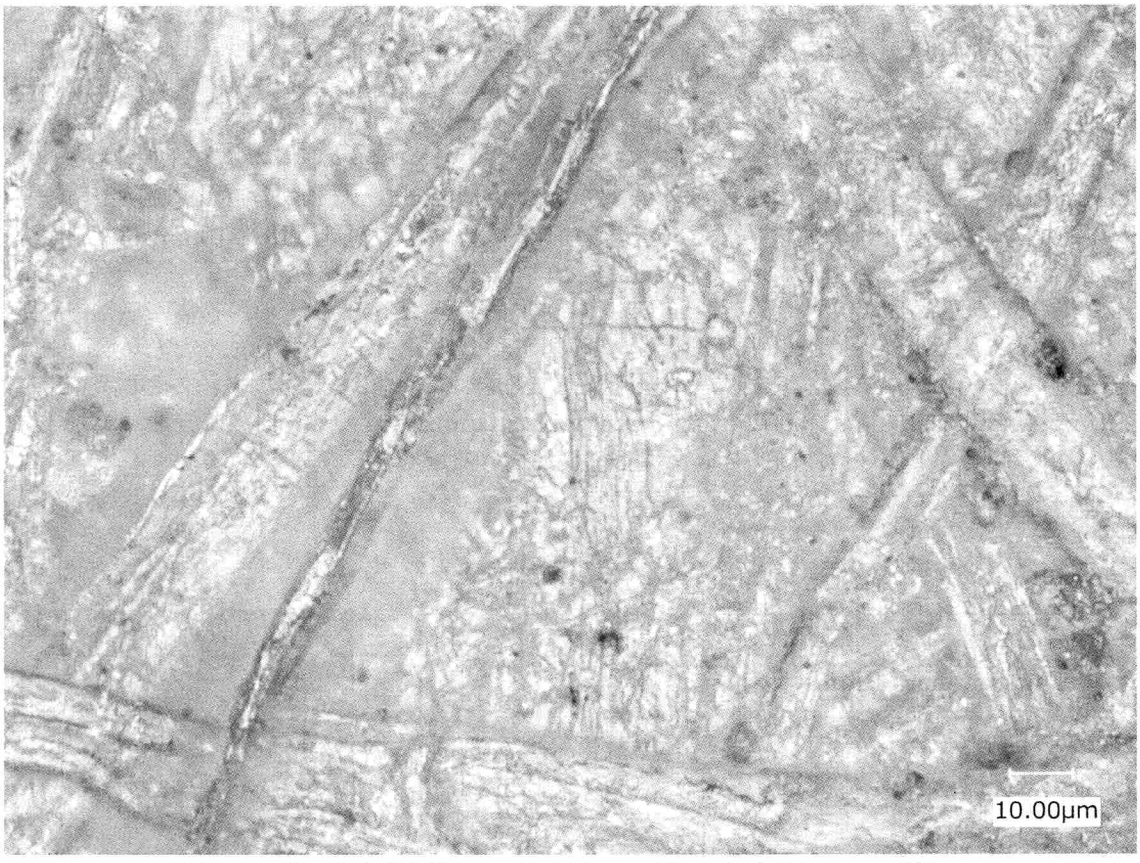


図 1　豊臣秀吉朱印状における柔細胞の様子（反射光，2000 倍）

高解像度Ｘ線ＣＴ画像を用いた広葉樹の非破壊樹種同定

High Resolution X-ray CT Imaging for Non-destructive Species Identification of Hardwood

○大河内隆之（奈良文化財研究所）

○Takayuki OKOCHI(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

はじめに

木造の文化財にどのような樹種が使用されているのかを知ることは、文化財を正しく評価し、保存していく上で必須の事項である。従来、木材の解剖学的構造の観察は顕微鏡下でおこなわれてきたため、薄い切片などを採取することが不可避であった。あるいは、シンクロトロンのような大型施設のマシンタイムを利用して、X線CT撮影するなどの方法もおこなわれてきたが、望むらくは、研究室レベルの装置で、非破壊にX線CT撮影することで、樹種同定をおこなえることが理想的である。近年のX線CT技術の進歩により、非破壊での観察の最前線は、μmのオーダーからnmの領域へと移りつつある。本研究では、高解像度のX線CTによる非破壊画像技術による木材の解剖学的構造観察の一端を紹介する。

実験方法

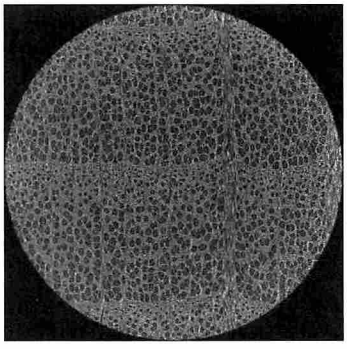
本研究には、Bruker社製の市販の高解像度X線CT装置SKYSCAN 1272を用いた。この機種は外形最大幅1,160mm・重量150kgとX線CT装置としては比較的コンパクトな設計で、最も解像度を高くした条件において、350nm以下の微少構造を非破壊で可視化することができる。

今回は第一報であるため、実験に際しては、木材解剖学的な特徴が木口面で顕著に現れる広葉樹にターゲットを絞って実施した。樹種の選定に際しては、文化財に使用されていることが多く、木材解剖学的な特徴が顕著であるなどの視点から、代表的な広葉樹８種（ブナ、クヌギ、ミズナラ、アカガシ、クリ、ケヤキ、イタヤカエデ、キリ）を選出した。調査対象の木材試料を10mm角に切り出し、木材の樹種による特徴が最も端的にあらわれる木口面（横断面）がスライス面となるよう試料を配置して撮像した。本研究の最終的な目的は、比較的小型の文化財に対して、なんら加工処理を施すことなく非破壊でX線CT撮影することにあるが、今回の実験に用いた高解像度X線CT装置では、サンプルホルダーの構造的な制約上、試料寸法を10mm角に制限せざるをえなかった。

撮像条件は、管電圧60kv・管電流166μA・線源像間距離275.5mm・線源物体回転軸中心距離26.0mmで実施した。撮像視野約3.4mmの範囲を4904×4904画素で構成したため、画素当量長は約700nmとなる。また、線源物体回転軸中心距離26.0mmであるので、文化財調査用に特注の装置を誂えて機構上の制約を排除すれば、直径52mm程度の文化財のような調査対象に対しても、同等の解像性能の画像を取得可能なことを示唆している。

結果と考察

木口面において樹種の特徴が顕著に表れる広葉樹の代表として、本稿では、ブナ、アカガシ、ケヤキの計３種を示す。



ブナ（Fagus crenata Blume）

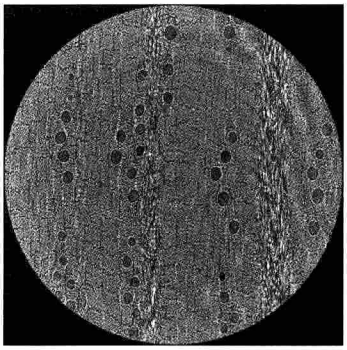
年輪界：年輪界の確認ができる。

道管：道管が散孔性であることが観察でき、道管の輪郭が鮮明で、春材部の道管径が大きく、夏材部の道管径が非常に小さいことが明白である。

木繊維：道管の占有率が大きく、木繊維が個々の道管の間に分布する程度であることが鮮明に観察できる。さらに、個々の木繊維

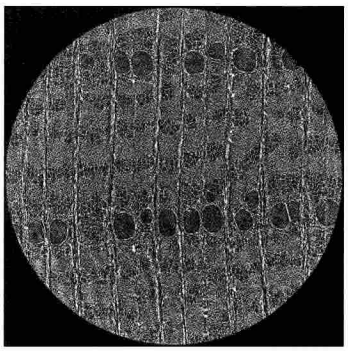
も観察できる。
軸方向柔組織：この横断面像では、軸方向柔組織は観察できない。
放射組織：個々の放射組織が大小さまざまな細胞列の放射組織から構成されていることが観察できる。
以上から、道管は散孔性で密に分布し、かつさまざまな幅の放射組織が出現するところからブナ属の一種（Fagus sp.）と同定できる。

アカガシ（Quercus acuta Thunb. ex Murray）



年輪界：年輪界は不鮮明。
道管：ほぼ同じ大きさの道管が放射状に配列することが鮮明に観察できる。
木繊維：個々の木繊維が鮮明に観察できる。
軸方向柔組織：個々の軸方向柔細胞が接線状に 1-3 列をなして配列するのが鮮明に観察できる。
放射組織：広放射組織が鮮明に観察でき、個々の放射組織が複合して構成されることがわかる。
以上から、道管の分布や配列および広放射組織の出現から容易にアカガシ亜属（Quercus sp. Subgen. Cyclobalanopsis）の一種と同定できる。

ケヤキ(Zelkova serrata (Thunb.) Makino)



年輪界：孔圏道管の存在により年輪界が確認できる。
道管：一層の孔圏道管のみならず群をなす孔圏外道管の輪郭が鮮明に観察できる。さらに、孔圏外道管が接線状および斜線状に集合して配列する様子が鮮明にみられる。
木繊維：個々の木繊維が鮮明に観察できる。
軸方向柔組織：この横断面像では、軸方向柔組織は観察できない。
放射組織：放射組織が幅のそろった複数列の柔細胞から構成されていることが観察できる。
無機含有物（Mineral incrusions）：横断面像に白色のやや大きい斑点が散在して見られるが、これは放射柔細胞中に存在する方形結晶によるものであり、ケヤキの特徴の一つである。
以上から、ハルニレと道管配列がやや類似するもののケヤキでは放射組織に結晶が多数認められることから本種の同定は可能であろう。

結論

nm の領域の高解像度をもつ X 線 CT 装置を用いて、広葉樹材の環孔材：クヌギ、ミズナラ、クリ、ケヤキ、キリの５種、散孔材：ブナ、イタヤカエデの２種、放射孔材：アカガシの１種の計８種の組織構造を比較観察した。その結果、この装置での観察により、いずれの樹種も道管、木繊維、軸方向柔組織、放射組織を極めて鮮明に観察できた。この方法により、従来対物レンズ 10 倍・接眼レンズ 10 倍の生物顕微鏡で観察していたのと同等ないしはそれを凌ぐ情報を研究室レベルに設置可能な X 線 CT 装置を用いて、非破壊で観察可能なことを確認し、種レベルあるいは属レベルでの同定が可能であることが判明した。

今後は、調査対象を広葉樹のみでなく、樹種同定の識別ポイントとしてより細かな特徴の観察が要求される針葉樹についても広げていきたいと考えている。

アムステルダム国立美術館における近世絵画の非破壊顔料分析①：絵画分析における可搬型粉末X線回折計の改良および応用

Nondestructive analysis of pigments used for early modern paintings in the Rijksmuseum Part 1: Improvement and application of the portable X-ray powder diffractometer for analysis of paintings

○平山 愛里[1]、赤城 沙紀[1]、阿部 善也[1]、中井 泉[1]、
Annelies van Loon[2]、Petria Noble[2]、Koen Janssens[3]
(1：東京理科大学理学部　2：アムステルダム国立美術館　3：アントワープ大学)
○Airi HIRAYAMA[1], Saki AKAGI[1], Yoshinari ABE[1], Izumi NAKAI[1],
Annelies van Loon[2], Petria Noble[2], Koen Janssens[3]
(1：Tokyo University of Science, 2：Rijksmuseum, 3：University of Antwerp)

1.　はじめに

東京理科大学中井研究室では、文化財の非破壊分析への応用を目的とした可搬型粉末X線回折計（p-XRD）の開発を進めてきた[1,2]。2015年12月に、最新モデルのp-XRD第3号機をオランダのアムステルダム国立美術館（Rijksmuseum）へと持ち込んで、近世ヨーロッパを代表する画家によって描かれた作品を複数分析し、その成果を昨年の本大会で発表した[4]。この分析調査の結果を受け、このたびp-XRF第3号機を絵画分析向けに改良し、2016年12月に他の可搬型装置と共に同館へ持ち込んで、さらなる分析調査を実施した。本発表ではp-XRDの開発・改良に関する報告と合わせて、分析調査のうちp-XRDで得られた主要な成果について発表する。

2.　p-XRDの開発および改良

発表者らによるp-XRDの開発は2001年に開始され[1]、これまでに3モデルが完成した。いずれもゴニオメータ部、コントローラ部、制御用ノートパソコンからなるθ-θ型回折計である。第2号機からは、半導体検出器を用いていることを利用し、蛍光X線分析機能を付加することで、粉末回折データと蛍光X線スペクトルの同一測定点での取得を可能にした[2,3]。

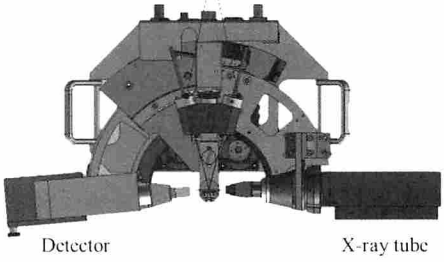


Fig. 1　ゴニオメータ部模式図

本研究で用いた第3号機は（株）テクノエックスとの共同開発装置である。Fig. 1にゴニオメータ部の模式図を示す。管球には従来装置と同じくCuターゲットを用いているが、60 kVまで印加可能な高圧タイプに変更し、蛍光X線分析機能で重元素までの検出が可能となった。さらにシリコンドリフト検出器（SDD）を用いることで、S/N比の高い回折パターンの測定が可能である。しかし、非破壊・非接触の絵画分析における大きな問題点として、分析資料に管球と検出器が接触しない最低角度が$2\theta = 30°$であり、それ以下の角度の回折線が測定できないという欠点があった。そこでこのたび、管球と検出器の配置および装置形状に改良を加えることで、$2\theta = 25°$から回折パターンの取得が可能となった。改良後の装置をアムステルダム国立美術館へと持ち込み、近世油彩画5点の非破壊分析に用いた。

3. アムステルダム国立美術館での分析

本発表では、Garofalo 作「Adoration of the Magi」(1530-1540)、および Jan de Bray 作「Judith and Holofernes」(1659) について得られた分析結果を報告する。これらの作品は、事前に同館によって蛍光 X 線分析装置 (XRF) を用いた非破壊の元素分布分析などが行われており、一部顔料の推定が行われている。

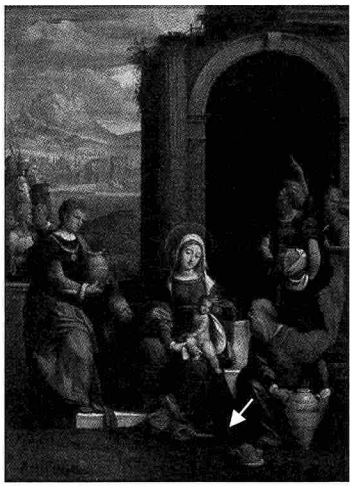


Fig. 2 「Adoration of the Magi」

Fig. 2 に示した「Adoration of the Magi」では、中央に描かれた女性の衣服に使用された青色顔料の同定を目的とした分析を中心に行った。この青色部分 (矢印) は事前の非破壊 XRF による分析で Cu が検出されたことから、当時一般的に利用されていた青色顔料の Azurite ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$) であると推測されていた。しかし XRD 分析によって、銅カルシウムケイ酸塩である Cuprorivaite が同定された (Fig. 3)。この物質は、合成顔料 Egyptian blue の主成分である。Egyptian blue は前3千年紀に開発された人類初の合成顔料であり、中世には衰退したと考えられ、近世における使用の報告はきわめて少ない。天然にはほとんど存在しない鉱物であるため、近世の時点で Egyptian blue を合成する技術が存在したことが明らかとなった。

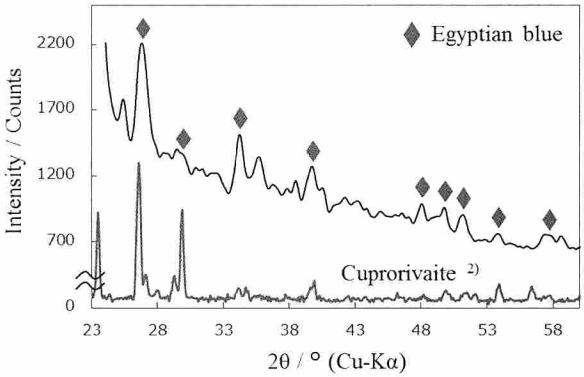


Fig. 3 青色顔料の X 線回折パターン

「Judith and Holofernes」では、XRF 分析により Cu が検出されていた黒色部分に着目した。この黒色部分で XRD 分析を行ったところ、Azurite が同定された。Azurite は、Cu-Kα 線を用いた場合には $2\theta = 25°$ 付近に最強線が検出されるため、改良前の本装置では同定が困難とされていた。このことから、改良後の装置では同定可能な顔料の幅が広がり、絵画の非破壊分析における本装置の有用性が向上したことが実証された。

【謝辞】

本研究で用いた p-XRD の開発、改良を進めてくださった (株) テクノエックスのタンタラカーン クリアンカモル氏、谷口一雄氏に深く感謝を申し上げます。本研究は JSPS 二国間交流事業の支援により実施されました。

【参考文献】

1) 前尾 修司, 中井 泉, 野村 惠章, 山尾 博行, 谷口 一雄: X 線分析の進歩, **34**, 125-132 (2003).
2) 阿部 善也, K. タンタラカーン, 中井 泉, 前尾 修司, 宇高 忠, 谷口 一雄: X 線分析の進歩, **39**, 209-222 (2008).
3) I. NAKAI and Y. ABE, Applied Physics A,106,2,279-293 (2012)
4) 平山 愛里, 和泉 亜理沙, 阿部 善也, 中井 泉, Annelies van Loon, Frederik Vanmeert, Petria Noble, Koen Janssens: 日本文化財科学会第 33 回大会にて口頭発表 (2016).

アムステルダム国立美術館における近世絵画の非破壊顔料分析②：紫外−可視−近赤外光を用いた分光分析

Nondestructive analysis of pigments used for early modern paintings in the Rijksmuseum Part 2：Spectroscopic analyses using ultraviolet-visible-near infrared light

○赤城 沙紀[1]、平山 愛里[1]、阿部 善也[1]、中井 泉[1]、
Annelies van Loon[2]、Petria Noble[2]、Koen Janssens[3]
1：東京理科大学理学部　2：アムステルダム国立美術館　3：アントワープ大学)
○Saki AKAGI[1], Airi HIRAYAMA[1], Yoshinari ABE[1], Izumi NAKAI[1],
Annelies van Loon[2], Petria Noble[2], Koen Janssen[3]
(1：Tokyo University of Science, 2：Rijksmuseum, 3：University of Antwerp)

1. はじめに

アムステルダム国立美術館は、中世・ルネッサンス期から 20 世紀までのオランダ絵画を中心に、約 8,000 点もの作品が所蔵されているオランダ国内最大の美術館である。同館では所蔵絵画の理化学分析を行っており、技法解明や保存修復への応用を目的とした顔料の研究が進められている。このたびその研究の一環として、東京理科大学中井研究室所有の複数の可搬型分析装置を 2016 年 12 月に同館内へと持ち込んで、所蔵された絵画作品を非破壊・非接触で分析した。本発表では、この分析調査のうち可搬型顕微ラマン分光分析装置（p-MRS）および当研究室で開発した可搬型紫外可視吸収（UV-VIS）/蛍光分光分析装置により得られた成果を中心に報告する。

2. 分析資料

分析資料は、アムステルダム国立美術館に所蔵されている油彩画 4 作品（Fig. 1）である。全て非破壊非接触で分析を行った。いずれの作品も、事前に大型の蛍光 X 線分析装置（XRF）により元素分布分析が行われているほか、一部は小片を採取して薄片による絵画構造の分析などが行われている。

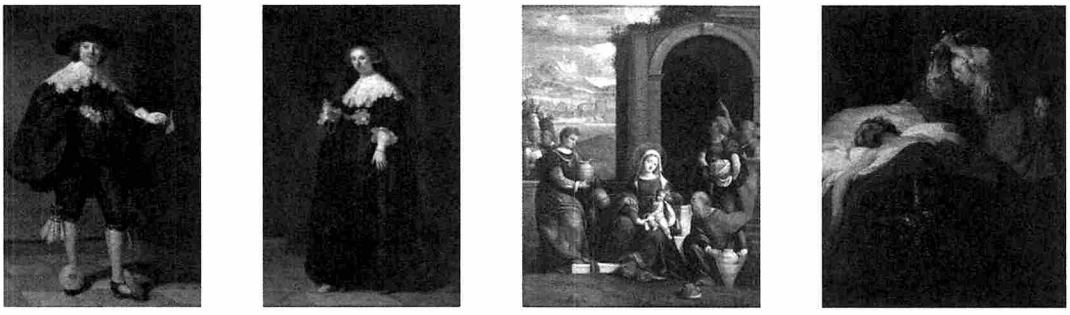


Fig. 1　分析資料（左からレンブラント・ファン・レイン作「Portret van Marten Soolmans」、同「Portret van Oopen Coppit」、ガロファロ作「Adoration of the Magi」、ヤン・デ・ブロイ作「Judith and Holofernes」）

3. 結果と考察

・「Portret van Marten Soolmans」

本作品はバロック期に活躍したオランダの画家、レンブラント・ファン・レインが描いたものである。XRF により唇や頬、靴のソールなどの赤色顔料部分に Hg が分布していることが明らかになっている。本研究では p-MRS により赤色顔料部分を分析し、バーミリオン（HgS）が用いられていることが同定された。

・「Portret van Oopen Coppit」

本作品は「Portret van Marten Soolmans」と対になっている作品で、こちらもレンブラント・ファン・レインが描いたものある。本研究では女性が手に持っている鎖の彩色に用いられた黄色顔料の同定を試みた。レンブラントはイエローオーカー（主に FeO(OH)）、スズ酸鉛 type 1（Pb_2SnO_4）、スズ酸鉛 type 2（$Pb(Sn,Si)O_3$）といった様々な黄色顔料を用いたことが明らかになっているが、本研究の非破壊の UV-VIS 測定により、イエローオーカーが同定された。

・「Adoration of the Magi」

本作品はルネサンス後期に活躍したイタリアの画家、ガロファロが描いたものである。事前の XRF イメージングによって、中央の女性の衣服に Cu を主成分とする青色顔料が用いられていることが明らかとなっていたが、本研究では顔料の種類の同定を試みた。青色顔料部分で 632 nm の赤色 LED を励起光とする蛍光分光分析を行ったところ、Fig. 2 に示すように特徴的な蛍光スペクトルが観測され、合成青色顔料シャンブルー（$CaCuSi_4O_{10}$）と同定された。エジプシャンブルーが近世絵画に用いられた例はきわめて少なく [1]、この作品がそうした希少なエジプシャンブルーの利用例の一つであったことが明らかとなった。さらに、p-MRS 分析により、同絵画に使用された黄色顔料ではオーピメント（As_2S_3）を、オレンジ色顔料ではバーミリオン（HgS）を同定した。

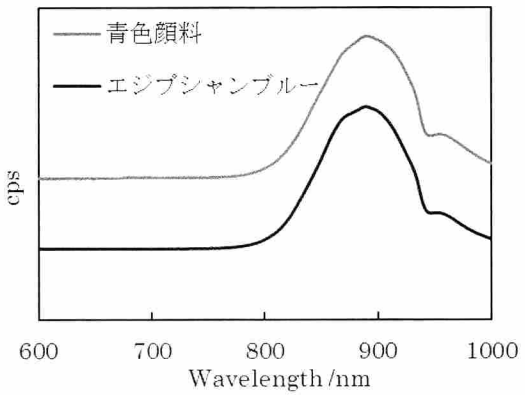


Fig.2 青色顔料の蛍光スペクトル
(λ_{EX}=632 nm)

・「Judith and Holofernes」

本作品はオランダ黄金期の画家であるヤン・デ・ブロイによって描かれたものである。この作品については同定されていない顔料が多く存在するため、全体的な顔料の解明を試みた。まず p-MRS により、黒色顔料はカーボンブラックと同定された。次に女性が身に着けているスカーフの青色顔料を分析したところ、Fig. 3 に示すように p-MRS によってラズライト（$Na_{8\text{-}10}Al_6Si_6O_{24}S_{2\text{-}4}$：ウルトラマリン）を同定できた。さらに 1300cm^{-1} 付近に、ラズライトの風化相とされるダイオプサイド由来と考えられるピークが検出され、絵画の風化状況に関する知見も得られた。また、女性の衣服の赤色顔料では、他の作品と同様に p-MRS によってバーミリオン（HgS）を同定した。

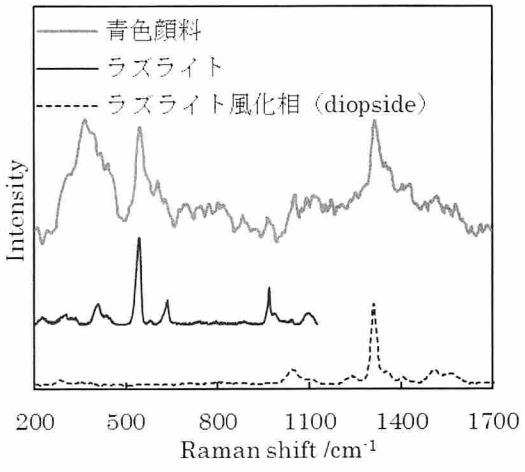


Fig.3 青色顔料のラマンスペクトル
(λ=785 nm)

このように、複数の分光分析手法を利用することで、近世絵画に使用された多彩な顔料を非破壊・非接触のその場分析によって同定することができた。

【謝辞】本研究は JSPS 二国間交流事業の支援により実施された。記して謝意を表する。

【参考文献】1) A. Lluveras *et al.*: *Archaeometry* **52**, 308-319 (2010).

非破壊分析装置を用いたメソポタミアを中心とする古代西アジア出土銅赤ガラスの製法と変遷の解明

Investigation of production techniques and transition of copper-red glass excavated from ancient West Asia centered on Mesopotamia using nondestructive analytical instruments

○日髙 遥香[1]、扇谷 依李[1]、阿部 善也[1]、中井 泉[1]、菊川 匡[2]、四角 隆二[3]、St John Simpson[4]
(1:東理大・理、2:古代エジプト美術館、3:岡山市立オリエント美術館、4:大英博物館)
○Haruka Hidaka[1], Eri Ogidani[1], Yoshinari Abe[1], Izumi Nakai[1], Tadashi Kikugawa[2],
Ryuji Shikaku[3], St John Simpson[4]
(1: Tokyo University of Science, 2: Ancient Egyptian Museum,
3: Okayama Orient Museum, 4: British Museum)

1. はじめに

銅による赤色着色が施されたガラスは「銅赤ガラス」と呼ばれ、ガラス生産の最初期である前15 世紀に登場した。銅赤ガラスは製作過程で還元操作が必要とされるため、他の色ガラスとは異なる起源・変遷を持つと推定される。発表者らはこれまでに古代エジプトおよび地中海沿岸の銅赤ガラスを対象として、可搬型非破壊分析装置を用いた研究を行い、製法および原料の推定と時代変遷を明らかにし、昨年の本大会で発表した[1]。一方、メソポタミアを中心とした西アジアでは、銅赤ガラスのレシピを記した粘土板文書が複数出土しており、エジプトと並ぶ古代銅赤ガラスの生産・利用拠点であったと考えられる。そこで今回は、イギリス・大英博物館に所蔵されている希少なイラク・イランの都市遺跡での発掘資料、および岡山市立オリエント美術館に所蔵されている伝イラン由来品に着目し、可搬型装置を用いたデジタル顕微鏡観察、顕微ラマン分光分析、紫外可視吸収分光分析、蛍光 X 線分析により、銅赤ガラスの製法および変遷を検証した。また同遺跡出土の銅による水色着色ガラスや同時代のエジプト出土資料[1]との比較も行った。

2. 分析資料および分析装置

分析資料は、大英博物館（イギリス）および岡山市立オリエント美術館（岡山）に収蔵されているイラク（メソポタミア）およびイランの銅赤ガラス 26 点である。これらは、後期青銅器時代：前 15～13 世紀（メソポタミア都市遺跡出土資料 2 点）、および鉄器時代：前 9～4 世紀（メソポタミア都市遺跡出土資料 10 点、伝イラン北部由来資料 14 点）に年代づけられる。先述した複数の可搬型分析装置を各館内に持ち込み、これらの資料を非破壊で分析した。まずデジタル顕微鏡により高倍率観察により着色剤の形態から分類を行い、さらに可搬型紫外可視吸光分光分析（UV-VIS）装置と可搬型顕微ラマン分光分析（MRS）装置によって、着色剤である Cu の化学状態分析を行った。さらに可搬型蛍光 X 線分析（XRF）装置により各資料の化学組成を分析し

た。

3. 結果および考察

顕微鏡観察の結果、透明のガラスマトリクス中に数十 μm の樹枝状の赤色結晶が析出しているものと、濃淡に斑のある赤色のガラスの 2 種類に分類することができた。MRS および UV-VIS を用いてこれら 2 種類の銅赤ガラスの着色要因を同定した結果、前者は cuprite、後者は金属 Cu ナノ粒子であることがわかった。時代別にみると、後期青銅器時代の資料はすべて cuprite 着色であったのに対し、鉄器時代の資料には cuprite 着色と金属 Cu ナノ粒子着色の双方が存在した。金属 Cu ナノ粒子着色ガラスはメソポタミア都市遺跡からの発掘資料にはなく、伝イラン北部由来資料のみであった。これは後述の化学組成の分析結果でも裏付けられた。よって鉄器時代のメソポタミアとイラン北部において着色技法の異なる銅赤ガラスが流通していたことになるが、伝イラン北部由来資料については出土情報が明らかではなく、あるいは時代に差がある可能性もある。

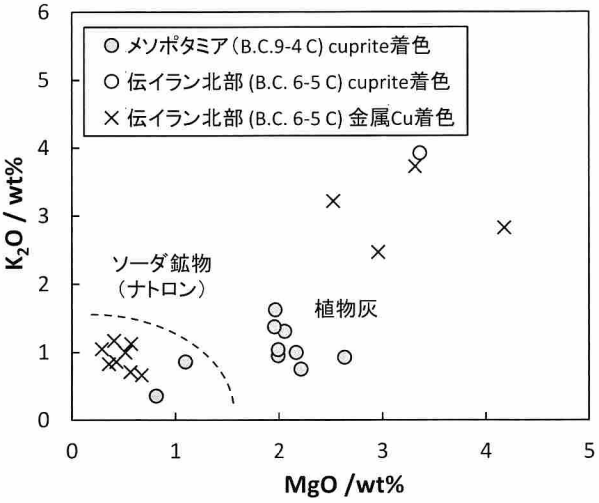


Fig. 1　鉄器時代西アジアの銅赤ガラスの融剤推定

化学組成分析により、着色要因である Cu は、CuO 含有量にして cuprite 着色ガラスで 19.6±5.33 wt%、金属 Cu ナノ粒子着色ガラスで 1.98±1.07 wt%、銅着色水色ガラスで 1.74±0.47 wt% 含有されていた。この結果から、古代エジプトおよび地中海沿岸地域の銅赤ガラス [1]と同様に、cuprite 着色ガラスは多量の Cu を添加することで実現していた可能性、金属 Cu ナノ粒子は高度な還元技術で実現していた可能性が示唆された。後期青銅器時代の資料では、銅原料として青銅が再利用されたことを示す Sn は検出されなかった。青銅の再利用は同時代のエジプトで一般的な技術であったため [1]、両地域の技術的な差が明らかとなった。またこれらの資料はエジプトからの搬入品ではなく、ガラス生産の最初期からメソポタミアにおいて銅赤ガラス製品が生産されていたことを実証するものである。鉄器時代の資料では、Sb の含有量にメソポタミア都市遺跡出土資料と伝イラン北部由来資料で明らかな差異があった。また使用されたソーダ融剤、すなわちソーダ鉱物（ナトロン）と植物灰のどちらが使用されたかに着目すると、メソポタミア都市遺跡出土資料にも複数の組成グループに細分化できる可能性が示された（Fig. 1 参照）。この結果は、鉄器時代の西アジアに銅赤ガラスの一次生産地が複数存在したことを意味している。

【謝辞】本研究は、東京理科大学奨励研究助成金の支援により実施された。

【参考文献】

1) 日髙 遥香 他：「非破壊オンサイト分析による古代エジプト銅赤ガラスの製法および変遷の解明」，日本文化財科学会第 33 回大会 ポスター

アケメネス朝ペルシアにおけるガラスの生産と製法に関する研究

Investigation of production and technology of Achaemenid glass

○吉田 健太郎[1]、阿部 善也[1]、四角 隆二[2]、菊川 匡[3]、巽 善信[4]、中井 泉[1]
(1 東理大・理、2 岡山市立オリエント美術館、3 古代エジプト美術館、4 天理参考館)
○Kentaro Yoshida[1], Yoshinari Abe[1], Ryuji Shikaku[2], Tadashi Kikugawa[3],
Yoshinobu Tatsumi[4], Izumi Nakai[1]
(1: Tokyo University of Science, 2: Okayama Orient Museum, 3: Ancient Egyptian Museum,
4: Tenri University Sankokan Museum)

1. 目的

アケメネス朝ペルシア(前 550 年～前 330 年、Fig. 1)は、古代オリエント世界を統一した大帝国である。同領土内では、リュトンなどの金属器を模して作られた技術力の高いガラス容器が複数発見されている。また角型の香油瓶(コホル瓶)は、同帝国内でもイラン北部において特徴的に見られる独自の製品である[1]。その一方で、アケメネス朝ペルシアにおけるガラスの生産および流通に関しては不明な点が多く、そもそも世界的に見ても現存資料がわずかであるので、理化学的な研究例がきわめて少ないのが現状である。

Fig. 1 アケメネス朝ペルシアの領土 (最盛期)

そこで本研究では、国内外の博物館に収蔵されたアケメネス朝ペルシアのガラス製品に対して、非破壊の分析手法を複合的に用いた研究を行い、その生産状況や製法に関して考察を行った。まずは可搬型の蛍光 X 線分析装置および顕微ラマン分光分析装置を各館内に持ち込んで、非破壊の化学組成分析と顔料同定を行った。またこれらのガラス製品の内、人工黄色顔料アンチモン酸鉛($Pb_2Sb_2O_7$)により着色されたと考えられる黄色ガラスに着目し、放射光 X 線を用いた分析から製法を考察した。

2. 方法

分析資料は、大英博物館(イギリス)、MIHO MUSEUM(滋賀)、平山シルクロード美術館(神奈川)、東京大学総合研究博物館(東京)、岡山市立オリエント美術館(岡山)および古代エジプト美術館(東京)に所蔵された、アケメネス朝のガラス製品 16 点(コホル瓶 10 点、透明ガラス容器 6 点)である。なおコホル瓶 10 点の内 9 点は、複数の有色ガラスを用いて作られていたため、各色について別々に分析を行った。可搬型の蛍光X線分析(XRF)装置にはアワーズテック(株)製 100FA-II を用いた。この装置は東京理科大学中井研究室が文化財分析のために共同開発したものであり、Na までの軽元素の分析と、ppm までの微量重元素分析が可能である。顕微ラマン分光分析(MRS)装置には B&W TEK 製の MiniRam(励起波長 785 nm)を用い、専用の顕微ユニットに接続することで、ガラスに添加された着色顔料の相同定を行った。また比較分析として、天理参考館(奈良)等において、アケメネス朝ペルシアの並行期に年代づけられる地中海沿岸のガラス製品についても分析した。さらに、古代エジプト美術館の資料を高エネルギー加速器研究機構(茨城)の Photon Factory(PF)に持ち込んで、BL-4A においてマイクロビーム放射光 X 線(縦横約 5 μm)を用いたμ-XRF イメージング、および Fe-K 吸収端のマイクロビーム X 線吸収端近傍構造解析(μ-XANES)を行った。本研究の測定は全て非破壊で行われた。

3. 結果と考察

XRF により、本研究で分析した資料は全てソーダ石灰ガラスの組成であった。そこで、融点を下げるために添加されたソーダ融剤に着目すると、コホル瓶では無着色のものも含めて全点で植物灰が使用されていたのに対し、透明ガラス容器についてはエジプトで採取されたソーダ鉱物(ナトロン)[2]を用いていたことが分かった。またナトロンを用いていた透明ガラスでは、消色剤(原料由来の Fe による発色を抑える添加剤)として Sb が添加されており、こうした組成的特徴は紀元前後に地中海沿岸で生産された「ローマ・ガラス」[3]とよく類似していた。よってこれらの透明ガラス製品は、アケメネス朝支配下にあったユーフラテス以西、おそらくは東地中海地域で生産されたものであると考えられる。一方、植物灰ガラスはユーフラテス以東で作られたものと考えられるが、前 2 千年紀および後 1 千年紀にガラスの生産拠点となったメソポタミアのガラス製品[4]とは異なる組成的特徴を有していた。よってこれらの植物灰ガラスに関しては、アケメネス朝独自の原料(砂・植物灰)を用いて、メソポタミア以外の地域で生産された可能性も考えられる。

またコホル瓶の黄色ガラス部分では、100 μm 以下の微小な黄色顔料粒子が散在しており、MRS により黄色顔料の $Pb_2Sb_2O_7$ が相同定されたが、ラマンスペクトルは参照物質のものと完全には一致しなかった。そこで、XRF により得られた黄色ガラス部分の化学組成を見てみると、顔料由来の Pb と Sb と共に、他の色のガラスに比べて有意に高濃度な Fe が検出された。Fe と Pb には明確な濃度相関(相関係数 r = 0.74)があったことから、Fe 鉱物を不純物として含む Pb 原料を用いて黄色ガラスが製造されたと考えられる。そこで $Pb_2Sb_2O_7$ に Fe を添加した黄色顔料を自作して、同様に MRS で分析したところ、コホル瓶の黄色ガラス部部分で得られたものとよく似たラマンスペクトルが得られた。さらにアケメネス朝ペルシアの黄色顔料についてより詳細な知見を得るため、PF においてマイクロビーム X 線分析を行った。まず μ-XRF イメージングの結果、黄色ガラス内で Pb、Sb、Fe の 3 元素の分布には明確な対応関係が見られた。さらに、これら 3 元素が高濃度で存在する点において Fe-K 吸収端の μ-XANES スペクトルを測定したところ、吸収端のエネルギーから Fe が 3 価で存在することが明らかになったものの、一般的な Fe 酸化物とはスペクトル形状が一致しなかった。そこで、先述の Fe を固溶させた $Pb_2Sb_2O_7$ について同様に μ-XANES スペクトルを測定した結果、スペクトル形状がよく一致し、コホル瓶の黄色がラス部分では Fe が固溶した $Pb_2Sb_2O_7$ が用いられたことが新たに明らかになった。

以上の分析結果から、アケメネス朝ペルシアにおける黄色ガラスの製法を考察する。$Pb_2Sb_2O_7$ などの合成顔料を用いた黄色ガラスの生産においては、以下の 2 種類の製法が想定された。一つ目は、①「ガラスと黄色顔料の原料を同時に混合して、一度の焼成で黄色ガラスを製造する」という方法、そして二つ目は、②「予め黄色顔料を合成した後に、着色剤として無色のガラスに添加する」という方法である。本研究の結果では、μ-XRF イメージングで不純物の Fe が黄色顔料部分に濃集しており、さらに Fe が黄色顔料の結晶構造中に固溶していたが、こうした Fe の分布および化学状態は、①の方法では実現されない。よってまず Fe を含む Pb 原料から $Pb_2Sb_2O_7$ を合成したのちに、植物灰を融剤とする無色ガラスにこの黄色顔料の粉末を添加することで、黄色ガラスが作られたものと結論付けられた。

以上のように、博物館資料のアケメネス朝ペルシアのガラス製品に対して非破壊の複合的な分析を適用し、異なる原料を用いた複数の生産拠点からガラスが供給されたいたことを明らかとし、さらに一部のガラスについては詳細な製法まで考察することができた。

【謝辞】 本研究を行うにあたり、希少なガラス資料を分析する許可をくださった大英博物館の St. John Simpson 博士、MIHO MUSEUM の東 容子氏、平山郁夫シルクロード美術館の平山 東子 氏、東京大学総合研究博物館の西秋 良宏博士に厚く御礼申し上げます。本研究は科研費(基盤 B:26303006)および平成28年度天理大学学術・研究・教育活動助成「正倉院タイプガラスの調査研究」(代表:巽善信)の支援により実施されました。

【参考文献】

1) 谷一 尚 「ガラスの考古学」同成社(2007).
2) A. J. Shortland, *et al*: *Archaeometry* **51**, 947-965 (2009).
3) R. H. Brill : "Chemical Analysis of Early Glasses " The Corning Museum of Glass Corning (1999).
4) A. J. Shortland, *et al*: *Archaeometry* **48**, 581-603 (2006).

ウズベキスタン共和国カフィル・カラ遺跡出土織物の調査

(2016 年度調査結果)

A study of textiles unearthed from the archaeological site of Kafir-Kala in Uzbekistan

○村上智見(ロシア国立グラバル芸術保存修復センター)、宇野隆夫(帝塚山大学)、
ベルディムロドフ アムリディン(ウズベキスタン共和国科学アカデミー考古学研究所)、ボゴモロフ
ゲナディー(ウズベキスタン共和国科学アカデミー考古学研究所)、ベグマトフ アリシェル(京都大学)
○Tomomi Murakami(The Grabar Art Conservation Center Ministry of culture of the Russian Federation State Museum), Takao Uno(Tezukayama University), Amridin Berdimurodov・Gennadiy Bogomolov(Institute of Archeology of Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan), Alisher Begmatov(Kyoto University)

1. はじめに

東西交易において大きな役割を果たしたソグド人の本土であるソグディアナ（現ウズベキスタン・タジキスタンの一部）は、シルクロードの織物産地として知られていながら出土資料が少なく、どのような織物文化が存在していたのか不明な点が多い。ソグディアナ製とされるソグド錦は、ロシアのコーカサス地方や中国出土品が知られているが、ソグディアナ本土ではムンチャク・テパ遺跡（ウズベキスタン）やムグ山遺跡（タジキスタン）出土資料を除くとほとんど知られていない現状である。本研究では、どのような織物がどこで生産され、シルクロードを介してどのように伝わったのかを明らかにすることを目的に、ソグディアナ地域の織物文化復元を試みている。調査対象は絹織物に加え、これまで注目されることのなかった炭化や金属銹着化した小断片織物、土器の布圧痕、紡織具調査や民俗調査などを行ってきた。今回はカフィル・カラ遺跡 2016 年度発掘調査において出土した炭化織物の調査結果について報告する。

2. 遺跡の概要

カフィル・カラ遺跡は、サマルカンド市の南約 12 キロ、ザラフシャン川の支流であるダルゴム川左岸に位置している。シタデル、シャフリスタン、ラバッドからなる面積 15,2 ヘクタール程の遺跡である。シタデルの四隅には円形塔があり、さらにシタデルを囲むように現状では 6 つの塔が確認できる。遺跡は 1 世紀頃から始まりその用途は不明であるが、イブン・ハウカルが伝える、レヴダートにあったサマルカンド王の離宮であるとする説が有力である。シタデルは 8 世紀前半にアラブの襲撃を受け炎上したが、その後も 11 世紀頃まで利用されていた痕跡が確認できる。シタデルからは 8 世紀前半に炎上した際に炭化した織物や縄状繊維、フェルト状繊維、封泥に付着した紐など繊維製品が出土した。いずれも小断片であるが、当該地域における数少ない実物の繊維資料として貴重である。

3. 調査方法

繊維製品は炭化し非常に脆い状態であったため、取り上げには、ウズベキスタンの文化財保存修復現場においてに一般的に用いられるアクリル系樹脂 PBMA(poly-n-butyl methacrylate)を使用した。取り上げた繊維製品は、ルーペを用いて製作技法調査を行った。また一部の資料は走査電子顕微鏡(S-3000N：日立製、奈良大学設置)を用いて繊維形状の観察を行った。試料は脱落したものを使用し、カーボン蒸着した後、観察を行った。

4. 結果

織物は平組織がほとんどであったが、緯糸を等間隔に開ける縞状平織物、長い毛羽を持つパイル織物なども確認できた。いずれも当該地域に特徴的な Z 方向の強撚糸を使用している。縞状平織物は当該独自の織物の可能性がある。平織物と縞文状平織物は人骨と共に出土した。平織物は薄く柔軟性があることから、用途としては身に着ける衣服などが考えられる。縞文状平織物は緯糸に隙間を持たせていること、単糸が太く強度があるなどから衣服には適さず、遺体の覆布かあるいは敷物として用いられた可能性がある。パイル織物は壁画を持つ大型建物の床面から出土しており、絨毯として床に敷かれていたと推察される。損傷が著しく詳細な技法は不明だが、最大 10 センチ程の長い毛羽を有している。繊維材質調査の結果、テープ状で平たく一定方向でない捲縮、繊維長軸に平行する溝、断面には線状のルーメンが見られるなど、棉繊維に類似する形状が確認できた。しかし、現代の棉と比較すると厚みがあり捲縮も少ない。8 世紀の棉と現代の棉とでは繊維形状が異なる可能性があるため慎重に検討したい。当該地域では紀元前 16~前 12 世紀のジャルクタンから最古の棉織物の出土があるが、その後は 5～6 世紀の古代テルメズ、7 世紀のカンカ遺跡、8 世紀のカフィル・カラ遺跡などで棉によく似た特徴を持つ繊維が確認されている。カンカ遺跡からは棉の種子が発見されていることから、当該地域では遅くとも 7 世紀には棉栽培が行われていたと考えられる。カフィル・カラ遺跡出土織物の調査により、これまで知られていなかった技法を確認することができた。今後も在地の伝統的な織物技術や文様の特徴を明らかにし、製作地特定が困難な高級絹織物について検証していきたいと考えている。

参考文献

○Mantellini S, Berdimuradov A (2005), Archaeological Explorations in the Sogdian Fortress of Kafir Kala, Ancient Civilizations from Scythia to Syberia, vol. 11, 1-2

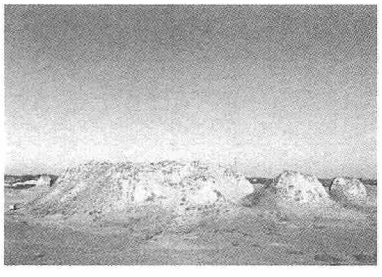


図 1　遺跡シタデル全景

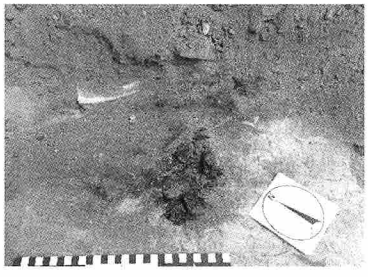


図 2　織物出土状況

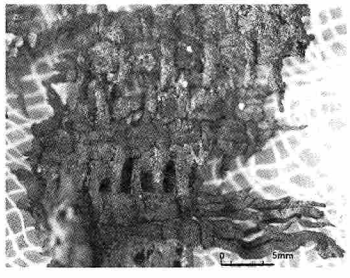


図 3　縞文状織物

奈良県珠城山三号墳出土馬具の科学的調査
～双鳳文杏葉並びに忍冬唐草文鏡板を中心として～

Scientific Analysis of Harness Excavated from the Tamakiyama Tumulus No.3 in Nara
- Focusing on the Pendant Horse Ornament and the Cheek Plate of Horse Bit -

○大江克己（奈良国立博物館）、鳥越俊行（同左）、吉澤悟（同左）、中川あや（同左）
Ohe Katsuki , Torigoe Toshiyuki , Yoshizawa Satoru , Nakagawa Aya（Nara National Museum）

1. 緒言

奈良国立博物館では、奈良県桜井市所在の珠城山三号墳（前方後円墳・六世紀後半）から出土した、二つの鉄地金銅製馬具（双鳳文杏葉・忍冬唐草文鏡板）を収蔵している。双方の馬具は文様や意匠の精巧さから、当時の対外交渉を伺うことのできる貴重な遺物である。また、鍍金や形状の残りも良く類例の少ない型式のため、展示への活用や貸与の多い収蔵品の一つである。しかし、遺物自体の調査は型式学的な検討を含む少例に留まっており、科学的観点を用いた検討はあまり行われて来なかった。今回、これらの馬具について調査を行い、主に得られた遺物構造に関する知見について報告を行う。

2. 調査概況

今回の調査では拡大鏡や高精細画像等を用いた表面観察に加え、X線透過撮影による内部観察を行った。本稿ではこれらの調査概況を中心に記載する。また、本年四月に当館へ設置される、X線CT装置を用いた三次元的な内部構造調査も実施予定である。X線CT装置による調査結果は発表ポスターを参照頂きたい。

a, 双鳳文杏葉（図1）

後円部の横穴式石室から出土した心葉形の杏葉である。寸法は左右幅 11.4cm・上下幅 11.6cm・厚さ 1.0cm であった。中央に向かい合う鳳凰を透彫で表し、その上に線刻で文様を描き起こしている（図2）。側面には一部に布の痕跡が残っている。

地板については、再背面の鉄地の上に金銅板を重ね、その上に透彫を施した金銅板を重ねる。そして、周囲を囲む縁板を配して鋲で固定している。地板の厚さは、鉄地及び二枚目の金銅板は腐食により個別に測定することはできないが、二枚併せて約 0.35cm となる。透彫を施す三枚目の金銅板は厚さ 0.15cm、縁板の厚さは 0.5cm であった。上部の立聞は金銅製の帯金を背面へ折返し、金銅製の責金具を巻いて鋲で留める。

鋲は金鍍金を施す装飾鋲で総数 74 鋲（地板周囲：71 鋲、立聞：3 鋲）用いられる（図3上）。鋲頭は直径 0.3cm・高さ 0.2cm を測り、立聞の鋲を含めても寸法差はほぼ見られない。多数の鋲が用いられているが、再背面の鉄地まで留める鋲はその内の一部の鋲のみである（図3下）。

図1　双鳳文杏葉　全景

図2　文様拡大

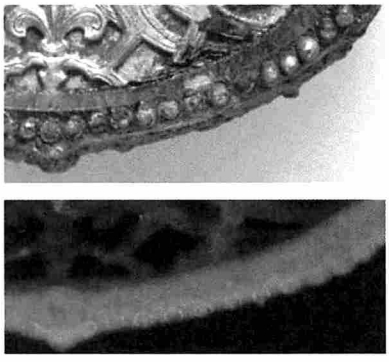


図3　装飾鋲の様子とX線画像

b, 忍冬唐草文鏡板（図 4）

後円部の横穴式石室から出土した楕円形の鏡板である。現状での寸法は左右幅 10.8cm・上下幅 11.5cm・厚さ 0.7cm であった。中央には四区画に分かれる忍冬唐草文を表す（図 5）。側面には一部に布の痕跡が残っている。

地板については、再背面の鉄地の上に金銅板を重ね、その上に透彫を施した金銅板を重ねる。そして、周囲と中央を囲む縁板を配して鋲で固定する。地板の厚さは、鉄地及び二枚目の金銅板は腐食の影響から個別に測定することは難しい。透彫を施す三枚目の金銅板は厚さ 0.15cm を測り、十字形の帯状部分を持つ縁板の厚さは 0.4cm であった。背面中央には、轡を連結させる帯状鉄板が縦方向に配されている。上部の立聞は金銅製の帯金を裏へ折返し、金銅製の責金具を巻いて鋲で留める。

鋲は金鍍金を施す装飾鋲で総数 58 鋲（地板周囲：51 鋲、地板中央：4 鋲、立聞：3 鋲）用いられる。鋲頭は直径 0.3cm・高さ 0.2cm を測り、立聞の鋲を含めても寸法差はほぼ見られない。再背面の鉄地まで留める鋲は、X線透過画像を用いても明確とはならなかった。しかし、背面を観察すると轡を連結させる帯状鉄板に上下各 1 鋲の鋲脚が確認できた（図 6 下）。双鳳文杏葉と同様に、鉄地まで留める鋲は一部の鋲のみの可能性がある。

図 4　忍冬唐草文鏡板　全景

図 5　文様拡大

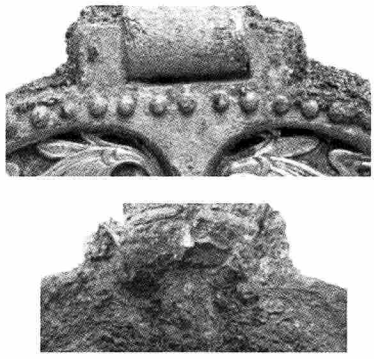


図 6　装飾鋲の様子と背面鋲脚

3．結言

珠城山 3 号墳から出土した双鳳文杏葉と忍冬唐草文鏡板について、拡大鏡や高精細画像等を用いた表面観察並びにX線透過撮影による内部観察の結果を記載した。今回調査を行った双方の馬具は、遺物形状の残りが良く鮮明に観察することが可能なため、主に構造に関する知見の取得に焦点を当てている。今回の調査の結果、地板配置や鋲の詳細が明らかとなった。

双方の馬具の近似例としては少数知られている。双鳳文杏葉は静岡県御小屋原古墳出土例等が挙げられ、忍冬唐草文鏡板は奈良県藤ノ木古墳等が挙げられる。近似例との構造的な比較検討は果たせていないが、調査を継続することで遺物構造の情報の取得を進め、製作技術を巡る諸問題の鮮明化に向けた基礎情報の蓄積に努めたい。

＜参考文献＞

1. 奈良県教育委員会編　1956『大和國磯城郡大三輪町穴師　珠城山古墳』　奈良県教育委員会
2. 岡安光彦　1988「心葉形鏡板付轡・杏葉の編年」『考古学研究』第 35 巻 第 3 号　考古学研究会
3. 奈良国立博物館編　2004『金飾の古墳時代―副葬品に見る日韓交流の足跡―』　奈良国立博物館
4. 国立慶州博物館編　2015『日本の古墳文化』　韓国・国立慶州博物館

トルコ, カマン・カレホユック遺跡出土鉄器時代に属する彩文土器の化学的研究

Chemical investigation of Iron Age painted pottery excavated from Kaman-Kalehöyük, Turkey

○大塚 晶絵（東理大・理）、阿部 善也（同）、中井 泉（同）、
松村 公仁（アナトリア考古学研究所）、大村 幸弘（同）
○Akie OTSUKA, Yoshinari ABE, Izumi NAKAI (Tokyo university of science),
Kimiyoshi MATSUMURA, Sachihiro OMURA (Japanese Institute of Anatolian Archaeology)

1. はじめに

トルコ共和国・中央アナトリアに位置するカマン・カレホユック遺跡ではオスマン時代(A.D.1500～1700)から前期青銅器時代(B.C.3000～2000)まで長期的な人間活動を示す４つの文化層が確認されている。本研究では鉄器時代(B.C.1200～334)に登場する彩文土器に着目した。鉄器時代の本遺跡では、黒/褐色顔料を用いた彩文土器が多数利用された。東京理科大学中井研究室が行った非破壊の蛍光 X 線マッピングにより、本遺跡から出土する彩文土器の黒/褐色顔料は化学組成により①Mn タイプ、②Mn＋Fe タイプ、③Fe タイプ、④Mn＋Fe＋Ni タイプに分類され、時代と共に①は②へと変遷していくことが明らかになっている[1]。この変遷は、本遺跡でこれらの彩文土器が生産されていた場合には原料供給や製法の変化、搬入品の場合には流通状況の変化を反映していると考えられ、本遺跡における鉄器時代の彩文土器の生産および利用を考察する上で重要である。その一方で、分類された各顔料の正確な相は明らかにされておらず、化学組成も定性的にしか理解されていない。そこで本研究では各タイプの正確な相同定を主目的として走査型電子顕微鏡(SEM-EDS)や粉末 X 線回折計(XRD)等を用いた理化学分析を行い、各顔料の違いを技術的な面から明らかにすることで、変遷の理由を明らかにすることを目指した。さらに、本遺跡において後期鉄器時代(B.C.700～334)の層から「Black on Red」と呼ばれる特殊な彩文土器が出土している。この土器はキプロスが起源と言われており、彩文紋様が独特で、土着の土器とは文化的に異なるため搬入品の可能性が高いとされている。本研究ではこの「Black on Red」について重鉱物組成分析[2]を用いた産地推定や化学分析を用いた製作技術の解明を試みた。また、赤色胎土に黒/褐色顔料を施した一般的な彩文土器と「Black on Red」は見た目での分類が困難であるとされているため、遺跡現地でも実施可能な簡易分類法の検証も行った。

2. 実験方法

対象資料はカマン・カレホユック遺跡北区 XVIII、XIX、XX 区より出土した鉄器時代に年代づけられる彩文土器 53 点であり、いずれも赤色胎土に黒/褐色顔料が施されたものである。なおうち１点は「Black on Red」と呼ばれる特殊な資料であり、この土器は明るい赤色胎土につやのない黒色顔料が施された彩文土器と定義される。まず、黒/褐色顔料の正確な相同定を行うために、土器片から顔料粒子を数点取り出し、SEM-EDS を用いた ZAF 法による定量分析を行った。その後 XRD を用いて、顔料の相同定を試みた。「Black on Red」については、製作技術に関連する知見を得るために、非破壊の蛍光 X 線分析(XRF)により胎土の化学組成を、粉末化後に XRD を行うことで含有鉱物を分析し、他の彩文土器と比較した。また「Black on Red」の独特な赤色胎土の色に着目し、デジタル顕微鏡を用いて色を RGB として数値化し、それを $L^*a^*b^*$値に変換して、色度図や色調図を用いた分類を試みた。

3. 結果と考察

本研究で行った顔料1粒子単位のSEM-EDSにより、各タイプの顔料の化学組成を定量的に議論可能となった。②Mn＋Feタイプの顔料の中には50 wt%に及ぶFe_2O_3を含むものも検出された。また、Mn_2O_3とFe_2O_3の濃度比を$R=Mn_2O_3/(Fe_2O_3+Mn_2O_3)$として表すと、②Mnタイプのものは$R=0.4\sim0.9$、②Mn＋Feタイプのものは$R=0.1\sim0.4$と大きな幅が見られた。また、XRDを用いた顔料の相同定では、②Mn＋Feタイプの中でもFeに富むもの(R=0.1)には赤鉄鉱が含まれていることが分かった。SEM-EDSで得られた化学組成とXRDで得られた結晶相から、Mn, Feの相図(図1, 2)を用いて焼成温度を推測すると、①Mnタイプは約900～1150℃で焼成され、一方②Mn＋Feタイプは1000℃以上で焼成されたことが分かった。このことから、①Mnタイプの方がより低い焼成温度で製作できた可能性が考えられる。

次に、胎土の非破壊XRFによって「Black on Red」と他の彩文土器を比較したところ、Feの強度に明確な差が見られた。また、XRDを用いて胎土の含有鉱物を同定すると「Black on Red」のみ赤鉄鉱(α-Fe_2O_3)が同定され(図3)、蛍光X線分析による結果が裏付けられた。よって、「Black on Red」の胎土では、独特な赤を出すために酸化鉄を混ぜた可能性、あるいはFeの含有量が多い粘土が使用された可能性が考えられる。また、「Black on Red」の独特な赤色を利用して色度図や色調図を用いた分類を試みた結果、他の彩文土器とは異なる数値が示され、現地での分類に有効であることが示唆された。

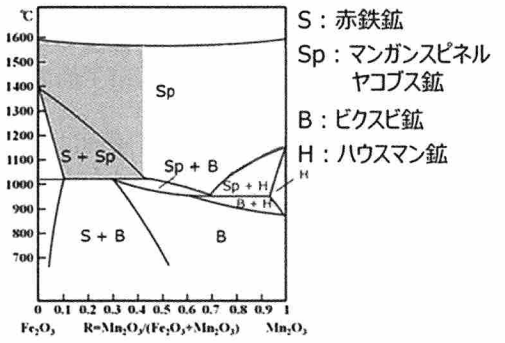


図1　Mn, Feの相図と
①　Mnタイプの定量・同定結果

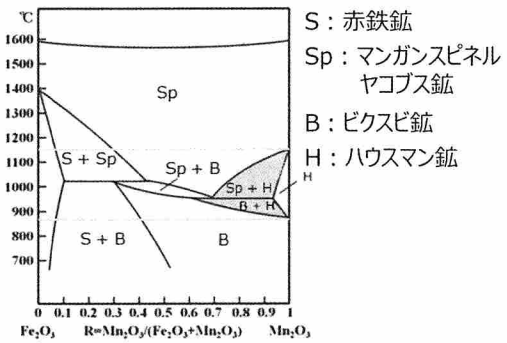


図2　Mn, Feの相図と
②　Mn＋Feタイプの定量・同定結果

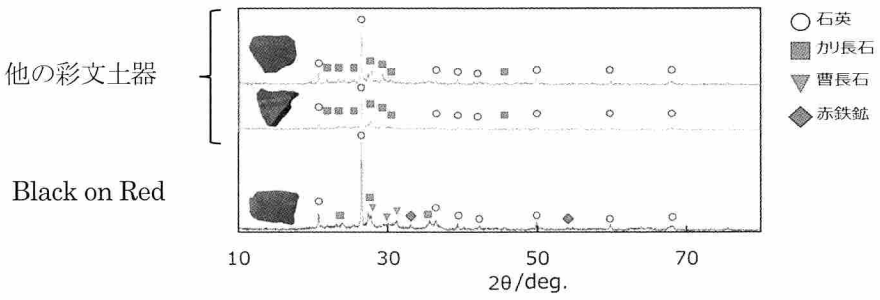


図3　XRDによる胎土部の鉱物同定結果

1)　泉山優樹：*Anatolian Archaeological Studies*, **8**, 307-320 (1999).
2)　W.S.K.Bong *et al.*：*Journal of Archeological Science*, **37**, 2165-2178 (2010).

中世末の非鉄金属生産に関する科学調査
－博多遺跡群からの出土遺物について－

Scientific research on Non-ferrous metallugy in the end of medieval Japan
–To target excavated artifacts in the Hakata ruins–

○沓名 貴彦（国立科学博物館）　比佐 陽一郎（福岡市埋蔵文化財センター）

○Takahiko Kutsuna (National Museum of Nature and Science)
Yoichiro Hisa (Fukuoka City Archaeology Center)

はじめに

これまでに発表者らは、山梨県内の金山遺跡や中世城館、城下町遺跡から出土した遺物への科学調査から、金を中心とする非鉄金属の生産技術について報告を行ってきた。その成果では、金山遺跡出土遺物から金鉱石に伴う不純物重元素を確認し、その元素の金山による差異や、同様の元素を城館、城下町遺跡などで確認することから金山との関連性などを、指摘した[1)2)3)]。

今回調査を同時期の他地域へ広げ、対象遺跡として福岡県福岡市の博多遺跡群に着目した。その結果、博多遺跡群の一地点から金銀の生産に関連する遺物を確認したため、詳細分析を実施した。その結果について報告する。

博多遺跡群について[4)]

博多遺跡群は、九州の鉄道の拠点である博多駅の北西、那珂川と御笠川に挟まれた砂丘上に広がる。博多湾に面する立地から、大宰府の外交窓口であった鴻臚館衰退後、平安時代後期頃より貿易の拠点として栄えた都市遺跡である。昭和52年の地下鉄工事に伴う発掘調査を嚆矢として、現在まで200地点以上の調査が行われ、多くの貿易陶磁器や、中世の都市生活の姿を窺わせる資料が数多く発見されている。

遺跡は大きく、海側と陸側の2つの砂丘上に形成され、海側の砂丘は息浜、陸側は博多浜と呼ばれている。発掘や地質調査などから、息浜は12世紀初頭以前に博多浜と接続され、13世紀後半頃から急速に都市化が進んだと見られている。

本調査について

本報告での調査対象遺物は博多遺跡群42次および60次調査の出土資料で、これらの調査地点は遺跡の中の息浜の一角に位置する。また銅の分析については、既に本学会で報告が行われている[5)]。今回調査を行ったのは金属加工に用いたと見られる坩堝の類で、中世末～近世初頭（16世紀後半～17世紀前半）の時期に帰属するものが主体になると考えられる資料である。

調査は、実体顕微鏡を用いて現地調査を行い詳細分析対象遺物を選定し、その後遺物を借用して詳細分析を実施した。詳細調査方法は、これまでと同様の非破壊分析による手法を用いた。

- X線透過撮影による元素の分布状態の確認
  X線透過撮影を行い、遺物に付着する重元素の分布状態を調査した。
- 蛍光X線分析（XRF）による元素分析
  遺物に付着する金属粒子等の部分に対して、XRFを用いて元素分析を行った。
- SEM-EDXによる元素分析
  XRFで確認した金属粒子周辺を、SEM-EDXマッピング分析により元素分布状態を調査した。

結果及び考察

実体顕微鏡を用いた現地調査で金などの金属粒子を確認たため、借用による詳細分析を計画し、対象遺物は計39点であった。顕微鏡観察では金粒子を5点、その他銀などとみられる金属粒子を確認した。また緑青などが付着する遺物を多数確認したが、それらは調査対象外とした。

X線透過撮影の結果では、粒子のみや広く陰影が確認された遺物など、種類は多様であった。

顕微鏡観察やX線透過撮影での確認部位についてXRFを用いて定性分析行ったところ、AuやAgをはじめ表1.に示す結果となった。中でも特徴的な元素を確認した遺物は、SEM-EDXによりマッピング分析を実施し、分布状態を確認した。

表1. 付着非鉄金属と他に確認した主な元素

主付着非鉄金属	確認遺物数	他に確認した主な元素
Au	5	Ir, Os, As, Ni, Zn, W
Ag	30	Cu, Pb, Bi, Zn, Ni
Cu	4	Pb, Sn, As

完形小型坩堝では顕微鏡観察で金粒子を確認し、SEM-EDX マッピング分析を行った。その結果、金以外に周辺にヒ素を確認した。その強度は低いものの、状況から鉱石由来の不純物と考えられた。大型の完形坩堝では、銀の付着を確認した。その詳細などは、別途報告する。

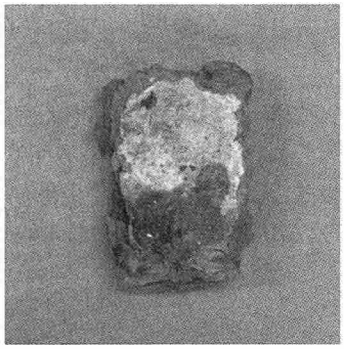
今回の調査で初確認した元素に、白金属のイリジウムとオスミウムの合金がある。その詳細調査事例を、図 1 に示す。金属成分はオスミウムが高いオスミリジウムと呼ぶ状態であり、この合金が金と共に絡まった粒子状態で確認した（図 1(b)）。他にもタングステンを周囲から確認し、砂白金と共に産出したと考えられた（図 1(c)）。白金属は日本での主産出地が北海道に限られ、北海道の金が持ち込まれた可能性も考えられる。他にも銀粒子周辺に鉱石の不純物であるビスマス付着の確認遺物もあるなど、鉱山産出に近い銀などが持ち込まれた痕跡が伺われた。

まとめ

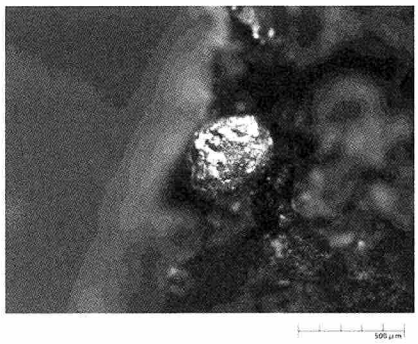
今回、博多遺跡群の一角から出土した金・銀付着遺物への科学調査から、この一角で金銀を用いる金工品生産が行われた事が確認された。詳細分析により、金や銀の入手が鉱石による可能性が示唆され、当時金山や銀山から金銀が持ち込まれた可能性を得た。ただし、産出鉱山は不明である。また、初めて白金属合金が金と絡まる状態で確認した。白金属の産出地が限定的な点から、北海道から金が持ち込まれた可能性も考えられた。これは、今後の検討課題である。

参考文献

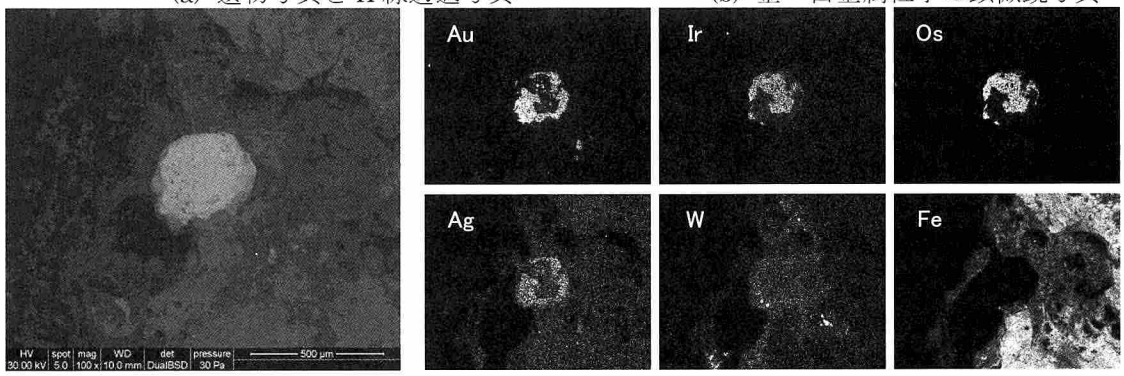
1) 沓名,鈴木,谷口,萩原,村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —甲斐金山遺跡を中心に—」日本文化財科学会第 25 回大会発表要旨集、p98-99、2008
2) 沓名,鈴木,谷口,萩原,室伏,村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —国指定史跡勝沼氏館跡を中心に—」日本文化財科学会第 26 回大会発表要旨集、p246-247、2009
3)沓名,長崎,村上「中世の金精錬技術に関する科学調査について —長野県川上村梓久保金山遺跡を中心に—」日本文化財科学会第 27 回大会発表要旨集、p68-69、2010
4)大庭,佐伯,菅波,田上編『中世都市・博多を掘る』2008
5)内田,江南,河野,比佐「日本の中世における銅製品の化学組成の特徴」日本文化財科学会第 22 回大会発表要旨集、p232-233、2005



(a) 遺物写真と X 線透過写真



(b) 金・白金属粒子の顕微鏡写真



(c) 金・白金属粒子部分の SEM-EDX による分析

図 1. 博多遺跡群出土金・白金属粒子付着遺物の分析

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

北海道内遺跡出土琥珀玉の製作技法について

Study on fabrication techniques of amber beads excavated from the sites in Hokkaido

○植田直見(公益財団法人元興寺文化財研究所)、渡邊緩子(日鉄住金テクノロジー株式会社)
鈴木克彦(弘前学院大学)
○Ueda Naomi (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)　Watanabe Hiroko
(Nippon Steel&Sumikin Technology, Co.,Ltd)　Suzuki Katsuhiko (Hirosaki Gakuin University)

1．はじめに

縄文時代後期から続縄文時代にかけて、北海道内の遺跡から出土した琥珀玉はこれまで確認されているだけでも数万点以上にのぼる。これらの大半は平玉でこのタイプは本州以西での出土数は非常に少ない。これらの一部について、赤外分光分析や熱分解-ガスクロマト/質量分析などを実施し、産地推定を行った。その結果その殆どはサハリンや北海道内産の可能性が高いと思われたが、かなり劣化が激しいものも多く、本州以西の出土琥珀と異なる状態であることがわかった。マイクロスコープで観察するとこれまで調査してきた琥珀玉と異なる形状を有し、また断口が琥珀特有の形状が見られないなどの特徴を持つものが見られた。今回自然科学的な調査もあわせて、これらの琥珀玉がどのように製作されたかを検討した結果、原石から物理的に研磨しただけでなく加熱などの加工を施した可能性が推定される結果が得られた。

2．資料

対象とした出土資料は続縄文時代の滝里遺跡から出土した琥珀平玉を中心に詳細な観察と分析を実施した。併せて、北海道内の地質学的標準琥珀として石狩市石狩川河口、同市望来海岸、三笠市幌内、白糠町産琥珀についても同様の分析を実施し比較した。

3．分析方法・条件

表面観察はキーエンス製 VHX-200・LeicaMZ16 を用いて実施した。また、分析は赤外分光分析(以下 ATR-FTIR)と熱分解-ガスクロマト/質量分析(以下 Pyro-GC/MS)を実施した。ATR-FTIR は(株)パーキンエルマー製 Spectrum Two を用い、極微量の試料をそのまま測定部に設置し $LiTaO_3$ 検出器を用い、分解能 4cm^{-1} で測定した。Pyro-GC/MS はフロンティア・ラボ製熱分解装置(EGA/PY-3030D 型)と日本電子(株)製(JMS-Q1050GC 型)GC/MS を使用し、EI 法により分析した。

4．結果と考察

写真1に出土琥珀の表面のマイクロスコープによる観察画像を示した。その結果、写真に示したように通常の琥珀には見られないようなひび割れや、流動性のあるものを流し込んだような痕跡が観察された。これらは本州以西の琥珀製品には見受けられないものである。次に ATR-FTIR による溶媒(酢酸エチル)可溶部と不溶部の分析結果を図1に示した。また標準琥珀についても同様に分析を実施した(図2)。なお、標準琥珀は溶媒にほとんど溶けない。その結果不溶部は北海道内の主な産地の標準試料と近似した結果が得られた。また可溶部は 500 cm^{-1}付近と 1250 cm^{-1}付近の吸収強度がより強く観察され、異なる化合物が含まれている可能性が考えられた。最後に、Pyro-GC/MS で 350℃(熱脱着)と 550℃(熱分解)におけるトータルイオンクロマトグラム(以下 TIC)を図 3-1、3-2 に示した。出土琥珀は Pyro-GC/MS では 550℃におけるピークがほとんど確認できなかった。一方、350℃では比較的分子量の低いと考えられる成分が検出された。しかし、ATR-FTIR では出土資料と標準資料は比較的よく近似したスペクトルが得られたのに対し、Pyro-GC/MS における TIC は両者がかなり異なった結果となった。これらの結果からも出土琥珀が本来の琥珀だけでなく比較的低い温度で融解させるために琥珀以外のものを混合した可能性が考えられた。しかし、現時点ではその物質の特定までは至らなかった。

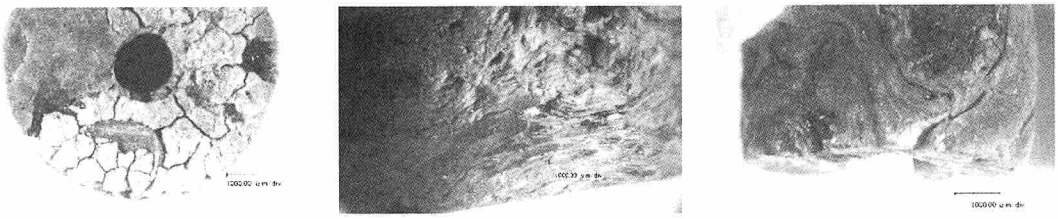


写真1. 出土琥珀の表面の状態

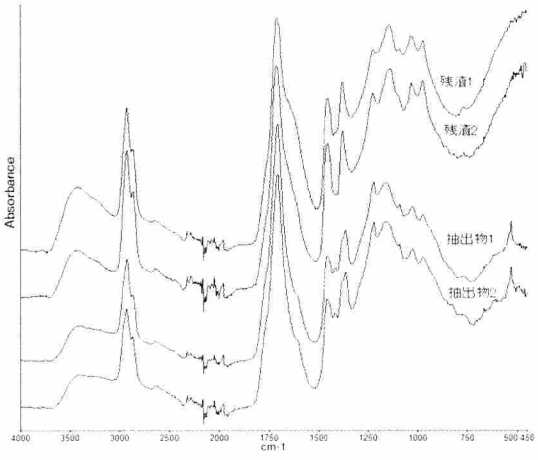


図1. 出土琥珀の赤外吸収スペクトル

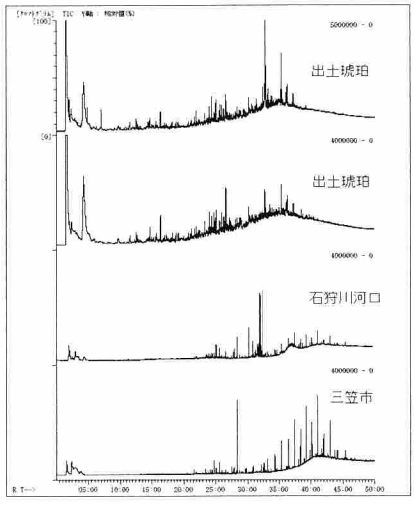


図 3-1. Pyro-GC/MS における TIC (350℃)

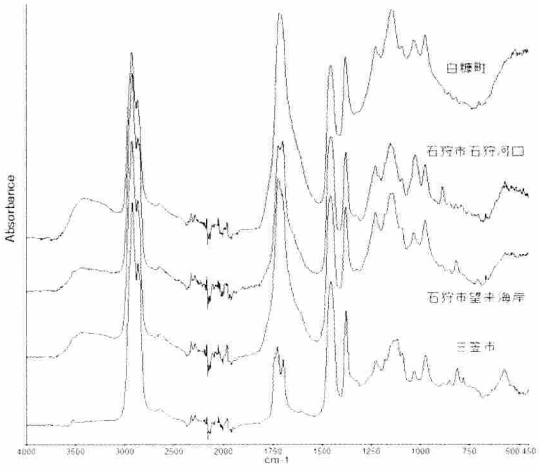


図 2. 標準琥珀の赤外吸収スペクトル

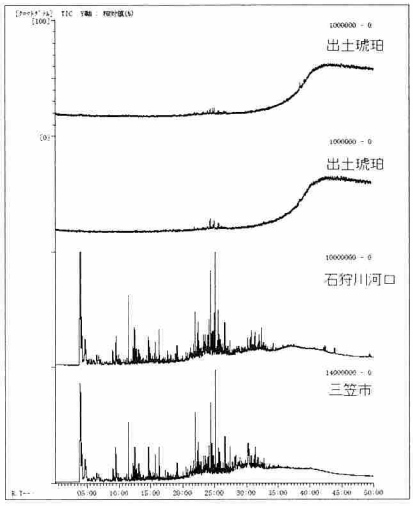


図 3-2. Pyro-GC/MS における TIC (550℃)

5. さいごに

北海道内の遺跡出土琥珀のうち、数点について顕微鏡観察や自然科学的な分析や調査を実施した。その結果、何らかの低温で融解するものを混合し、加熱後に整形した可能性を示す資料の存在が考えられた。しかし、これらの可能性のある玉は劣化の激しいものが多く加熱ではなく劣化の影響を受けている可能性も現時点では完全には否定できなかった。

最後に出土資料の分析の機会を与えて頂きました芦別市星の降る里百年記念館長　長谷山隆博氏、石狩川河口産琥珀や三笠市産幌内産琥珀などの標準試料をご提供いただきました石橋孝夫氏、中川町自然誌博物館　疋田吉識氏に感謝いたします。

繊維遺物鑑別のための基礎研究 —国産の植物繊維の生体鉱物の比較

Microscopic Study for Identification of Archaeological Fibers —Comparison of Crystals in Ashed Speciments of Japanese Vegetable Fibers—

○ 伊藤美香(昭和女子大学)、小原奈津子(同左)
○ MIKA ITO, NATSUKO KOHARA (Showa Women's University)

1. はじめに

繊維遺物の鑑別には標品繊維との形態比較が最も簡便で有効とされているが、劣化分解した繊維や炭化した繊維など、原形とかけ離れた形状となってしまった繊維遺物は鑑別が困難である。一方、加熱灰化した植物中の生体鉱物(ファイトリス)は劣化に影響されないため、鑑別への応用が期待されている。植物内のファイトリスには非結晶のケイ酸体(シリカ)と結晶質のシュウ酸カルシウム(クリスタル)が存在する。

先に、灰化した麻類の繊維中に観察されるクリスタルの形状に繊維種による違いを見出した。そこで、今回は出所の明確な繊維を灰化し、ファイトリスの形状を走査型電子顕微鏡で観察すると共に元素分析(EDS)を行い、形状を比較した。

2. 試料

下記、8種の国内産の植物繊維を試料として用いた。

表1 国内産の植物繊維

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
繊維種	大麻	苧麻	葛	科	藤	梶	芭蕉	和棉
産地	栃木県	福島県	静岡県	山形県	京都府	徳島県	沖縄県	静岡県
生産年	H23	H23	H24	H25	不明	H21	H26	不明

3. 実験方法

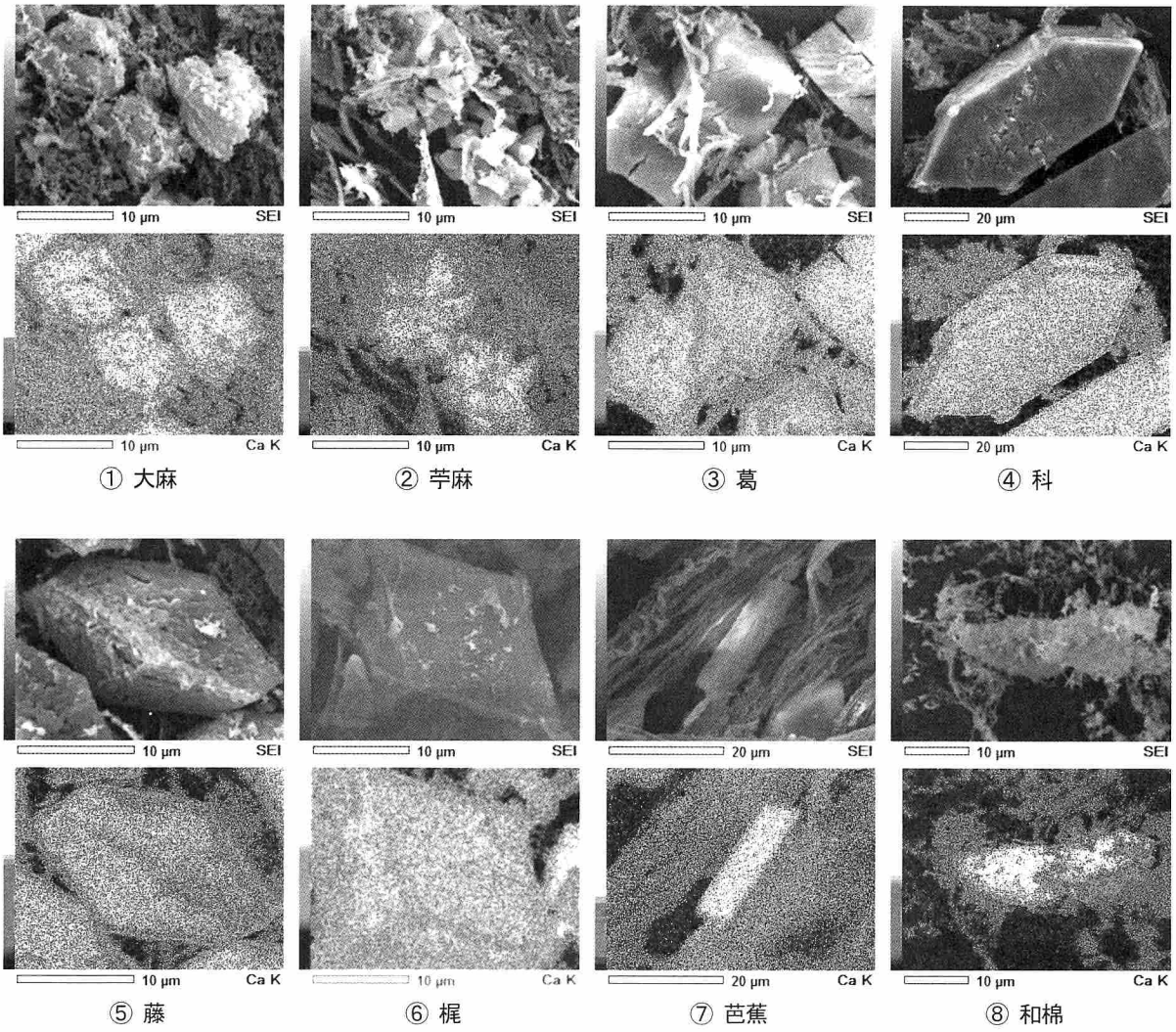
【試料の灰化】近藤らの方法[1]を参考に、試料を入れたるつぼを電気加熱炉(ROP-001:アズワン製)にて、100℃で10分間、150℃で5分間、200℃で10分間と徐々に昇温させ、その後600℃で6時間加熱して得られた灰化物を観察に用いた。

【偏光顕微鏡観察】灰化物を封入剤(グリセリン:DW=1:1)で封入し、偏光顕微鏡(POS:オリンパス製)にて直行ニコル下でクリスタルの形状を観察した。

【走査型電子顕微鏡観察およびEDS分析】灰化前および灰化後の各試料は金蒸着の後、走査型電子顕微鏡(JSM-6010LA:日本電子製)で観察した。さらに灰化物については顕微鏡に付属のEDSを用いたCaおよびSiの元素のマッピングによりクリスタルとシリカの形状を確認した。

4. 結果および考察

各試料のクリスタルの走査型電子顕微鏡観察像およびEDSマッピング像を示す。



各植物繊維はそれぞれに特徴的なクリスタルの形状を持ち、大きさにも違いが認められた。大麻と苧麻は微小なクリスタルが球状に凝集しており、大きさは大麻、苧麻共に直径 10μm 程度であった。それ以外の繊維は各種の角柱、多面体の形状を持ち、大きさは長径で、葛は 15μm 程度、科は 80μm 程度、藤、梶は 20-30μm 程度、芭蕉、和棉は 20μm 程度あった。特に科のクリスタルは突出して大きかった。

シリカについても、芭蕉などシリカを多く含むとされる繊維においては、走査型電子顕微鏡において観察される繊維状に並んだ 10μm 程度の滴状の物質が EDS マッピングにより Si を含んだシリカであることが確認された。

植物繊維遺物の鑑別において、標品繊維の形態等の把握に加え、クリスタルやシリカの形状や大きさを把握しておくことは、鑑別指標として有効と考える。

【参考文献】1）近藤錬三『プラント・オパール図譜』北海道大学出版会 (2010) p.200

非公開

非公開

X線CT観察による縄文時代晩期の籃胎漆器の製作技術研究
～東北地方を中心として～

Study on fabrication technique of Lacquered basket in the late Jomon period centered on the Tohoku region by X-ray CT observing

○片岡太郎(弘前大学北日本考古学研究センター)、上條信彦(同左)、
佐藤信輔(東北大学大学院文学研究科)、佐々木理(東北大学総合学術博物館)
○Taro KATAOKA[1], Nobuhiko KAMIJO[1], Shinsuke SATO[2] and Osamu SASAKI[3]
[1] Archaeological Research Center for Northern Japan, Hirosaki University,
[2] Tohoku University, Graduate School of Arts and Letters, [3] Tohoku University Museum

1. はじめに

籃胎漆器は、植物質の素材で製作したカゴに漆塗りを施した容器であり、縄文時代晩期の東日本を中心とした地域で出土している。籃胎漆器の製作工程は、(1)編組、(2)漆塗り（目止めを含む）、(3)彩色の3工程に大別できる。籃胎漆器の製作工程を復元するためには、まず、編組技法を知る必要がある。しかし、編組の構造自体が漆塗膜で覆われているため、目視による表面観察だけでは特定困難であり、従来では破断面の観察やレントゲン撮影による透視観察を中心としてきたが、全体の精密な観察が課題であった。

本研究では、X線CTを使った非破壊断面観察と三次元解析を応用して、秋田県「戸平川遺跡」と青森県「土井(1)遺跡（X線CT再撮影）」の籃胎漆器の編組技法の特定を試みた結果について、筆者らがX線CTを使って調査してきた籃胎漆器の結果と合わせて報告する。

2. 調査資料と分析方法

2.1 調査資料

戸平川遺跡（秋田県秋田市）の籃胎漆器は底部最大径が92mm、口縁部径が148mm、高さが73mmの方形であり、時期は縄文時代晩期中葉（大洞C1・C2式）と推定される[*1]。土井(1)遺跡（青森県板柳町）の籃胎漆器は、口縁部と底部が別々に残存しているが、本来は壺型の完形品であるとみられる。底部最大径が70mm、口縁部径60mmである。時期は、復元される器形と遺跡の時期から縄文時代晩期中葉（大洞C1式）と推定される（片岡・上條2015）。なお、土井(1)遺跡の籃胎漆器のX線CT調査の結果は片岡・上條2015で報告済みであるが、本発表では、高解像度X線CTで再撮影し、新規に得られた成果を発表する。

2.2 X線CT装置による分析

X線CT装置は東北大学総合学術博物館の高出力大型標本用CT装置（コムスキャンテクノ株式会社ScanXmate-D180RSS270）を使用した。撮影条件は、X線管電圧：100～120kV、X線管電流：100～200μA、解像度：42.7μmである。断層像の再構成はconCTexpress（有限会社ホライトラビット社製）を使用した。撮影データの表示と3DCGの解析はCTAn / CTvox（Bruker Corporation Skyscan1174）で行った。

3. 結果と考察、まとめ

戸平川遺跡の籃胎漆器に用いられた編組技法は、漆塗膜が剥がれた部分の観察から、底部の編組技法が1本飛び網代（1本越え・1本潜り・1本送り）であることがわかる。断層像の観察から、編組の素材が消失しており、一部が空洞として編組の構造を残しているものの、全体的に漆の塑形材と編組の構造部分の密度差が近いことがわかった。これは編組構造を象った空洞部分に、保存処理に使われた強化剤が含浸されており、強化剤と漆の塑形材の密度差が小さいためと考えられる。編組構造部分を抽出して立体視すると、体部の編組技法が2本飛びござ目（2本越え・2本潜り・1本送り）であることがわかった。また、口縁帯部にヨコ添え巻き付き編み[*2]が用いられていた。

土井(1)遺跡の籃胎漆器では、底部が2本飛びござ目（2本越え・2本潜り・1本送り）、体部が2本飛びござ目（2本越え・2本潜り・1本送り）、口縁帯部にヨコ添え巻き付き編みが用いられていた。

これまでX線CT観察によって調査した籃胎漆器の編組技法は、籃胎漆器の出現に先行して縄文時代前期からみられる編組製品と共通する技法が用いられていた。籃胎漆器を技術的観点からみれば、編組製品の延長上として捉えられ、漆塗り技術とが融合した製品として位置づけられる。

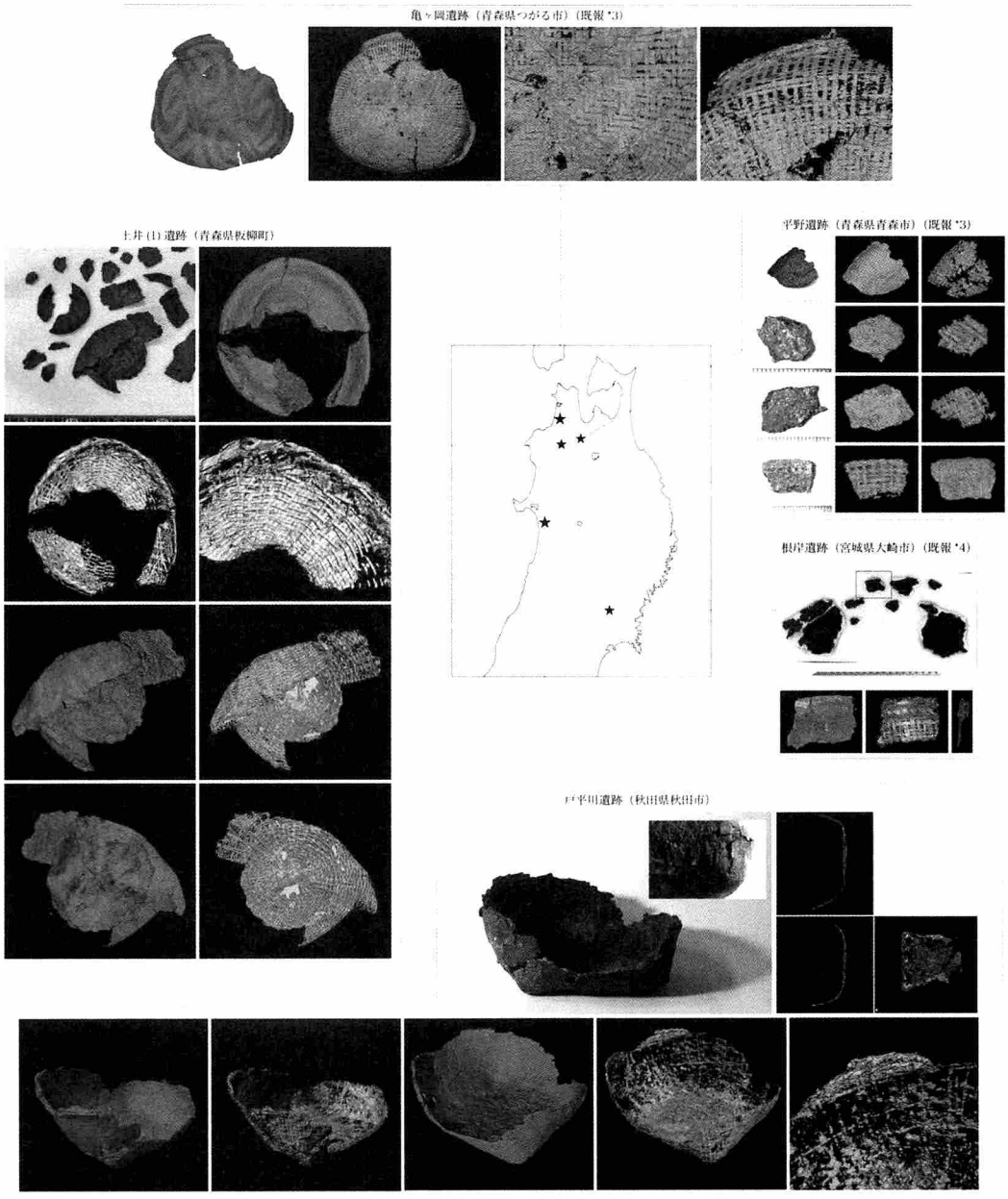


図1　調査した縄文時代晩期の籃胎漆器の出土位置と編組構造

引用文献
*1　秋田県教育委員会『戸平川遺跡』「秋田県文化財調査報告書294」2000
*2　佐々木由香・小林和貴・鈴木三男・能城修一「下宅部遺跡の編組製品および素材束の素材からみた縄文時代の植物利用」『国立歴史民俗博物館研究報告第187集』pp.323-346, 2014
*3　片岡太郎・上條信彦『亀ヶ岡文化の漆工芸II北日本における先史資源利用の研究』弘前大学人文学部北日本考古学研究センター, 2015
*4　片岡太郎・上條信彦・鹿納晴尚・佐々木理「宮城県大崎市根岸遺跡出土籃胎漆器の製作技法：X線CT分析を使った構造調査」『東北歴史博物館研究紀要』(16) pp.53-58, 2015

大聖寺藩上屋敷出土漆器の下地製作に使用された混和物質の解析

Analysis of Admixed Substances for Making the Foundation Used on Lacquer Ware Excavated from the *Daishoji Estate*

○武田昭子（昭和女子大学）、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), Hideo Akanuma(Iwate Prefectural Museum), Nobutaka Tsuchiya (Iwate University)

1. はじめに

江戸時代は藩単位で漆器産業が保護・奨励された。そのため、近現代に栄えた地方の漆器産地はほぼこの時期に起源を有する。漆器製造技術も頂点に達し、様々な技巧を凝らした漆製品が製作された。同時に、地方の庶民層までその需要が拡大したことにより、大量生産を可能にする技術も発展していった。近年、泥炭地や都市の再開発に伴う発掘調査によって、近世の遺跡からしばしば膨大な数の漆製品が出土し、日常生活に使用された漆製品等も確認されるようになった。本研究では、近世の大量需要を支えた漆器製作技術の解明を目的に、大聖寺藩上屋敷跡出土漆器を取り上げ、その下地調整技法に視点を当て調査を実施した。以下に調査結果を報告する。

2. 出土遺跡と調査資料

対象とした遺跡は東京大学医学部附属病院入院棟A地点SK3遺構で、本郷構内の医学部附属病院南東部に所在する。加賀藩、大聖寺藩上屋敷に関連した大形土坑で、南北53.8m、東西19.7m、深さ4.3mの不整長方形を呈し、坑底には大小様々な形態のテラスがある。遺構の年代は掘削された地層から、上限は1683（天和3）年以降になる。本遺構廃絶後は盛土をして庭園とし、その後は元禄16年の火災による焼土を含んだ盛土でさらに造成されているため、下限は1703（元禄16）年以前とされた。なお、陶磁器の形態学的調査によって、1680年代後半から1690年代前半頃までには埋め戻されたと推測されている。本遺構は泥炭を主体とした覆土のため、木製品・漆製品の残存状態も良好で、構成遺物も多種多様である。本稿では椀、杯等の飲食具115点の漆製品について塗膜断面調査を行った。

3. 調査方法

調査試料の摘出は医療用メスを使い、資料の形体学的研究に影響を及ぼさないように細心の注意を払いながら実施した。摘出した試料を2分し、一方を塗膜断面構造観察が可能となるようエポキシ樹脂に埋込み薄片にした後、透過光下で検鏡し、下地混和物質の分類を行った。もう一方は、下地混和物質を同定するため選別した3資料(No. 36、No. 71、No. 131)を除き、今後の研究のため保管した。上記3試料については、作成した薄片を偏光顕微鏡で検鏡して構成鉱物を同定した。さらに、もう一方の試料を同様の方法でエポキシ樹脂に埋込み、エメリー紙で荒研磨した後、ダイヤモンドペーストを使って仕上げ研磨した。落射光で塗膜断面を観察後、EPMA(日本電子株式会社製・JXA-8230)で上塗りに用いた色材料および下地混和鉱物相を分析した。

4．調査結果および考察

本遺構出土漆器の塗膜断面構造解析によって、4つの下地調整技法が用いられていることが分かった。その多くは炭粉下地で製作されていて、調査資料の約7割を占めた。他は鉱物混和下地で、切粉（地粉に砥粉を混和）と砥粉、ないし砥粉のみの下地であった。東京大学埋蔵文化財調査室が行った木胎の樹種同定によると、使用された樹種はトチノキ属、ブナ属、カツラ属、モクレン属、ケヤキ属の5種類で、ケヤキ属を除く4種類で全体の約8割を占めた。それらの大部分が炭粉下地1層、上塗り1層の簡便な作りであった。トチノキ属（52点中8点）とカツラ属（3点中1点）に切粉や砥粉下地を有する資料がみられ、トチノキ属には1点の布着せも確認された。ブナ属はすべての資料が炭粉下地1層、上塗り1層から構成されていた。ケヤキ属は25点のうち8点が炭粉下地、他は切粉と砥粉、ないし砥粉のみで調整された鉱物下地で、2点を除き下地は2層であったが、上塗りは約半数が1層塗りの簡便なものであった。

それぞれカツラ属、ケヤキ属を木胎とし、炭粉下地と砥粉下地、切粉下地と砥粉下地に分類された杯（No.36）と壺椀（No.71）から摘出した資料の上塗り層のEPMA反射電子組成像には、いずれにもFe、Oを主成分とする鉱物相(Hem)が濃密に分布し、局所的に石英(Qtz)、Qtzの中にHemが混在していた。EPMAによる状態分析によって、HemのFe－Lαおよび Fe－Lβの波形は赤鉄鉱の標準試料とほぼ合致した。上記2資料の赤色系色材料はベンガラである。ケヤキ属を木胎とし同様に切子下地である壺椀（No.131）の内外面の上塗層は2層で、下層には微細な硫化水銀(朱)が濃密に分布していたが、上層はベンガラを混和した薄層によって構成されていて、酸化鉄粒子とQtzが混在する粒子も観察された。上記3資料に使用されたベンガラの岩源として赤色チャートの可能性を考えることができる。3資料の下地はいずれも2層で、EPMA分析によってQtz、多結晶石英(p-Qtz)を主体とし、他に少量の白雲母(Mus)と推定される鉱物、ルチルに近い組成の酸化チタンの混在が確認された。

これまでに筆者らが実施した中世漆器の下地調整技法に関する研究結果から、下地の効用は胎部が木胎の場合、環境の変化によって生じる胎部の膨張および伸縮が上塗り層に与える影響を緩和し、上塗り層の剥離や亀裂の発生を抑制し、堅牢な塗膜を作ることを指摘した。今回の調査で確認された下地調整技法は、尾張藩上屋敷跡から検出された漆器の地粉下地技法よりも簡便で、脆弱な可能性がある。既述のとおり、前代に比べ増大する漆器需要に対応するために普及した一技法と推定される。本遺跡から出土した漆器の下地調整技法、木部の樹種、上塗りの色材料には差異がみられた。複数の地域で製作された漆器が、持ち込まれていた可能性が高いことを示している。今後も近世市域と中世漆器の下地調調整技法を比較することにより、漆器製作技術の変遷が一層みえてくると思われる。

参考文献：・東京大学埋蔵文化財調査室編「第4節大聖寺藩上屋敷期SK3」『東京大学本郷構内の遺跡　医学部附属病院入院棟A地点　報告編第1分冊』223頁　2016年　・清水香：「大聖寺藩上屋敷跡 廃棄土坑SK3から出土した17世紀の木製品」『東京大学本郷構内の遺跡　医学部附属病院入院棟A地点　研究編』東京大学埋蔵文化財調査室　318～334頁　2016年

飛鳥寺塔心礎出土耳環の調査

Investigation into earrings excavated from the tower foundation stone for a main pillar of Asuka temple

○降幡順子・諫早直人（奈良文化財研究所）、石橋茂登（飛鳥資料館）
○Furihata Junko・Isahaya Naoto (Nara National Research Institute for Cultural Properties)、
Ishibashi Shigeto(Asuka Historical Museum)

1. はじめに

飛鳥寺第3次調査の木塔基壇の発掘調査時に、心礎と推古天皇元年(593)の埋納品と考えられる遺物を検出した。出土位置の確かな耳環は4点であるが[1]、心礎上面に散乱していた他の耳環も心礎上面の心柱周辺に置かれていたものと推測する。飛鳥寺塔心礎出土耳環は、古墳副葬品との類似も言われているが、一方で百済の扶餘王興寺木塔跡や益山弥勒寺西石塔の舎利荘厳具にも耳環を含み、『梁書』長干寺双塔の宝物供養と類似することから、『涅槃経』に基づく梁の方式が伝来したとの考察もある[2]。また飛鳥寺では複数セットを集めた状況で出土している。奈良県尼寺廃寺木塔跡(7世紀後半造営)では心礎上面から刀子や玉類とともに12点の耳環が出土しており、中空金製・銅芯金張製が混在する[3]。複数セットを埋納する状況は飛鳥寺と同様であり、舎利荘厳具における耳環の在り方を考える上で重要である。

2. 調査資料・分析方法

飛鳥寺塔心礎出土品のうち破片資料を含めた耳環29点(表Ⅰ)について、顕微鏡観察、透過X線撮影による内部構造調査、非破壊蛍光X線分析による表面材・芯材の調査等を実施した。分析は、蛍光X線分析装置EAGLEⅢ(EDAX製)を使用し、測定条件は管電圧40kV、管電流30μA、X線照射径50μm、測定時間300秒、大気中である。

3. 調査結果

顕微鏡観察から、開口面で芯材に被せた薄い金板の折込皺を複数の資料で確認できた。折込皺は直線的に中心へ向かっている資料が多いが、中には片方の折込皺が曲線的に変形する耳環もあった(No.5 図1)。銀の薄板の折込皺を確認した資料もあるが、これは銀板にさらに鍍金が施されていると考えられる(No.11 図1)。開口部で薄板を折り込む手法は金・銀のどちらの材質にも確認できた。No.1の表面では錆化しているが繊維様痕跡が認められ、直線的な毛状と織組織の2種類が残存していた(図1)。

透過X線画像では、明らかに内部構造の異なる耳環が認められた。主な事例を図2に示した。No.7は開口部付近で不連続面があり、別材等を使用していることが示唆される。No.10は耳環中央部に不連続な部分が認められる資料である。

蛍光X線分析結果から、耳環の表面を覆う金属(表面材)とその内部(芯材)の材質を明らかにしセット関係を推測するための情報を得た(表Ⅰ)。芯材は銅製のものが主体であったが、銅に鉛、銀、ヒ素、亜鉛がそれぞれ検出される資料も確認でき、また芯材が銀である資料も確認できた。表面材は、水銀を顕著に検出した資料は鍍金と判断し、金鍍金・銀鍍金をそれぞれ確認した。No.10、11は銀が主成分であったが水銀と金も検出した。これらの資料の開口面には折込皺があるため、銅芯に鍍金した薄い銀板を張ったものと考えた。

飛鳥寺塔心礎出土耳環は、内部構造調査から耳環の開口部付近などが別パーツと考えられる資料が検出され、芯材・表面材の材質も多彩な様相を示した。百済の王興寺舎利荘厳具の耳環は、中実金張、銀製があり、いずれも太さ約3mmと細い[3]。本報告の耳環の中で太さが同じような特徴をもつもの

は、No.12,20,27～29 であり、銀芯金張の No.12 は、百済製の可能性も考慮すべきであろう。今後は、朝鮮半島および古墳時代後期から終末期の出土事例との検証を進め、さらに詳細な内部構造についてX線CTによる調査も視野に入れて考えていきたい。

表Ⅰ　飛鳥寺塔心礎出土耳環

番号	名　称	芯材	表面材	径（縦×横）cm	太さmm	重さg	備考	セット
1	**銅芯鍍金**	**銅,銀,(鉛)**	**金,水銀**	**2.6×2.8**	**7.0**	**13.7**	**表裏面に織物痕付着**	A
2	**銅芯金張**	**銅,(銀)**	**金,銀**	**2.7×3.0**	**6.5**	**12.8**	**開口面に折込皺あり**	B
3	**銅芯鍍金捩り**	**銅,(銀)**	**金,水銀,(銀)**	**2.8×3.0**	**5.5**	**10.6**	**約3回転捩る**	C
4	**銅芯鍍金捩り**	**銅,(銀)**	**—**	**2.6×2.8**	**6.0**	**8.7**	**約3回転捩る**	C
5	銅芯金張	銅,(銀,鉛,ヒ素)	金,銀,(鉛)	2.5×2.8	6.0	6.2	開口面に折込皺あり	D
6	銅芯金張	銅,鉛,ヒ素,銀	金,銀	2.5×2.9	6.0	13.9	開口部付近に繊維状の痕跡あり	D
7	銅芯金張	銅,銀	金,銀,(鉛)	2.3×2.6	6.0	9.9	開口面に折込皺あり。	E
8	銅芯金張	銅,銀,(鉛)	金,銀,(鉛)	2.3×2.6	5.0	9.0	開口面に折込皺あり。	E
9	銅芯金張	銅,(銀)	金,銀,(鉛)	2.5×2.7	6.0	13.7	開口面に折込皺あり	B
10	銅芯鍍金銀張	銅,銀	銀,水銀,金	2.6×2.8	6.0	6.0	開口面に折込皺あり。	F
11	銅芯鍍金銀張	銅,銀,(鉛)	銀,水銀,金	2.6×2.9	5.5	7.6	開口面に折込皺あり。	F
12	銀芯金張	銀	金,銀,銅	2.3×2.4	2.5	2.5		G
13	銅芯鍍金	銅,銀	金,水銀	3.0×3.4	8.0	5.6		H
14	銅芯鍍金	銅,銀,(鉛)	金,水銀	—	8.0	(0.75)		H
15	銅芯鍍金	銅,(銀、鉛)	金,水銀,銀	2.5×2.8	6.5	16.1		I
16	銅芯鍍金	銅,(銀)	金,水銀,銀	(2.3) ×2.6	6.0	(4.0)		I
17	銅芯鍍金	銅,(銀)	金,水銀,銀	2.5×2.8	6.0	7.1		J
18	銅芯鍍金	銅,(銀)	金,水銀,(銀)	2.5×2.7	5.0	6.0		J
19	銅芯鍍金	銅,(銀)	金,水銀,(銀)	(1.9) ×2.2	5.0	(2.8)		K
20	銅芯鍍金	銅,(銀)	金,水銀,(銀)	(1.5×1.9)	(4.0)	(0.80)		K
21	銅芯鍍金捩り	銅,(銀)	金,水銀,(銀)	2.4× (2.5)	4.5	(3.8)	約3回転捩る	L
22	銅芯鍍金捩り	銅,(銀)	金,水銀,(銀)	2.4×2.5	6.5	(4.5)	約3回転捩る	L
23	銅	銅,鉛,(銀)	—	—	5.0	(1.3)		M
24	銅	銅,鉛,(銀)	—	—	5.5	(1.6)		M
25	銅	銅,鉛,(銀)	—	—	5.0	(2.3)		N
26	銅	銅,銀,鉛,(水銀)	—	—	5.0	(4.3)	金薄板・ガラス小玉・琥珀片付	N
27	銅	銅,亜鉛	—	(2.0×2.7)	(3.5)	(3.1)		O
28	銅	銅,鉛,亜鉛,(銀)	—	—	3.0	(0.76)		O
29	銅	銅,(銀)	—	2.1×2.4	2.5	1.1	歪んでいる	P

凡例：出土地点の明らかなものは太字で示した。芯材・表面材の元素順は積分強度による、（）内は微少量。

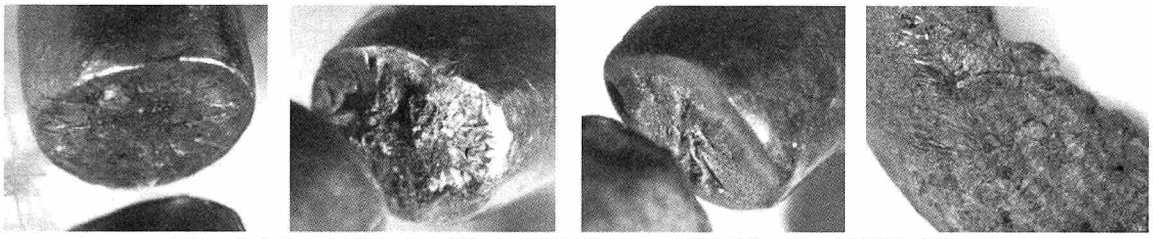


図1　左から、No.5 左右の開口面折込皺、No.11 折込皺、No.1 繊維状痕跡

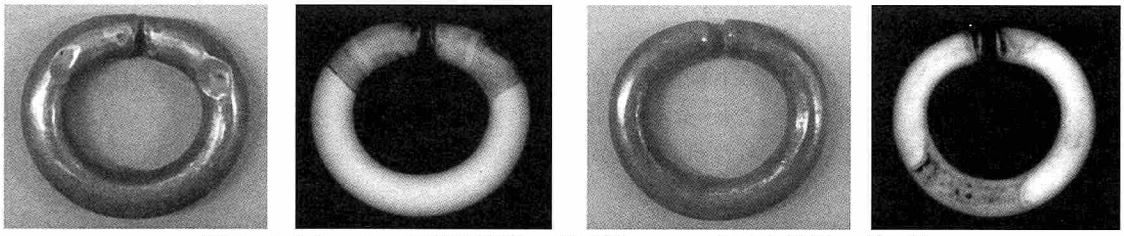


図2　左から、No.7 写真と透過X線画像、No.10 写真と透過X線画像

(1)奈良文化財研究所『飛鳥寺発掘調査報告』学報第5冊、1958

(2)国立扶餘文化財研究所『百済寺刹研究(日本語版)』2014

(3)国立扶餘文化財研究所『王興寺址Ⅱ』2009

本稿には、一般社団法人仏教美術協会研究等助成金およびJSPS科研費(15K03002)の成果の一部を含む。

材質から考察するキリシタン・南蛮資料の流通と製作技術の変遷

Considering Transmissions of the Christian-Nanban Culture Relics and Changes of the Production Technology from the Materials

○稗田優生, 後藤晃一（大分県立歴史博物館）
○Yuki Hieda, Koichi Goto （Oita Prefectural Museum of History）

1 はじめに

メダイや十字架、聖遺物入などに代表されるキリシタン遺物は、蛍光X線分析や鉛同位体比分析が行なわれ、キリシタン遺物に用いられる金属材料が明らかになるとともに、当時の材料流通や鉛材料の産地が明らかにされてきた(1)。 その結果、日本で確認されているキリシタン遺物の歴史的変遷と金属材料との関係性について、特に1590年頃を境に、鉛・スズ製主体から、真鍮製主体へと変化していることが分かってきた。

さらに真鍮製のキリシタン遺物、特にメダイにおいては、16世紀後半～17世紀初頭のものと、19世紀のものとでは、亜鉛含有量に違いが認められることがわかってきた。そこで新たに蛍光X線分析データの得られた資料の中で、特に真鍮製品の組成を中心として、キリシタン・南蛮資料の流通と製作技術の変遷について再考察する。

2 キリシタン・南蛮資料の材質

1590年頃を境に、日本で確認されているキリシタン遺物の材質に違いが見られることがこれまでの研究で分かっている(1)。例えば、メダイの場合には、1590年頃以前は鉛製・スズ製が主体であるのに対し、1590年頃以降は真鍮製主体となっている。この組成の違いの背景には、1590年頃以前は、アジア産の素材が多く、1590年頃以降は西洋産の素材が多いといった違いが反映していることが鉛同位体比分析から判明しており、流入過程の変容の可能性がうかがえる。さらにはアジア産素材の資料は、鉛のインゴットの流入過程の検証から、国内製が主体と考えられ、一方西洋産素材の資料は、西洋製のものが宣教師を通じてもたらされた可能性が高く、こうした製作レベルの違いも考えられる。

そこで、こうした変容が日本側の事情によることなのか、あるいはキリシタン遺物をもたらす西洋側の状況に起因するものかを確認するために、1590年以前の資料として、(A)1588年沈没したスペイン船ジローナ号出土資料の材質を調査した。さらに1590年以降の資料としては、これまですでにかなりの数が分析されているが、それに加えて、(B)1590年～1638年の間に位置づけられるキリシタン遺物で、新たに得られた資料の材質調査、そして明治以降の再布教期にもたらされた(C)19世紀に製作されたキリシタン遺物の材質について調査を行った。

(A)1588年沈没したスペイン船ジローナ号出土資料の材質調査

【ジローナ号出土遺物】

1588年にベルファスト(北アイルランド)近くのラカダポイントで沈没したジローナ号から発見されたメダイ12点について、蛍光X線分析した(2)。これらのメダイは沈没年より以前に製作されたと推測され、4点がスズ製、3点が鉛・スズ製、2点が銀製、2点が真鍮製、1点が鉛製であるとわかった。

(B)1590年～1638年の間に位置づけられるキリシタン遺物で、新たに得られた資料の材質調査

【カトリック崎津教会所蔵キリシタン遺物】

カトリック崎津教会(長崎県)が所蔵する16世紀後半から17世紀初頭位置づけられるメダイ8点、バックル1点、十字架2点、聖遺物入3点を蛍光X線分析した。メダイは3点が真鍮製、5点が鉛・スズ製、バックルは純銅製、十字架は1点が鍍金されており、1点が鉛・スズ製であった。また聖遺物入は1点が純銅製、1点が銅・鉛製、1点が真鍮製であった(3)。

【原城跡出土キリシタン遺物】

原城跡(長崎県)から出土した16世紀後半から17世紀初頭に推定されるメダイ9点を蛍光X線分析した。8点が真鍮製、1点が銅・鉛製、1点が純銅製であるとわかった。

(C)19世紀に製作されたキリシタン遺物の材質調査

【外海地域のキリシタン遺物】

外海地域(長崎県)に伝わるメダイ10点、聖遺物入2点について、蛍光X線分析した。これらの資料は19世紀の資料と推定され、分析結果からメダイ9点が真鍮製、1点が純銅製であった。聖遺物入は2点とも真鍮製であった。

【カトリック﨑津教会所蔵キリシタン遺物】

カトリック﨑津教会(長崎県)が所蔵する19世紀以降と推定されるメダイ6点を蛍光X線分析した。6点すべてが真鍮製であるとわかった。

【天草地域のキリシタン遺物】

天草地域(長崎県)に伝わる19世紀に推定されるメダイ9点、踏絵1点、十字架1点を蛍光X線分析した。分析結果からメダイ6点、踏絵1点、十字架1点が真鍮製、メダイ3点が銅・銀・亜鉛製であるとわかった。

3 キリシタン・南蛮資料の材料の変遷と流通

(A)～(C)で調査したキリシタン遺物のうち、真鍮製の遺物のCu、Zn、Pbの濃度比について違いをみた(図1)。

まず、1590年以前に比定されるジローナ号出土資料は、スズ、鉛製が主体で、真鍮製はわずか2点しか認められなかった。分析データ数としてはまだ少ないが、一つの可能性として1590年以前は西洋でも真鍮製は主体的な位置づけではなかったことが考えられる。もしそうであれば、日本の状況は西洋の状況を反映していることとなる。

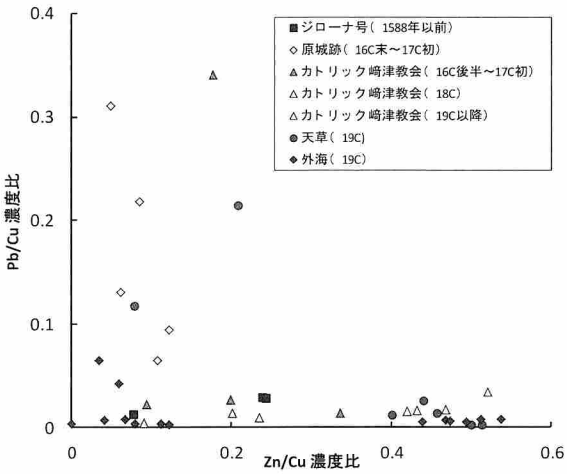


図1 真鍮製キリシタン遺物の濃度比

次にグラフをみると、真鍮製品については、16世後半～17世紀初頭の資料に対して19世紀の資料は亜鉛の含有量が高いものが多いことが分かる。さらに、鉛の含有量については、逆に19世紀に比べ、16世後半～17世紀初頭の資料の方が高いことが分かる。つまり、亜鉛の含有量が少ないと鉛が多く含まれ、亜鉛の含有量が高くなると、鉛が含まれなくなる傾向が看取される。これについては、真鍮の製作技術の差異が反映している可能性がある。具体的には、亜鉛の確保力に起因するところが大きいと考えられるが、それについては文献資料や鋳造遺跡の調査事例等を統合して検証していかなければならない課題である。

参考・引用文献

(1)後藤晃一:キリシタン遺物の考古学的研究－布教期におけるキリシタン遺物流入のプロセス－, 溪水社, 2015

(2)Hitomi Asano:A Study on Devotional Medals Excavated from the Spanish ArmadaWrecks Preserved in the Ulster Museum (Belfast), 純心人文研究, 23, 2017

(3)大分県立歴史博物館:平成27年度特別展キリスト教王国を夢見た大友宗麟, 2015

本発表は科学研究費助成事業(研究代表者:浅野ひとみ 基盤研究B 課題番号:16H03514「覚醒する禁教期キリシタン文化」)の研究成果の一部を含んでいる。

牽牛子塚古墳出土夾紵棺片の科学調査

Scientific research on a fragment of "kyocyo" coffin excavated from the Kengoshi-Zuka tomb

○荻山琴美（奈良教育大学），金原正明（奈良教育大学），
金原裕美子（一般社団法人文化財科学センター），赤津將之（奈良教育大学）

Kotomi OGIYAMA(Nara University of Education),Masaaki KANEHARA
(Nara University of Education),Yumiko KANEHARA
(Cultural assets scientific research center),Masayuki AKATSU (Nara University of Education)

1. はじめに

牽牛子塚古墳は奈良県明日香村で発見された7世紀後半の終末期古墳である。本研究では牽牛子塚古墳から出土した奈良教育大学所蔵の夾紵棺断片に対して科学分析を行った。夾紵棺の現状としては断片であり、それぞれ様々な機関で保管されている[1]。本研究では蛍光X線分析や顕微鏡観察等の科学分析を行い、得られたデータを先行研究と照らし合わせることで、石槨内に2つ存在したという夾紵棺の構造について理解することに主眼をおいて考察した。また本研究による成果がその他機関所蔵の夾紵棺に対する新たな視点を提供すると共に、古来謎の多い技法とされる夾紵(乾漆)の制作技法について、下地の検討も加えた。奈良時代の奈良教育大学構内から出土した乾漆像片及び漆塗膜片の分析・観察でも技術の継承が分析された。

2. 調査対象

奈良教育大学所蔵、牽牛子塚古墳夾紵棺断片1片。屈曲なし。

片面に「高市郡阪合村越　牽牛子塚　棺破□」と墨書あり（以降本稿では無記面をA面、墨書の有る面をB面と呼称）。

厚さ：約2.3 cm　最長部：約18.4 cm　重さ：234.7 g

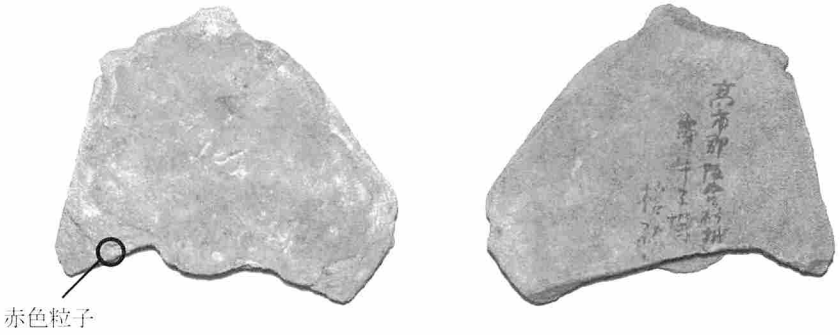


図1　夾紵棺断片（左：A面　右：B面）

3. 調査方法

今回は非破壊分析を前提としたことから塗膜観察は行わず、実体顕微鏡を用いた表面、断面の観察を行った。また剥落した繊維を用いてプレパラートを作製し、顕微鏡観察を行った。

布露出部に数か所、微量赤色粒子の付着が確認されたため、蛍光X線分析による定性分析を行った。使用機器は、オリンパス　ハンドヘルド蛍光X線分析計 デルタプレミアム合金アナライザ DP-2000-CC。測定条件はX線管：Rh（ロジウム）、Mining plusモードの管電圧・管電流はBeam1：40keV・100μA、Beam2：10keV・200μA 。Soilモードの管電圧・管電流はBeam1：40keV・60μA、Beam2：40keV・40μA、Beam3：15keV・25μA。コメリータ径は3 mm（Mining plusモード）と9 mm（Soilモード）、計測時間は60秒（Mining plusモード）、90秒（Soilモード）であ

る。今回は装置本体を三脚に固定し、大気雰囲気で測定した。また非破壊・非接触（資料との距離は約 1 mm）で行った。

4. 結果と考察

夾紵棺の構造についての確証は今後の塗膜分析に委ねたいが、実体顕微鏡観察を用いた断面観察において漆層や下地層が見られたので層構造を検討した結果を次に示す（図 2）。A 面漆層は 2 層、下地層は 3〜5 層。B 面漆層は 2 層、下地層は 2 層。布層は計 36 枚であり断面の様子からそれぞれ 13 枚、15 枚、8 枚の 3 構造に大別できる。また布層の間に白色粒子層も確認された。報告書[2]では夾紵棺の漆層は 3 層であり、最表面とされる黒色漆層が報告されているが、本資料では両面ともにこの黒色漆層は確認されないことから、剥落している可能性がある。また漆は紫外線や乾燥の影響を受けやすいため、黒色漆が劣化により茶色く変色したとも考えられる。断面観察において漆層と思われるものは両面とも表層から赤褐色層、黒色層の 2 層であり、漆膜は研磨の跡のほか表面赤褐色層の凹凸が著しい。これも紫外線や乾燥の影響を受け、奈良教育大学の所蔵に帰するまでに漆が劣化したと考えられる。奈良女子大学所蔵の夾紵棺の塗膜観察[3]では漆層は厚い 2 層と薄い 2 層の計 4 層が存在すると報告されているが、今回確認されたのは 2 層であった。また A 面は B 面に比べ漆層が厚い。

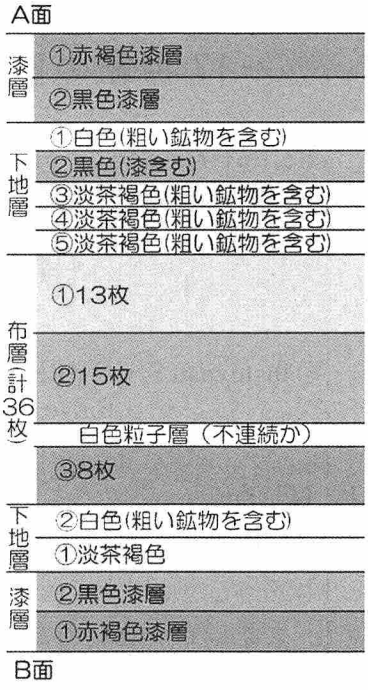


図 2　夾紵棺の層構造模式図

下地層においても層構造が異なる。A 面の下地層 2 層目は黒色を呈しており漆層と近似した光沢を持つことから漆を含む下地層と考えられ、場所により厚さは様々である。また下地層には比較的粗い鉱物粒子が全体に含まれている。中でも白色の層は、石英と長石及びそれらが結合した粒子と基質となる白色の長石の風化物から成り、花崗岩アプライトが風化した風化土（白土）と考えられる。ただし蛍光 X 線分析を行ったところ、アルミニウム（Al）やケイ素（Si）は検出されるものの、他の測定箇所と顕著な差は見られなかった。

報告書[2]で報告されている赤色顔料と近似した赤色の粒子がみられたため、蛍光 X 線分析を行った。その結果として朱が使用されたと断定し得るに足る顕著な Hg（水銀）のピークの検出はなかった。今回の使用機器の最小コリメータ径は接射で 3 mm であることから、粒子がごく微量であるために検出不可能であったと考えられる。今後、よりコリメータ径の小さな装置での測定が必要である。先述のように赤色粒子は微量であり、また夾紵棺の表面からでなく布層の断面から見つかったことから、製作時の混入もしくは棺破壊後に付着したと考えられる。

なお、先行研究で報告がされている絹層は顕微鏡観察では確認できなかった。

5. 今後の展開

漆層構造の詳細、絹層の有無については塗膜分析が必要になるが、顕微鏡観察でも夾紵棺の層構造の検討はある程度可能であった。今後、本資料の漆の劣化状況や下地層中の白土を使用したと思われる層についてより詳細な分析を試みたい。

6. 主要参考文献

1) 猪熊兼勝「夾紵棺－玉手山安福寺蔵品に関連して－」関西大学考古学研究会編『関西大学考古学研究会』第 1 号　昭和 42 年　pp.87-98

2) 明日香村教育委員会文化財課編、『牽牛子塚古墳発掘調査報告書－飛鳥の刳り貫き式横口式石槨墳の調査－』平成 25 年 3 月

3) 岡田文男「奈良女子大学蔵牽牛子塚古墳出土漆棺の塗膜分析」宮地淳子研究代表『平成 21 年度〜平成 23 年度　研究成果報告書　異分野融合による方法的革新を目指した人文・社会科学研究推進事業　文化財に含まれる膠の自然科学的分析による古代文化史および技術史の解明』平成 24 年 4 月　pp.7-17

東京都立向丘高等学校遺跡出土磁器の自然科学的研究
－17世紀の肥前磁器と中国磁器の比較を中心に－

Scientific Study on the 17th Century Hizen and Chinese Porcelains Excavated from Tokyo Metropolitan Mukougaoka High School Site

○新免歳靖[1]・呉 暁瓊[1]・水本和美[2]・二宮修治[1]
[1]東京学芸大学・[2]東京芸術大学

○Toshiyasu SHINMEN [1], Wu Xiaoqiong [1], Kazumi MIZUMOTO [2], Shuji NINOMIYA [1]
[1] Tokyo Gakugei University, [2] Tokyo University of the Arts

1．はじめに

日本の磁器生産は、1610年代に朝鮮人陶工によって肥前有田で始まり、1640年代に朝鮮系から中国系へと製造技術が変化した。この変革期に導入された代表的技術が色絵磁器の製造技術である。筆者らは、日本に導入された中国系色絵技術の実態と日本国内、特に肥前有田とその周辺における色絵技術の展開を明らかにするための基礎研究として、自然科学的な手法を用い、磁器を構成する物質的要素（胎土、釉薬、下絵付、上絵付など）について日本の肥前磁器と中国の景徳鎮磁器などの比較を行なってきた（新免ら 2013）。

本研究は、その一環として東京都立向丘高校遺跡から出土した色絵や染付などの中国産と国産の近世磁器製品の胎土分析を行ない、磁器胎土の化学組成の比較を行うものである。また、本研究は、かつて二宮が磁器胎土の機器中性子放射化分析を行い、希土類元素などの微量成分元素による産地推定を行った資料の再分析である（二宮ら 1997）。近年、筆者らはICP発光分光分析を用い、陶磁器胎土の主成分元素を中心に測定し、陶磁器原料の材質や原料調整などの技術といった見地からの生産地の検討も行なっている。二宮による前報では磁器胎土の主成分元素はほぼ測定していないため、主成分元素の化学組成による再検討を行なった。

2．分析資料

分析資料は東京都立向丘高校遺跡（正式には文京区駒込東片町遺跡）(1)から出土した中国産磁器および日本産磁器40点である。本遺跡は幕臣である御先手組大縄地屋敷跡に比定されており、資料は18世紀前半に廃絶された199号遺構から出土した一括資料が主体である。199号遺構からは17世紀代の中国景徳鎮窯磁器と17世紀中頃から後半の日本産陶磁器類が出土しており、一部の資料は数点から十数点の揃いあることが特徴である。また、中国磁器の中にはトルコのトプカプ宮殿の伝世品やポルトガル王室向け磁器の類似品が含まれ、17世紀における中国との交易の一端を示す重要な出土資料である(2)。

分析資料の内訳は、中国磁器31点（景徳鎮磁器22点、福建・漳州窯磁器3点、宋代（10世紀代）白磁1点、不明磁器5点）、日本の肥前磁器9点である。景徳鎮磁器には、16世紀前半の青花磁器が1点あり、それ以外は明末（17世紀前半）の青花や色絵が主体である。また、比較資料として清朝製品（18世紀）も加えた。肥前磁器は17世紀中頃の染付・色絵・白磁が主体である。

３．分析方法

胎土分析には、ICP 発光分光分析（ICP-AES、Agilent Technologies 720 ICP-OES）を用いた。磁器資料から小片を分取後、胎土部分のみを粉末化し、テフロン加圧分解容器による酸分解法で溶液化した。測定元素はケイ酸塩物質の主成分元素８元素(Ti、Al、Fe、Mn、Mg、Ca、Na、K)、微量成分元素２元素(Sr、Ba)の計 10 元素である。定量分析の標準試料には、GSJ(Geological Survey of Japan：独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター)の標準岩石 JB-１a(玄武岩)と JG-１a(カコウ閃緑岩)を用いた。

４．分析結果・考察

分析資料の胎土の化学組成から資料間の異同を検討するために、測定元素濃度によるクラスター分析（SPSS Statistics 23 を使用）を行い、デンドログラムとして示した（図１）。

その結果、大きく A～E の５クラスターに分類された。A 群が景徳鎮磁器、C 群が肥前磁器によって構成され、17 世紀前半から中頃の景徳鎮磁器と 17 世紀中頃の肥前磁器は磁器胎土の化学組成によって明確に分類できることが見て取れる。B 群には景徳鎮磁器、福建・漳州窯磁器が併合しており、両産地には類似した胎土の製品群があることが想定される。特に本群内の景徳鎮磁器 MK-02 は 15 世紀前半の資料で、他の明末資料とは時期差がある。これが景徳鎮窯における磁器胎土の変化の傾向を示すかは今後の検討材料である。D 群は福建・漳州窯磁器と不明磁器４点が近接おり、不明磁器は福建・漳州窯磁器の可能性もある。宋代磁器は E 群として独立クラスターを形成した。これらの結果からおおむね考古学的な資料分類と整合性のある結果となったといえる。本資料については、透明釉薬や色絵磁器の上絵付け、染付磁器の下絵付けの分析も行なっており、その分析結果も踏まえ詳細な中国磁器と肥前磁器の比較を行なっていきたい。

なお、本資料の分析は東京都教育庁の許可を得て実施した。本研究は JSPS 科学研究費補助金（課題番号 16K01177）による研究成果の一部である。

参考文献　都内遺跡調査会 1997『駒込鰻縄手 御先手組屋敷』
二宮修治ら 1997「東京都立向丘高等学校遺跡出土磁器片の生産地推定－機器中性子放射化分析による諸種微量成分元素存在量にもとづく検討」『駒込鰻縄手 御先手組屋敷』都内遺跡調査会

注（１）本研究では遺跡名として「東京都立向丘高校遺跡」を用いた。本遺跡は「駒込東片遺跡」として登録されているが、発掘調査報告書は「駒込鰻縄手 御手先組屋敷」として刊行され（都内遺跡調査会 1997)、報告書の名称の方が認知されている。しかし、二宮による前報では「東京都立向丘高等学校遺跡」という名称を用いており、前報との統一をはかるために本名称を用いることとした。

（２）第 199 号出土陶磁器は、1998 年に東京都指定有形文化財（考古資料）「東片町遺跡　第 199 号遺跡講出土品一括」として指定されている。

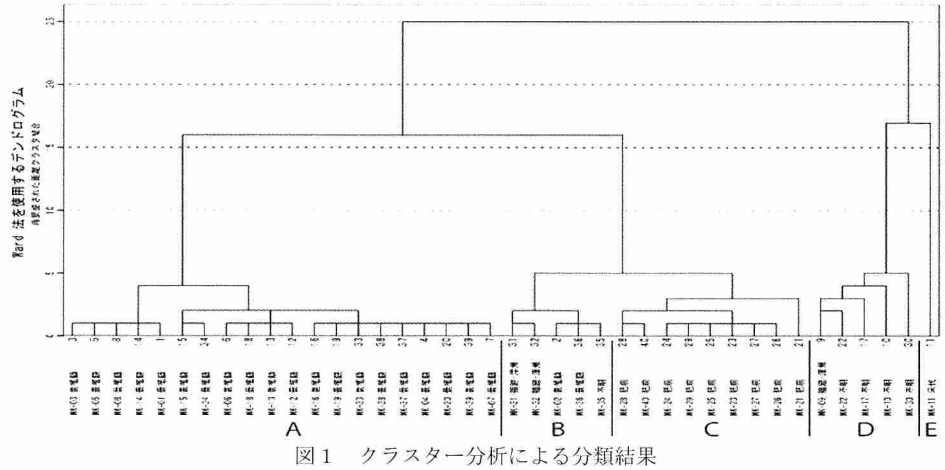


図１　クラスター分析による分類結果

モンゴル匈奴時代の古墳出土顔料の分析研究(Ⅰ)
-アルハンガイ県バルガスンタール遺跡出土の顔料を中心に-

A Study On Pigments Excavated From Mongol Xiongnu Tomb(I)

○柳成煜(奈良大学大学院)、メンドバザル　オユントルガ(奈良大学大学院)、トモルオチル　イデルハンガイ(モンゴル国立大学ウランバートルスクール)、今津節生(奈良大学)
○Sungwook　Ryu(Nara University)、Oyuntulga　Mendbazar(Nara University)、Iderkhangai Tumur-Ochir(National University Of　Mongolia)、Setsuo　Imazu(Nara University)

1. はじめに

モンゴルは広い国土と長い歴史の中で煌びやかな文化を発達させた。これに対する発掘調査も、モンゴル国内で全国的に活発に行われている。しかし、このような調査は考古学的調査に集中されており、保存科学的な側面での調査はまだ不足している状況である。本研究チームは、モンゴル全国の遺跡から発見されている遺物と顔料にフォーカスを合わせて文化財分析の方向からの研究を進めている。今回はモンゴル紀元前 1 世紀の匈奴時代アルハンガイ県バルガスンタール遺跡から発見された赤色顔料を中心に一緒に出土した遺物の成分分析結果を調査報告する。調査は蛍光 X 線分析と電子顕微鏡(SEM)による観察を行った。

2. 遺跡情報

調査地域であるウンドルウラン村バルガスンタールはモンゴルの中部北緯 48°、東経 101°のアルハンガイ県に位置している匈奴時代の遺跡である。発掘調査はウランバートル大学の考古学研究室の研究プロジェクトにより 2011 年に行われた。分析対象になるサンプルはゴルモド2遺跡の墓1から発掘された。

3. 分析方法

顔料の観察は奈良大学の走査型電子顕微鏡(Hitachi 社)と光学顕微鏡を用いて行った。蛍光 X 線分析には奈良文化財研究所の EAGLEIII(EDAX 社)を使用し、分析条件は電圧 40kV、電流 30 μA、測定時間 300s、真空で行った。

4. 分析結果

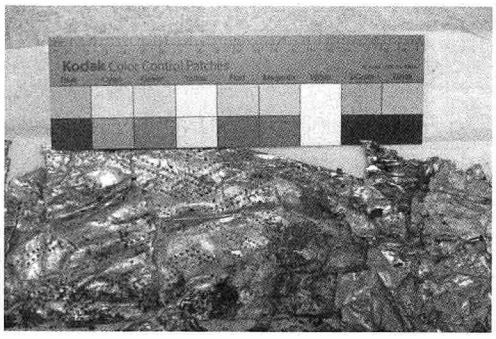
サンプルは全て同じ遺跡より出土した赤色顔料を対象にし分析を実施した。Red 1 のサンプルは木棺の金装飾の上から発見された赤色顔料である。3 ヶ所測定した結果は平均値が水銀(Hg) 85.7%、硫黄(S) 11.4%、鉄(Fe) 0.85%、ケイ素(Si) 2.0%、ストロンチウム(Sr) 0.11%が検出された。Red 2 のサンプルはクラウンの金装飾と一緒に発見された漆と推定された赤色顔料である。3 ヶ所測定結果、平均値は鉄(Fe)53.3%、カルシウム(Ca)25.0%、カリウム(K) 8.2%、銅(Cu) 7.1%、チタン(Ti) 3.6%、鉛(Pb) 2.9%が検出された。Red 3 は銅製の槍の持ち手の一部を革で巻いた部分に赤色顔料を塗ったサンプルである。5 ケ所測定結果、平均値は水銀 43.0%、銅 32.7%、硫黄 9.9%、カルシウム 4.0%、鉄 3.8%、鉛 3.7%、ケイ素 3.0%が検出された。

5. 考察と課題

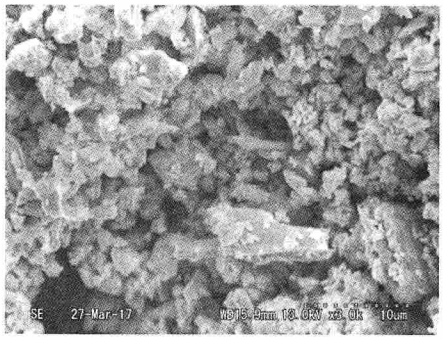
今回の分析の結果、バルガスンタール遺跡からは二つの種類の赤色顔料が検出された。一つは朱(HgS)であり、本研究チームの近年の調査によるとモンゴルの匈奴時代の遺跡では多く発見されている。朱を顔料として利用したのはこの時代から始めモンゴルの 2～3 世紀の遺跡で発掘される遺物からも多数発見されて

いる。 今回分析した朱は遺物の状況の違いと推定されるが水銀の含有量に差が有った。Red 1 の場合は金装飾の上から粉末状態で発見され、Red 3 の場合は槍を巻いた革の上に直接塗った状態で発見された事に違いがあり、成分にも差が出たと考えられる。他の一種類は赤色系列の漆で、主成分は鉄(Fe)が検出されベンガラと推定した。

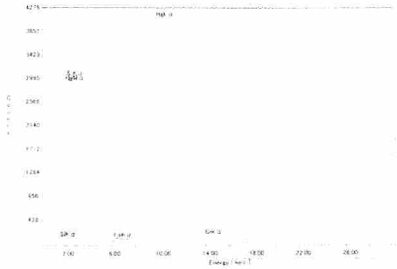
モンゴルの匈奴時代の遺跡では前述したように朱を主成分とする遺物と赤色や黒色の漆を使った椀や皿などが多く発掘されている。今後もこの遺物たちを対象にして分析を行い、鮮卑(せんぴ)、柔然(じゅうぜん)、突厥(とっけつ)、ウイグル、契丹(きったん)、モンゴル帝国時代など、他の時代の顔料についての調査研究も持続的に進めて、まだ確立されていないモンゴルの顔料に関する歴史と体系を研究していく予定である。



Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 1 遺物写真



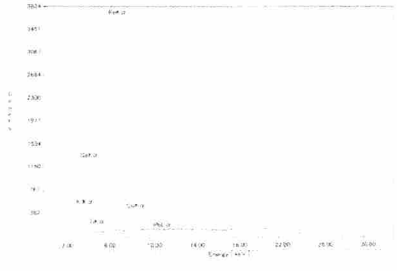
Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 1 SEM 画像



Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 1-3 XRF結果

	Si	S	Fe	Hg	Sr
Red 1-1	0.60	11.3	0.86	87.1	0.11
Red 1-2	5.3	10.7	1.5	82.3	0.15
Red 1-3	0.00	12.2	0.21	87.6	0.06
平均値	2.0	11.4	0.85	85.7	0.11

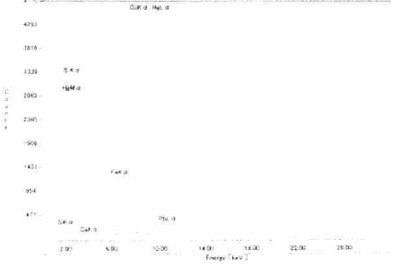
Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 1 XRF結果(wt%)



Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 2-2 XRF結果

	K	Ca	Ti	Fe	Cu	Pb
Red 2-1	10.3	25.1	3.0	52.3	6.8	2.5
Red 2-2	6.4	27.8	3.7	50.6	8.5	3.1
Red 2-3	7.8	22.0	4.0	57.0	5.9	3.2
平均値	8.2	25.0	3.6	53.3	7.1	2.9

Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 2 XRF結果(wt%)



Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 3-1 XRF結果

	Si	S	Ca	Fe	Cu	Hg	Pb
Red 3-1	1.6	13.6	1.2	3.2	16.1	61.5	2.7
Red 3-2	2.1	14.3	1.3	3.9	19.5	55.2	3.7
Red 3-3	1.8	12.9	1.6	3.3	13.7	65.3	1.4
Red 3-4	6.0	4.8	7.5	4.5	52.4	19.4	5.4
Red 3-5	3.4	4.2	8.2	4.0	61.6	13.5	5.1
平均値	3.0	9.9	4.0	3.8	32.7	43.0	3.7

Balgasiin Tal Golmod 2 Tomb 1 Red 3 XRF結果(wt%)

近世の文化財建造物に用いられた材料等の科学分析

Scientific analysis of materials etc. used for cultural property buildings in modern times

○五十嵐 佑磨(明治大学大学院)、北野 信彦(龍谷大学)、
成瀬 晃司(東京大学埋蔵文化財調査室)、本多 貴之(明治大学)
○Yuma IGARASHI (Graduate School of Science and Technology, Meiji University)
Nobuhiko KITANO (Department of History, Faculty of Letters, Ryukoku University)
Kouji NARUSE (Archaeological Research Unit, The University of Tokyo)
Takayuki HONDA (School of Science and Technology, Meiji University)

1. 緒言

文化財建造物とは、有形文化財に属する建造物である。文化財建造物は劣化に伴って美観が損なわれるため、劣化した文化財建造物を製作されたときの状態に戻し、適切な状態で保存することで後世に受け継いでいくことが重要である。このように修復においては製作時と同じ材料を用いて行うことが望ましい。また、修復手順の明確化を図るために製作工程を明らかにすることは重要である。しかし、それらに関する情報は口承や文献によるものが多く、根拠をもつ正確かつ詳細な情報が少ないという現状がある。そこで、本研究では文化財建造物から生じる微量破片に対して種々の科学分析を行い、材料や製作工程を推定することで、文化財建造物の保存修復事業に貢献することを目的とする。本発表では、国の重要文化財に指定されている東京大学本郷キャンパスの赤門について行う。赤門は、前田斉泰が 1827 年に正室として徳川家斉の息女である溶姫を迎え入れる際に建立された薬医門であり、1961 年には修復工事のため解体が行われている。この赤門から採取された試料に対して科学分析を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験

東京大学本郷キャンパスの赤門から採取された試料のうち、黒色の繊維片を TA05 、赤黒色の塗膜片を TA06 とし、層構造を特定するためにクロスセクション分析、構成している成分元素を特定するためにエネルギー分散型蛍光 X 線分析 (ED-XRF) 、下地および顔料に用いられている成分を特定するために熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析 (Py-GC/MS) 、反応熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析 (THM-GC/MS) を行った。THM-GC/MS では、誘導体化試薬として水酸化テトラメチルアンモニウム五水和物 (TMAH・$5H_2O$) を実試料とともに乳鉢に入れ、十分に混合した後に石英濾紙で回収し、サンプルカップに入れて Py-GC/MS を行った。また、標準試料として中国城口産漆、ミャンマー産漆およびベトナム産漆を、アプリケーターを用いて膜厚 30 μm でガラス板に成膜し、温度 25°C、湿度 75% に設定した恒温恒湿機に入れ、硬化させた後、THM-GC/MS を行った。

3. 結果

3.1. クロスセクション分析

クロスセクション分析の結果を右図 (**Figure 1**) に示す。TA05 は表面から、黒色層+黄褐色層の二層構造、TA06 は表面から、赤色顔料層＋下地層＋赤色顔料層＋赤色顔料層＋下地層の五層構造であることが確認された。また、偏光下での観察において各試料から鉱物が確認された。

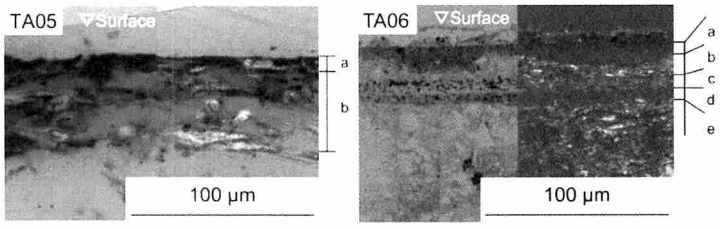


Figure 1 Cross-section analysis image of sample TA05, TA06
(Left : Transmitted light , ×200)
(Right : Reflecting - polarized light , ×200)

3.2. ED-XRF

ED-XRF による元素分析を行った。その結果、TA06 においては a, d 層から Fe が、c 層から Hg が検出されたため、a, d 層には赤色顔料としてベンガラ (Fe_2O_3) が、c 層には赤色顔料として水銀朱 (HgS) が用いられたと推測された。TA05 については特徴的な元素のスペクトルは検出されなかった。

3.3. Py-GC/MS

TA05 について *m/z* 60 のイオンクロマトグラムを抽出した結果、Cellulose 由来の Levoglucosan のピークが検出されたため、下地として木もしくはセルロース繊維の使用が示唆された。また、*m/z* 202 のイオンクロマトグラムでは、煤由来の Fluoranthene のピークが検出されたため、黒色顔料として煤が使用されたことが示唆された。TA06 においては、*m/z* 202 のイオンクロマトグラムを抽出した結果、赤色顔料層から Hg 由来のピークが検出されたため、水銀朱が使用されたと示唆された。また、TA05 と同様に Fluoranthene のピークが検出された。

3.4. THM-GC/MS

実試料に使用された漆種を特定するために標準試料に対して THM-GC/MS を行った。*m/z* 151 のイオンクロマトグラムを抽出した結果、中国城口産漆塗膜は、3-pentadecylveratrole (V15) 、ベトナム産漆塗膜は 3-heptadecylveratrole (V17) をそれぞれメインピークとしており、ミャンマー産漆塗膜は 4-(12-phenyldodecyl)veratrole (V12Ph) をマーカー物質としていることが確認された。TA05 および TA06 は V15 をメインピークとしていたことから、漆種は日本・中国・韓国産の *Toxicodendron vernicifluum* であると示唆された (**Figure 2**) 。また、*m/z* 74 のイオンクロマトグラムを抽出した結果、TA05 および TA06 から油脂由来の成分である Palmitic acid および Stearic acid のメチル誘導体化物である Methyl Palmitate および Methyl Stearate が検出されたため、油脂が用いられたと示唆された。

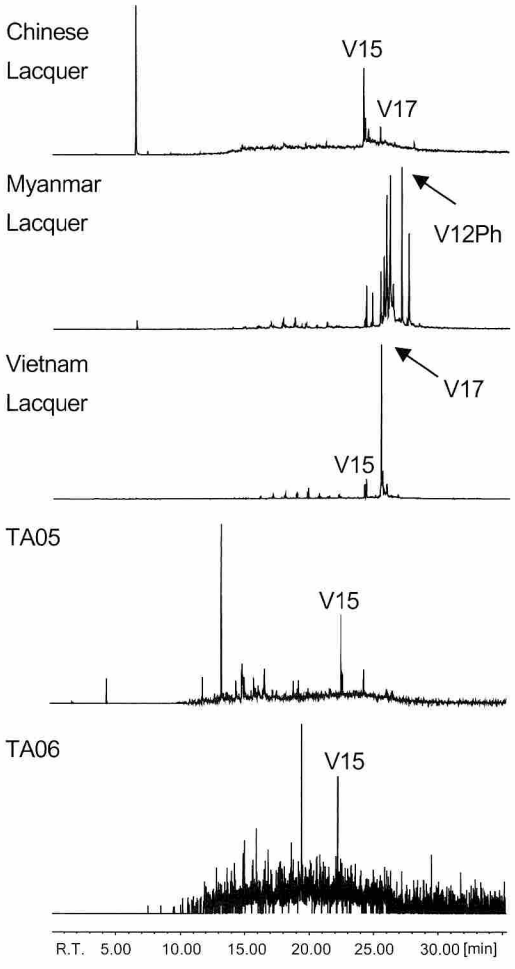


Figure 2 Comparison of THM-GC/MS ion chromatograms between standard sample and sample TA05,TA06 (*m/z* 151)
V15 : 3-pentadecylveratrole
V17 : 3-heptadecylveratrole
V12Ph : 4-(12-phenyldodecyl)veratrole

4. 結言

黒色繊維片の TA05 および赤黒色塗膜片 TA06 に対して科学分析を行った結果を右図 (**Figure 3**) に示す。種々の科学分析の結果から、試料に用いられた材料および試料の構造を推定することができた。

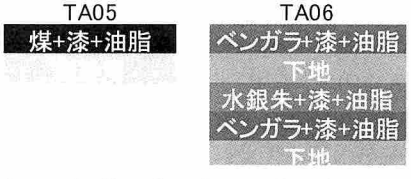


Figure 3 Results of several analyses about sample TA05, TA06

阿蘇石製石棺に採用された赤色顔料について

The red pigments which was applied to coffins made of Aso welded tuff

○志賀智史(九州国立博物館)／SHIGA Satoshi(Kyushu National Museum)

はじめに

本研究では、熊本県阿蘇山の火砕流堆積物を起源とする阿蘇溶結凝灰岩(阿蘇石)製の石棺36基に塗布された赤色顔料を対象とし、採用された赤色顔料とその塗布範囲から、地域性や編年等の検討を行った。

1. 調査方法

教育委員会等の所蔵者・管理者立会いのもと石棺保管場所へ赴き、目視や携帯型実体顕微鏡(20倍)で赤色顔料の有無、塗布範囲、色調等を確認した。赤色顔料の主成分は、携帯型蛍光X線分析装置で測定した。これらの結果から赤色顔料の塗布範囲やその種類を推定した。石棺が埋め戻されており実見できない場合には、副葬品等付着の赤色顔料を調査した。

塗布赤色顔料の種類の確定および粒子形態の判別については、許可を得て筆者自身でサンプリングした資料もしくは所蔵者・管理者提供の剥落片を用い、実体顕微鏡観察、生物顕微鏡観察、蛍光X線分析を行い、その結果を総合して判断した。調査方法の詳細については、筆者によるこれまでの関連文献を参照されたい。なお、今回は石棺への付着・分布状況から塗布が明確な赤色顔料だけを対象としたため、散布や意図せずに付着したと考えられる赤色顔料については除外した。

2. 赤色顔料の分類

生物顕微鏡観察(透過光・側射光)および蛍光X線分析から朱(鉱物としてはHgS)とベンガラ(同α-Fe_2O_3等)に分類した。ベンガラは直径約1μmのパイプ状構造を持つベンガラ粒子を含むもの(以下「ベンガラ(P)」)と、そうでないもの(以下「ベンガラ(非P)」)に細分した。ベンガラ(P)は鉄細菌を、ベンガラ(非P)は鉄鉱石を素材としたものであることが特定もしくは推定されている(岡田1997,本田1997)。

3. 調査結果のまとめと考察(表参照)

前期 九州では石棺内面全面(以下「全面」は、床面の内外面を含まない)にベンガラ(非P)を塗布している。佐賀県・熊本山古墳(15)では、外面身上半部にもベンガラ(非P)を塗布していたが、これはおそらく石棺の身を古墳に安置後、身の内面を塗った延長で露出していた身外面上半にも塗布したのではないかと考えた。一方、近畿では中枢に近い京都府・八幡茶臼山古墳(2)で石棺外面全面にベンガラを塗布し、内面全面には朱を塗布していた。ベンガラの種類は、九州ではベンガラ(非P)、近畿ではベンガラ(P)であった。

中期 九州では石棺内面全面にベンガラ(非P)を塗布した事例が多い。福岡県・石人山古墳(19)では、一見すると蓋内面にはベンガラを塗布していないように見えるが、凹みの中には遺存しており、目的的に観察しないと見落としてしまう状況である。遺存状況の差は、塗布量や埋蔵環境・保存環境等に差があった可能性がある。九州で唯一外面にもベンガラを塗布した事例は、佐賀県・西隈古墳(17)がある。横穴式石室入口側の石棺外面小口面に塗布していたが、外面への積極的な塗布とは言えないであろう。中国では、岡山県・築山古墳(9)で蓋内面にのみベンガラ(非P)を塗布、岡山県・小山古墳(10)で蓋の合わせ面にのみ塗布というように部分塗布の事例だけが認められた。近畿の大阪府・唐櫃山古墳(5)も写真から判断する限り蓋内面にのみベンガラ(非P)を塗布していた可能性がある。四国では、地理的に近畿に近い香川県・長崎鼻古墳(11)で、石棺破片の身の内外面にベンガラ(P)を塗布していた。

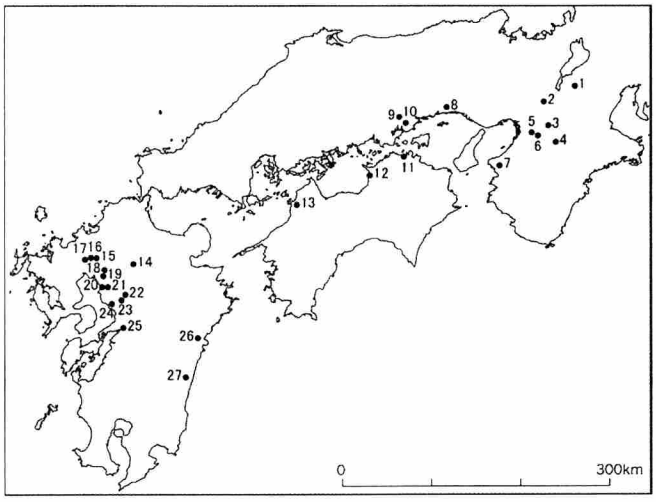
赤色顔料はベンガラのみで、朱は認められなかった。ベンガラの種類は、香川県・長崎鼻古墳(11)でベンガラ(P)であったが、それ以外の地域ではベンガラ(非P)であった。長崎鼻古墳は中期でも前半に属する古墳であることから、前期からの連続で近畿と同様にベンガラ(P)を採用していたと考えられる。中期後半の中国、近畿でのベンガラ(非P)は、石棺と共に九州からの搬入の可能性が考えられる。

後期 九州では内面全面にベンガラ(非P)を塗布している。近畿では、身や蓋の合わせ面にベンガラを塗布する事例が多い。希少な例では、滋賀県・甲山古墳(1)で蓋の合わせ面にベンガラ(P)を塗布する以外に、外面全面および内面身壁面にベンガラ(P)と朱を混ぜて塗布(実体顕微鏡では全体としてベンガラ色)していた。大阪

府・峯ヶ塚古墳(6)では、灰石とピンク石の石棺合わせ面付近の破片資料から、灰石の内外面には朱が、ピンク石の合わせ面から内面？にはベンガラ(P)を塗布していた。甲山古墳例等を参考にすると、身が灰石、蓋がピンク石であった可能性がある。和歌山県・大谷古墳(7)では、報告書では蓋内面を除いて内面全面に赤色顔料を塗布とする。しかし、先に挙げた中期の福岡県・石人山古墳(19)例を考慮すると、蓋内面の塗布の有無については、実物の再調査が必要かもしれない。

赤色顔料は朱のみ、ベンガラのみ、ベンガラと朱を混ぜた例が認められた。朱を塗布する古墳は、前期と同様に近畿にのみ分布する。ベンガラの種類は、前中期と同じく全体的にベンガラ(非P)であったが、近畿ではベンガラ(P)も認められた。近畿のベンガラ(非P)は中期と同様に九州から搬入されたものかもしれない。

以上、阿蘇石製石棺での概要を述べた。石棺への赤色顔料の塗布は、これまで漠然と内面全面塗布や外面全面塗布と考えられていたが、今回の調査結果から中期以降は部分塗布の事例も多いことが判明した。しかも、九州では内面全面、中四国近畿では蓋内面や蓋の合わせ面といったように地域性が認められた。赤色顔料の種類については、全体的にベンガラが多いが、近畿では朱の例も認められた。さらに近畿では朱とベンガラを混ぜて使用した例も認められた。ベンガラの種類は、全体的にベンガラ(非P)が多いが、近畿ではベンガラ(P)も認められた。今後さらに調査を継続し、編年や地域性の検討を重ねるとともに、そのような差異が生じた背景についても検討を加えたい。



※参考文献につきましては紙幅の関係上、省略しました。お詫び申し上げます。資料調査では以下の機関にお世話になりました。感謝申し上げます。赤磐市・うきは市・大牟田市・観音寺市・久留米市・佐賀市・桜井市・瀬戸内市・高松市・たつの市・奈良市・羽曳野市・広川町・藤井寺市・松山市・野洲市・和歌山市の各教育委員会、京都大学総合博物館、熊本県立装飾古墳館、熊本大学杉井健准教授、佐賀県立博物館、宮崎県立西都原考古博物館（順不同）。本研究には、科研費・基盤研究(C)25370906 および基盤研究(B)26284122 を使用しました。

番号	所在地	遺跡	時期	墳形	全長	埋葬施設	石棺 形式	構造	塗布赤色顔料 朱	塗布赤色顔料 ベ	塗布部位 外面	塗布部位 内面(合わせ面も含める)	備考
2	京都府八幡市	八幡茶臼山	前期後半	方方	50	竪	舟形	剥抜	○	○	全面：ベ	全面：朱	
8	兵庫県たつの市	朝臣塚山	前期後半				舟形	剥抜	×	P	なし	蓋全面：ベ(P)	蓋のみ残存
15	佐賀市	熊本山	前期後半	円	30	直	舟形	剥抜	×	非P	身上半：ベ(非P)	全面：ベ(非P)	
24	熊本県玉名市	天水経塚	前期後半	円	45	直	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	
25	熊本県宇土市	向野田	前期後半	方円	86	竪	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	
5	大阪府藤井寺市	長持山2号棺	中期後半	円	40	竪	舟形	剥抜	×	非P		ベ(非P)	
	大阪府藤井寺市	唐櫃山	中期後半	方円	53	竪	舟形	剥抜	×	非P		蓋全面?：ベ(非P)	
9	岡山県瀬戸内市	築山	中期後半	方円	81	竪	舟形	剥抜	×	非P	なし	蓋全面：ベ(非P)	馬門石
10	岡山県赤磐市	小山	中期後半	方円	53	竪?	舟形	剥抜	×	非P	なし	蓋合わせ面：ベ(非P)	
11	香川県高松市	長崎鼻	中期前半	方円	46	竪	舟形	剥抜	×	P	身：ベ(P)	身：ベ(P)	身口縁片のみ残存
12	香川県観音寺市	丸山	中期後半	円	35	竪	舟形	剥抜	×	非P	なし	ベ(非P)	
13	愛媛県松山市	蓮華寺	中期後半				舟形	剥抜	×	?		?	身のみ残存
14	福岡県うきは市	塚堂	中期前半	方円	91	横		組合	×	非P		ベ(非P)	石棺片
	福岡県うきは市	月の岡	中期前半	方円	95	竪	長持形	組合	×	非P	なし	床面以外：ベ(非P)	床は礫敷で不明
16	佐賀市	久保泉丸山3号	中期後半	円	14	直	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	
17	佐賀市	西隈	中期後半	円	40	横	家形	組合	×	非P	入口側小口のみ：ベ(非P)	床面以外：ベ(非P)	
18	福岡県久留米市	浦山	中期後半	方円	60	横	家形	組合	×	非P	なし	床面以外：ベ(非P)	
19	福岡県広川町	石人山	中期前半	方円	120	横	家形	組合	×	非P	壁面：ベ(非P)(石室から？)	床面以外：ベ(非P)	
20	福岡県大牟田市	黒崎山	中期前半	方円	40	直?	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	身のみ残存
	福岡県大牟田市	蜜柑山	中期後半				舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	身のみ残存
	福岡県大牟田市	高塚	中期後半			直?	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	
	福岡県大牟田市	石櫃山1号棺	中期後半	円	26	直	舟形	剥抜	×	非P	なし	ベ(非P)	
	福岡県大牟田市	石櫃山2号棺	中期後半	円	26	直	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	
	福岡県大牟田市	石櫃山3号棺	中期後半	円	26	直	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	身のみ残存
21	福岡県大牟田市	古城山	中期後半	円	25	直	家形	組合	×	非P	なし	床面以外：：ベ(非P)	
22	熊本県山鹿市	辻1号棺	中期前半	円	30	直	舟形	剥抜	×	非P	なし	ベ(非P)	
	熊本県山鹿市	辻2号棺	中期前半	円	30	直	家形	組合	×	非P	なし	床面以外：ベ(非P)	
26	宮崎県延岡市	吉野14号	中期前半	円	22	直	舟形	剥抜	×	非P		ベ(非P)	
27	宮崎県高鍋町	石舟塚	中期前半	方円	46	直	舟形	剥抜	×	非P	なし	全面：ベ(非P)	
1	滋賀県野洲市	甲山	後期前半	円	24	横	家形	剥抜	○	P	全面：ベ(P)+朱	身壁面：ベ(P)+朱、蓋合わせ面：ベ(P)	馬門石
	滋賀県野洲市	円山	後期前半	円	28	横	家形	剥抜	×	P	なし	蓋合わせ面：ベ(P)	馬門石
3	奈良市	野神	後期前半	方円?		竪	舟形	剥抜	×	非P	なし	身・蓋合わせ面：ベ(非P)	馬門石
4	奈良県桜井市	兜塚	後期前半	方円	50	竪	舟形	剥抜	×	非P	なし	蓋合わせ面：ベ(非P)	馬門石
6	大阪府羽曳野市	峯ヶ塚	後期前半	方円	96	竪?	舟形	剥抜	○	P	(灰石)：朱	(灰石)合わせ面：朱、(ピンク石)合わせ面～内面：ベ(P)	馬門石
7	和歌山市	大谷	後期前半	方円	70	直	家形	組合	×	非P		ベ(非P)	
23	熊本県山鹿市	千田浦大間3号	後期	方周	13	直	家形	組合	×	非P	なし	床面以外：ベ(非P)	

宮城県入の沢遺跡から出土した朱の産地から推測する大和とのかかわり

Relationship between Yamato dynasty and Irinosawa ruin in Miyagi that is speculated from the original mine of excavated vermilion

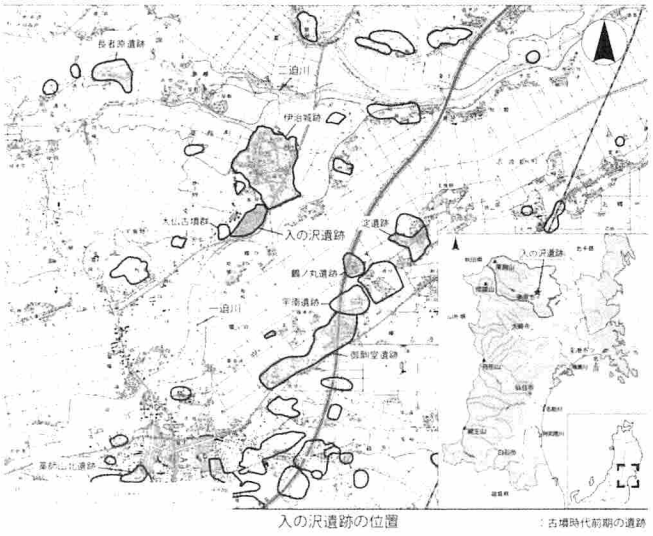
○南　武志（近畿大・理工）、村上裕次（宮城県教育庁文化財保護課）
○Takeshi Minami (School Sci. & Engineer., Kindai Univ.), Yuji Murakami (Miyagi Prefectural Education Office Cultural Property Protection Division)

1. 概要

宮城県栗原市の入の沢遺跡の古墳時代前期竪穴建物跡から、銅鏡、鉄製品、土師器、砥石、炭化米などと共に、朱の塊が出土した。朱塊の一部を採取して硫黄同位体分析を行ったところ、−5.18 ‰の$\delta^{34}S$値を得た。古代日本の主な朱産地である三重県丹生鉱山、奈良県大和水銀鉱山、徳島県水井鉱山、および古代中国の主な朱産地である陝西省旬阻郡と貴州省満山特区のそれぞれの鉱山鉱石の$\delta^{34}S$値と比較したところ、三重県丹生鉱山産に近いと推察された。近畿地方の古墳時代前期の墳墓より類似の$\delta^{34}S$値を示す朱が見つかっていること、および銅鏡などの遺物が入の沢遺跡から同時に発見されていることから、朱は古代大和政権より入の沢遺跡にもたらされた可能性が高いと思われる。

2. はじめに

宮城県内陸部北部に位置する栗原市築館字城生野入の沢・峯岸の丘陵に存在する入の沢遺跡からは、縄文時代から江戸時代までの遺跡が出土しているが、その中でも古墳時代前期の竪穴建物跡が多数見つかっており、古墳時代前期の最北の大規模な集落と考えられている。竪穴建物跡からは、通常古墳に副葬される銅鏡、鉄製品、装身具などが出土しており、この地域を治めた有力な集団が営んだ拠点集落であると考えられており、畿内との交流があったと考えられている。今回、入の沢遺跡の竪穴建物跡から朱の塊が出土したことから、朱の産地推定を行うことで畿内との交流に関する傍証を得たく、硫黄同位体分析を行った。



入の沢遺跡の位置

3. 測定試料と方法

宮城県栗原市入の沢遺跡の古墳時代前期竪穴建物跡より採取された朱塊より、宮城県教育庁文化財保護課から一部提供を受け、分析試料とした。

硫黄同位体分析は前報に従い、以下の方法で行った。約5 mgの朱に逆王水（濃硝酸：濃塩酸＝3：1）4 mlを加え、95℃で2時間加熱したのち臭素1滴を加え95℃で2時間再加熱することで、硫黄イオンを硫酸イオンに酸化した。同量の超純水を加え、65℃に加温した状態で1 M塩化バリウム液1 mlを加え、硫酸バリウムの沈殿を得たのち、超純水で

数回沈殿物を洗浄し、乾燥させた。硫酸バリウムとして約 40 μg を元素分析装置（vario PYRO cube）に供し、生じた二酸化硫黄ガスを直接安定同位体比質量分析装置（Iso Prime 100）に導入し、硫黄同位体分析を行い、キャニオン・ディアブロ隕石の硫黄同位体比と比較して $\delta^{34}S$‰で示した。計算式は右記のとおりである。

$$\delta^{34}S\ (‰) = \left(\frac{\left(\frac{^{34}S}{^{32}S}\right)_{sample}}{\left(\frac{^{34}S}{^{32}S}\right)_{standard}} - 1 \right) \times 1000$$

4. 結果および考察

入の沢遺跡出土朱の硫黄同位体比を測定したところ、−5.18 ‰の $\delta^{34}S$ 値を得た。この $\delta^{34}S$ 値をこれまで測定した辰砂（朱）鉱山鉱石の $\delta^{34}S$ 値と比較し、畿内の墳墓から出土した朱の硫黄同位体比より考察を加えた。

日本国内の 100 カ所を超える辰砂（朱）鉱山のうち、古墳時代以前に朱を採取していたと思われる代表的な鉱山として、われわれは三重県丹生鉱山（−7.3 ± 1.9 ‰）、奈良県大和水銀鉱山（−2.1 ± 1.6‰）、徳島県水井鉱山（−2.4 ± 1.4‰）の 3 鉱山を考えている。しかし、縄文時代に朱を用いていた土器が北海道・東北地方で発見されていることから、入の沢遺跡で発見された朱は北海道・東北地方の辰砂鉱山から採取された可能性も考えられる。そこで、北海道・東北地方の辰砂鉱山鉱石の硫黄同位体比と比較した。北見地方と北海道中央部の辰砂（朱）鉱山の多くはマイナスの $\delta^{34}S$ 値を示すが、日高地方の鉱山である西舎鉱山鉱石は+2.87 ‰、日高・様似鉱山鉱石は+6.36 ‰、道央地域に存在する明治鉱山鉱石は+9.22 ‰と地域差が認められている。また、青森県八戸市の縄文時代遺跡である是川中居遺跡から出土した朱塗布土器から朱の硫黄同位体分析を行った結果、是川中居遺跡から出土した朱はいずれもプラスの δ 値を示したことから、縄文時代に北海道産の朱が東北地方にもたらされたとしても、日高地方を含む道央地区からもたらされた可能性が高いと考えている。今回の入の沢遺跡出土朱に北海道産朱が用いられたとしても北海道の同様の地域からもたらされる可能性が高いと思われ、硫黄同位体比の δ 値から推察し、入の沢遺跡出土朱が北海道・東北地方の朱である可能性は低いと考えている。加えて、入の沢遺跡から出土した遺物などから考察しても、古墳時代前期の入の沢遺跡で出土した朱が北海道産の可能性は低いと思われる。

そこで古墳時代までに辰砂（朱）鉱石を採取していたと考えられる三重県丹生鉱山、奈良県大和水銀鉱山および徳島県水井鉱山の辰砂（朱）鉱石の硫黄同位体比と比較したところ、−7.3 ± 1.9 ‰の δ 値が得られた丹生鉱山産の可能性が高いと推察した。古墳時代に今回の入の沢遺跡出土朱と類似の $\delta^{34}S$ 値を示す墳墓出土朱は、古代大和政権の中心地である奈良県五条猫塚古墳出土朱において−5.5 ‰の δ 値を観察した以外に、奈良県から離れた京都府赤阪今井墳墓出土朱で−5.9 ‰の δ 値を、京都府太田南 5 号墳出土朱で−5.2 ‰の δ 値を、さらに福井県花野谷 1 号墳出土朱で−5.5 ‰の δ 値が得られた。三重県産と思われる朱がどうして東北地方までもたらされたのか。非常に興味のある課題であり、今後考古学研究者の判断にゆだねたいところである。

以上、入の沢遺跡から出土した朱を硫黄同位体分析した結果、古代大和政権の影響が強い三重県丹生鉱山産の可能性が高いと推察し、古墳時代前期において畿内の影響が東北地方に強く伝わっていたと考える。

5. 謝辞

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

東京都多摩ニュータウンNo.72・No.245遺跡出土縄文土器の岩石鉱物組成からみた原料産地

Raw material collected area estimated from rock mineral composition of Jomon pottery excavated from Tama Newtown Site No.72 and No.245

○河西　学(帝京大学)・松本　建速(東海大学)・市川　慎太郎(福岡大学)・山本　孝司(東京都埋蔵文化財センター)

○Kasai Manabu(Teikyo University), Matsumoto Takehaya(Tokai University), Ichikawa Shintaro(Fukuoka University), Yamamoto Koji(Tokyo Metropolitan Archaeological Center)

1. はじめに

多摩ニュータウンNo.245遺跡は、隣接するNo.248遺跡の粘土採掘坑から採掘・運搬された粘土が住居内貯蔵粘土として未焼成土器や「規範を逸脱したような」土器などとともに検出されている。これらの状況からNo.245遺跡の複数の住居跡は、土器作りの場としての利用が推定されている(山本ほか1998、山本2002、2007)。蛍光X線分析では、No.248遺跡の層位的粘土データとNo.245遺跡貯蔵粘土の化学成分比較からボケ層粘土であることが報告されている(永塚ほか1992、1995)。粒子法による重鉱物分析では、No.248遺跡の粘土は角閃石・斜方輝石・不透明鉱物が多く、単斜輝石・黒雲母・ジルコンなどをわずかに伴う特徴を示すのに対し、No.245遺跡住居内貯蔵粘土や未焼成土器ではそれらの鉱物以外に少量～多量のカンラン石が大部分の試料で検出されることから、素地作りや土器作りの際、カンラン石を含む堆積物が粘土に混和された可能性が推定されている(永塚ほか1995、上條1998)。本研究では、薄片法を用いた顕微鏡観察で岩石鉱物組成を明らかにすることで、混和した堆積物の実体を把握する。

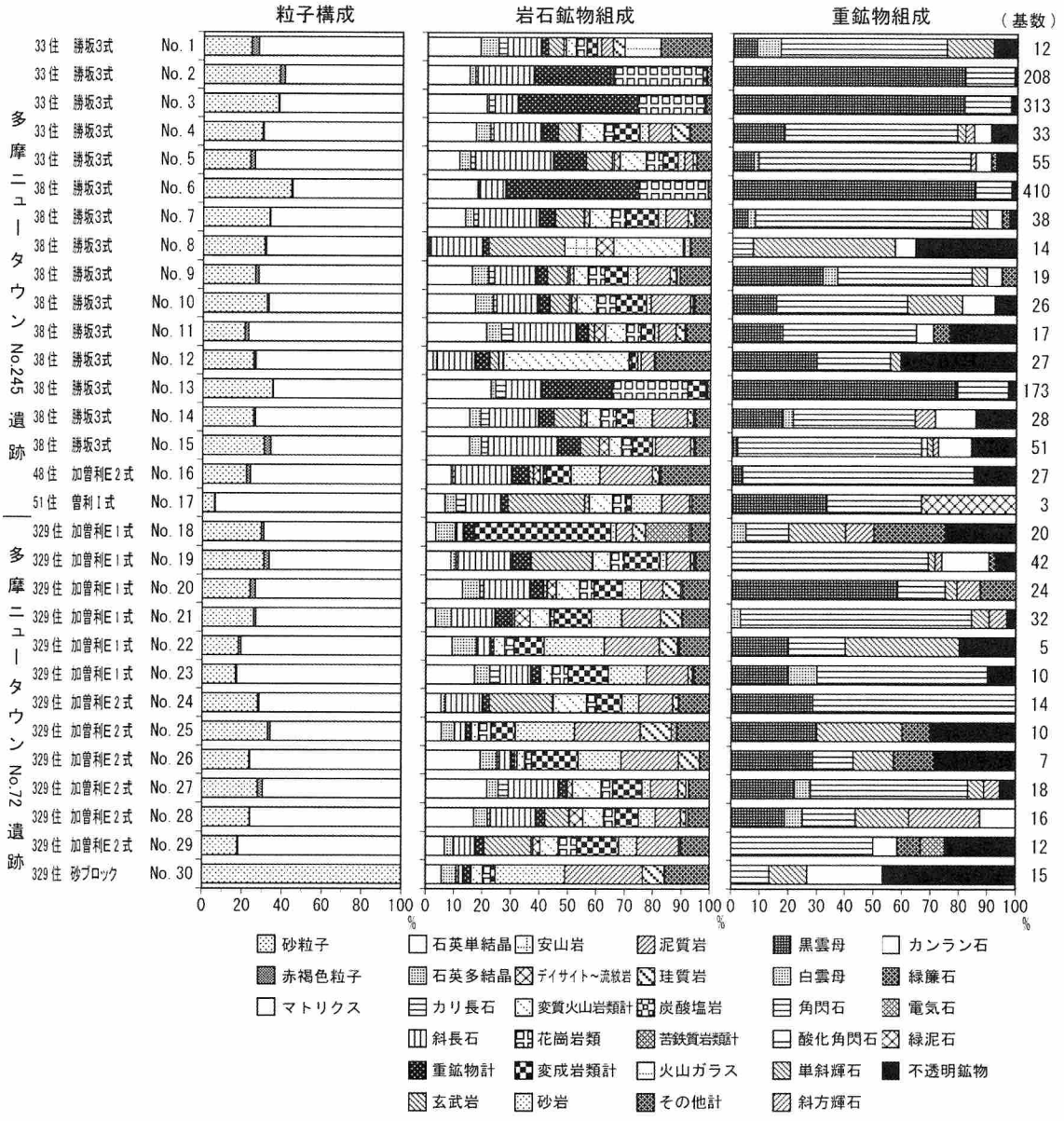
一方、直線距離で4.3km北東のNo.72遺跡329号住居跡では、粒揃いの比較的良い中粒砂が住居址内から塊状に出土し、土器原料の可能性が指摘されている(丹野ほか2009)。今回同跡329号住居跡出土土器を試料として薄片を用いた岩石学的手法の胎土分析を行い貯蔵砂と比較し、貯蔵砂が土器原料であった可能性を検討した。

2. 分析試料と方法

分析試料は、東京都埋蔵文化財センターから提供いただいた。多摩ニュータウンNo.245遺跡の試料は、住居内貯蔵粘土の出土が報告されている33号住居跡(勝坂3式)5点、38号住居跡(勝坂3式)10点、48号住居跡(加曽利E2式)1点、51号住居跡(未焼成土器、曽利I式)1点を分析した。多摩ニュータウンNo.72遺跡の試料は、329号住居跡出土の加曽利E1式6点、加曽利E2式6点、貯蔵砂試料1点を分析した。分析試料は、エポキシ樹脂を含浸させて補強後、薄片を作製し、フッ化水素酸蒸気でエッチングし、コバルチ亜硝酸ナトリウム飽和溶液でカリ長石を黄色に染色し、カバーガラスをかけてプレパラートとした。観察は偏光顕微鏡を用いてポイントカウント法で粒径0.05mm以上の岩石鉱物粒子およびそれ以下のマトリクスを対象に土器試料で2000ポイント、砂試料ではマトリクスを除く500ポイントを計数した。

3. 分析結果

分析結果を第1図に示す。第1図は、試料全体の砂粒子・赤褐色粒子・マトリクスの割合(粒子構成)、および砂粒子の岩石鉱物組成および重鉱物組成を示し、重鉱物組成では右側に基数を表示した。これ以外に、各岩石の構成比を示した岩石組成折れ線グラフを作成し、折れ線グラフのパターンに基づいて土器を便宜的に分類した。さらに、折れ線グラフと同様の11種の岩石データを用いてR言語のhclustで非類似度にユークリッド平方距離を用い、ウォード法によってクラスタ分析を行なった。クラスタ分析では、今回の分析データ



第1図 東京都多摩ニュータウンNo.72・No.245遺跡出土縄文土器の岩石鉱物組成

と周辺遺跡の縄文中期～後期土器や関東地方や甲府盆地の河川砂データなどと比較した。

4. 考察

泥質岩・砂岩・珪質岩からなる堆積岩を主体とする多くの土器および貯蔵砂は、変質火山岩類、玄武岩、ホルンフェルス、カンラン石、角閃石などを伴う点で類似性が認められ、各地の河川堆積物との比較からこれらの土器および貯蔵砂の原料産地は、地元の多摩丘陵周辺地域に推定された。縄文中期の周辺遺跡土器との比較からこれらの時期には、地元原料を用いた土器作りが各地域でなされていた可能性が推定される。一方、No.245遺跡の花崗岩類と黒雲母を多く含む土器(Nos.2,3,6,13)およびNo.72遺跡の片岩を多く含む土器(No.18)は、花崗岩類地域や変成岩地域に原料産地が推定され、搬入土器としての移動が考えられる。貯蔵砂は、多摩川とその支流の谷地川・湯殿川・北浅川などの組成と類似性が高く、これら地域の河川に由来する砂である可能性が推定される。また、No.72遺跡土器Nos.22,23,25,26と岩石組成での類似性が極めて高いことから、329号住居跡貯蔵砂No.30が土器原料の一部であった可能性が指摘できる。

本研究は、科学研究費補助金基盤研究(C)課題番号15K02988の成果の一部である。

愛知県新城市長篠から出土した鉄砲玉の鉛同位体比

Lead isotope ratio of bullets used in the Nagashino site in Sinshiroshi, Aichi Prefecture

○渡邊緩子（日鉄住金テクノロジー株式会社）、小林芳春（設楽原を守る会）
平尾良光（帝京大学文化財研究所）
WatanabeHiroko（NIPPON STEEL & SUMIKIN TECHNOLOGY Co.,Ltd.）
Kobayashi Yoshiharu（Chairman of the Group to preserve Shitaragahara historic site）
Hirao Yoshimitsu（Research Institute of Cultural Properties, Teikyo University）

1. はじめに

愛知県東部の新城市長篠には戦国時代(1575 年)の長篠の戦いと呼ばれる遺跡がある。3 万 8 千人の織田信長・徳川家康軍と、1 万 5 千人の武田勝頼軍が長篠城と設楽が原で衝突した戦いである。この合戦場から、個人的に拾い集められた鉄砲玉や埋蔵文化財センターの発掘で出土した鉄砲玉等があり、これら鉄砲玉に関して鉛同位体比を測定し、鉄砲玉がこの戦いでどのような意味をもつのかを検証した。

長篠の合戦場から出土した鉄砲玉の鉛同位体比は、以前に平尾らが 21 個の鉄砲玉について報告しているが、今回は、新たに 24 個の鉄砲玉が設楽原を守る会から提供を受け、全体で 45 個の資料の傾向が調べることができたので以下に報告する。

2. 資料

資料は 24 個の鉄砲玉である。これら資料は設楽原および長篠城近辺で個人が偶然発見し、設楽原を守る会という団体等へ寄付された鉄砲玉である。

前の報告では 21 個の鉄砲玉の鉛同位体比が測定され、日本産材料が多く、外国産鉛は少ないという結果であった。今回は、前回の結果と合わせて考察する。

3. 調査方法

資料に使われた金属材料の産地を推定するために鉛同位体比法を利用する。本資料は鉛製あるいは銅製の鉄砲玉で、主成分は銅と鉛である。鉛同位体比の測定には資料に発生した錆を利用する。

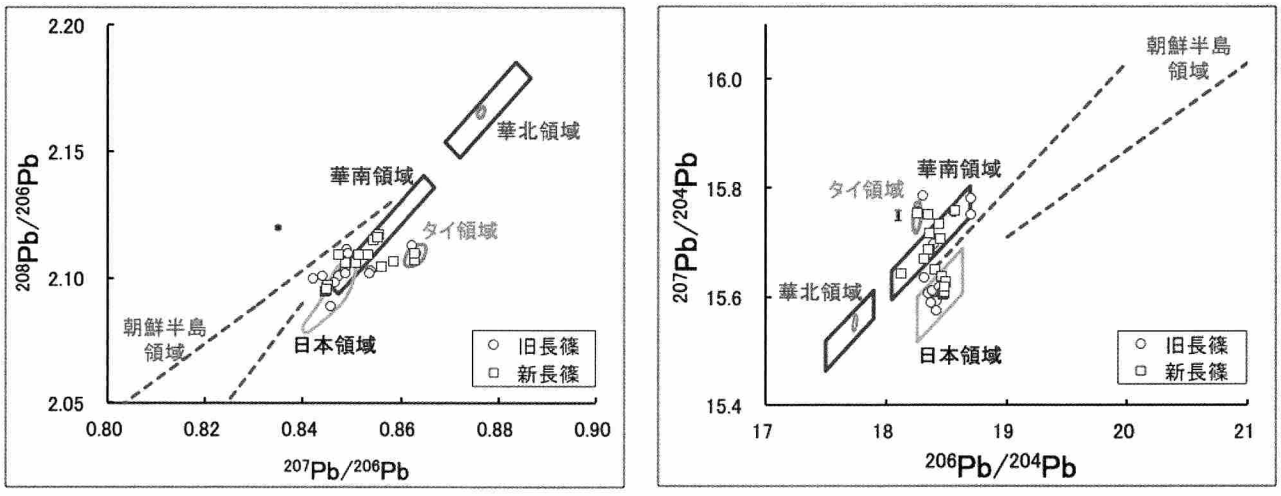
資料の鉛同位体比を表面電離型固体質量分析計で測定する。装置は、Finnigan 製 MAT262 を用いた。測定のために資料から鉛を電解法により単離して機器へ導入する。測定値は同一条件で測定した標準鉛試料 NBS-SRM-981 で規格化する。なお本資料に関しては２回の測定を行い、資料の数値に間違いのないことを確かめる。

4. 結果と考察

45 個の鉄砲玉を材質で大別すると、鉛玉が 37 個、銅玉が 7 個、鉄玉が 1 であった。鉄玉以外の 44 個について。鉛同位体測定を行い、得られた結果を図 1 のA式図とB式図に示す。今回測定を行った資料は新長篠、前回測定を行った資料を旧長篠と付記した。

鉛玉の地域分布は、日本産鉛が全体の約 70%で、その中でも p 領域が全体の 46%（日本産鉛の約 70%）であった。P 領域は狭い領域に多くの資料が集まっていることから、一つの鉱山を示唆しており、織田信長が鉄砲を戦略兵器と考えたときに、領国内のどこかに準備した鉛鉱山とも推察される。日本産鉛が約 70%ということは外国産鉛が 30%含まれていることを示し、外国産鉛を鉄砲玉の材料として利用することを初めから考えていたようにも思われる。タイの鉛が 12%含まれていることは、少ないながらも、南蛮貿易の影響が現れている実例と見られる。また、朝鮮半島の鉛も一定の比率で含まれていることは朝鮮半島鉛も大切な鉛源だったと見ることができる。

銅玉は 7 個あり、中国産材料が 5 個、日本産が 1 個、日本とタイの混合が 1 個であった。しかし、1)中国は材料として銅を輸出していない、2)日本の p 領域は鉛の産地であり、銅の産地かどうか不明であり、3)日本とタイの混合銅などは考えられない等、不明な点がある。これらの点について、考察してみた。1)中国では銅という材料ではなく、鉄砲弾という製品で売り出していたなら、南蛮貿易で購入できたかもしれないので、中国産の銅玉はあり得るかもしれない。2)当時の日本は銅を輸出することで、鉛や火薬、その他を購入していたので、銅の生産は国内で十分にあったと考えられる。だた、p 領域であっても良いのかは判らない。3)日本から銅を輸出していたはずなので、わざわざタイ産の銅を購入する必要はない。他に混入する可能性としては、地中・保管中に他の玉と接触して、その一部の材料が混入した、あるいは、銅玉を撃ったときに、その前に撃った弾の痕跡が残っており、その鉛が焼き付いた等の可能性が考えられる。



(a)A式図　　(b)B式図

図1　長篠の戦いで利用された鉄砲玉が示す鉛同位体比

ガンマ線スペクトロメトリーの胎土分析法としての有効性の検討

Evaluation of Gamma-ray spectrometry as a clay analysis method

○小倉頌子（奈良県立橿原考古学研究所）、青木智史（天理大学附属天理参考館）、
金原正明（奈良教育大学）
○Shoko Kokura (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture), Satoshi Aoki
(Tenri University Sankokan Museum), Masaaki Kanehara (Nara University of Education)

1. はじめに

古代の土器や瓦などの産地を調べる自然科学的手法として胎土分析があり、蛍光X線分析法をはじめとする機器分析法が広く用いられている。ガンマ線スペクトロメトリーは放射性核種の崩壊時に放出されるガンマ線エネルギースペクトルを測定し、核種の定性と定量を行う手法である。本手法は自然放射線探査法の一つであるが、考古遺物の分析には殆ど用いられていない。奈良教育大学はこれまでに土器類や土壌などのTL年代測定を多く実施しており、試料中の放射性同位元素の定性・定量のためにガンマ線スペクトロメトリーを応用した胎土分析が行われてきた。これら蓄積した測定成果を改めて検討すると、ガンマ線スペクトロメトリーが土器類の産地分類に有効である可能性が示唆される。よって本研究では、ガンマ線スペクトロメトリーを応用した考古遺物の産地推定の萌芽的研究として、新薬師寺旧境内出土瓦を対象に胎土分析を行い、その有効性について検討した。

2. 試料

分析の対象としたのは、新薬師寺旧境内遺跡より出土した瓦片 103 点である。これらの瓦には布目圧痕が残されており、型式的な点と併せて考古学的には奈良時代中頃に焼成されたものと推定される。また、東大寺式や興福寺式など様々な型式が混在し、胎土についても鉱物的な観点から多様性が認められる試料群である。

3. 分析方法

地殻を構成する岩石や造岩鉱物には、微量ではあるがウラン(^{238}U)、トリウム(^{232}Th)、カリウム(^{40}K)といった放射性同位元素が含まれている。^{238}U、^{232}Th は崩壊系列を形成し、放射性崩壊によって新しい核種を生成する。放射平衡が成り立つ場合、娘核種から放出される放射能を測定することにより親核種の含有量を定量することができる。

分析には、奈良教育大学のガンマ線スペクトロメータ（Oxford Instruments 社製）を用いた。検出器は低バックグラウンド鉛と銅で遮蔽された高純度 Ge 半導体検出器である。測定にあたっては、試料表面の変色部分等を削り取った後、タングステンカーバイド製乳鉢で粉砕し、30g を秤量しプラスチック製容器内に入れて密封し、さらに厚さ 0.04mm のポリエチレン製袋に入れ、1 試料あたり 2 日間（172800 秒間）測定を行った。定量分析は、産業技術総合研究所が提供する岩石標準試料（JG-1a、JR-1、JA-3、JB-2、JB-3）を用いて各核種について検量線を作成し、試料に含まれる放射性同位元素の K、Th、U の含有量を評価した。

4. 結果と考察

図 1 は Th 及び U の 2 元素について含有量を比較した分布図である。これを見ると、新薬師寺旧境内遺跡の瓦は Th 及び U の含有量のばらつきが大きく広範囲にわたって分布するという特徴がある。なお、K は小さくまとまった分布を示した。また、K、Th、U の 3 元素の含有量を用いてクラスター分析を行った。分析においてはフリー統計解析ソフトウェア R を使用し、

距離尺度はユークリッド距離、クラスタリング手法は Ward 法を選択した。分析の結果、A 及び B の 2 群に大別され、B 群はさらに B1、B2 の 2 群に分類できることが判明した（図 2）。A、B 両群の瓦は、肉眼観察及び偏光顕微鏡による鉱物観察においてそれぞれ胎土に差異が認められた。特に A 群と B2 群の胎土は、Th－U 分布図においても重複することなく分布していることから、有意なクラスタリングであると言える。このことから、新薬師寺旧境内の瓦の胎土には複数の原料採取地が存在する可能性が示唆される。なお、実験的に蛍光 X 線分析法による胎土分析を行ったが、胎土の分類は困難であった。

以上の成果から、ガンマ線スペクトロメトリーを応用した胎土分析により Th 及び U を定量し、これらの含有量を比較することにより同一地域内における胎土の細分類を行う手法は、一定の実効性を有した研究手法であると考えられる。同時に、本研究により本手法及び Th、U の判別因子としての有効性を示しうる成果が得られたと言えるだろう。

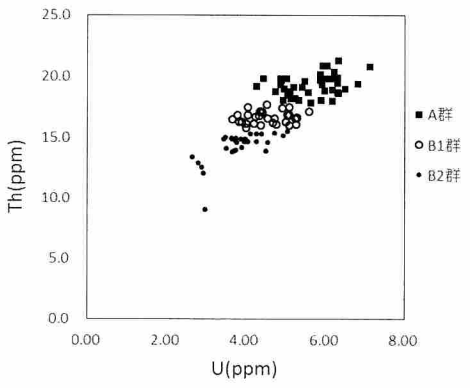


図 1. 新薬師寺旧境内出土瓦の Th－U 分布図

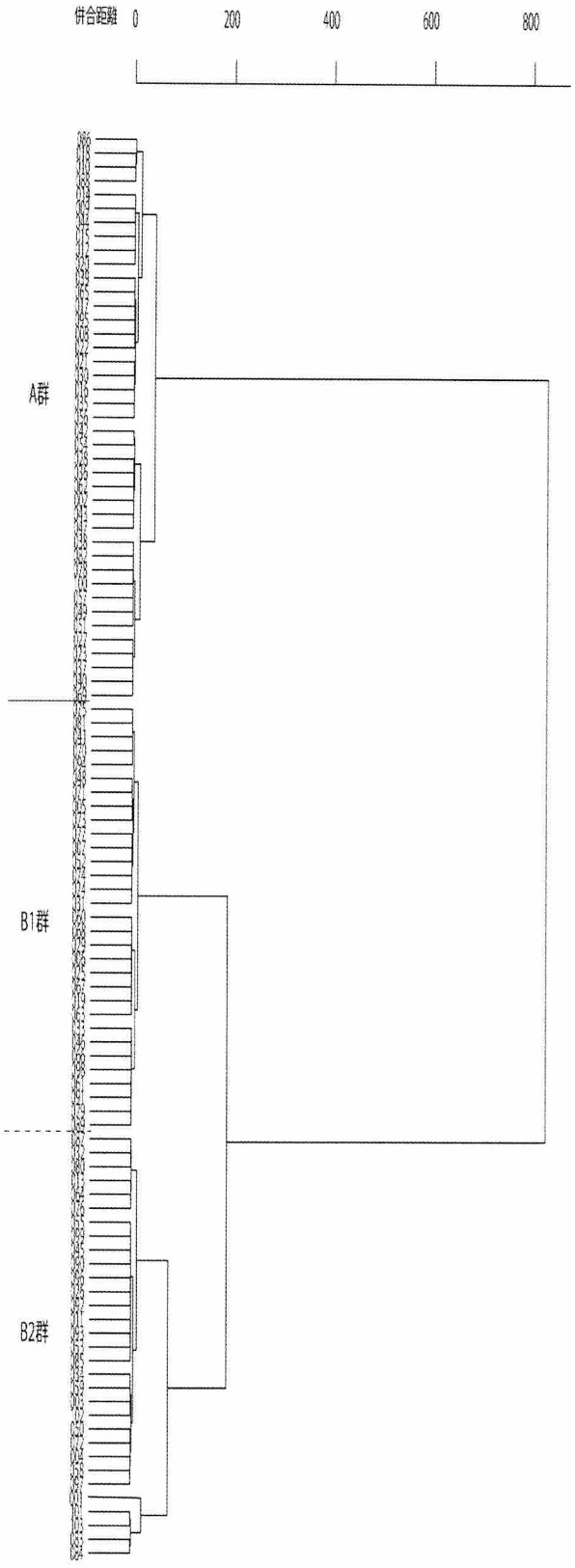


図 2. クラスター分析結果

山形県内出土黒曜石製石器の原産地推定

－北海道産黒曜石の利用解明－

Identification of Source of Obsidian Artifacts from Yamagata Prefecture
Use Elucidation of Obsidian from Hokkaidou

○安彦政信(山形考古学会)、渋谷孝雄(山形県立うきたむ風土記の丘考古資料館)
佐々木繁喜(宮城県登米高等学校)
○ABIKO Masanobu (The Archaeological Society of Yamagata) ,SIBUYA Takao (Ukitamu Fudoki no oka Archaeological Museum) ,SASAKI Sigeki (Miyagi Tome High School)

1. はじめに

近年、発表者らは山形県内出土黒曜石製石器について蛍光 X 線分析による原産地推定のデータの蓄積に努めており、特に北海道産黒曜石に注目している。本発表では、角二山遺跡をはじめとする 4 遺跡から出土した黒曜石製石器の原産地推定結果について報告する。

2. 試料(資料)

分析に供した黒曜石製石器は、大石田町角二山遺跡 (17 点)、村山市清水西遺跡 (4 点)、中山町滝 1 遺跡 (1 点)、中山町松岡山遺跡 (1 点) から出土した計 23 点である。前三者は後期旧石器時代、松岡山遺跡は縄文時代草創期に帰属すると考えられる。

3. 分析方法

分析に用いる各元素の測定には、エネルギー分散型蛍光 X 線分析(非破壊法)を用いた。分析装置は、宮城県産業技術総合センターに設置されているエスアイアイ・ナノテクノロジー(現日立ハイテクサイエンス)製の SEA6000VX、X 線発生源はロジウム管球、検出器は Vortex Si 半導体である。これを用いて 0.5×0.5mm の範囲を 9 元素について測定した。すなわちカリウム(K)、カルシウム(Ca)、チタン(Ti)、マンガン(Mn)、鉄(Fe)、ルビジウム(Rb)、ストロンチウム(Sr)、イットリウム(Y)、ジルコニウム(Zr)などで管電圧 50kV、管電流 1mA、大気雰囲気で測定を行った。測定時間は 240 秒で、両側 ROI 2 でバックグラウンドを差し引き、ネット強度により積分強度を求めた。

分析の基礎資料として、北海道白滝系 I(赤石山系)・白滝系 II(十勝石沢系)・置戸系 I(所山)・置戸系 II(置戸山)・十勝系・赤井川系、青森県深浦系・小泊系・青森系・岩木山系、秋田県男鹿系(金ケ崎・脇本)・横手系、田沢湖系(田沢湖・雫石・折居・花泉)、宮城県宮崎系(湯の倉)・色麻系・川崎系・仙台系(秋保系)・蔵王系、山形県月山系・寒河江系・飯豊系(高野)、新潟県新発田系(板山)・新津系(金津)・佐渡系、栃木県高原山系、長野県和田峠系・霧ヶ峰系の黒曜石を使用した。

判別は望月(2011)によるRb分率(Rb 強度×100／(Rb 強度＋Sr 強度＋Y 強度＋Zr 強度))、Sr 分率(Sr 強度×100／(Rb 強度＋Sr強度＋Y 強度＋Zr 強度))、Mn 強度×100／Fe 強度、log(Fe 強度／K 強度)を用いた(図1・図2)。また、被熱した黒曜石を判別するために、Sr 強度×100／(Sr 強度＋Y 強度)、Mn 強度×100／Fe 強度判別図を作成した(図3)。さらに、遺物が風化を受けているかどうか検定するために、風化を受けると相対的に強度が高くなる傾向にある Ti を組み込んだ判別図も作成した。すなわち Rb 強度×100／(Rb 強度＋Sr 強度＋Y 強度＋Zr 強度)、log(Mn 強度／Ti 強度)判別図である(図4)。

黒曜石の識別・同定においては、肉眼・ルーペで観察できる特徴も加味した。

4. 分析結果と考察

本分析により得られた結果は、下記のとおりであった。遺跡別の内訳は、表1のとおりである。

(1) 角二山遺跡

黒曜石製石器 17 点について分析を行った。細石刃 9 点と剥片2点は、北海道白滝系 I(赤石山系)、細石刃 5 点は、北海道白滝系 II(十勝石沢系)、剥片 1 点は、男鹿系 A と判別された。

(2)清水西遺跡

後期旧石器時代に帰属すると考えられる黄褐色土層から出土した黒曜石製剥片4点は、北海道置戸系II(置戸山)と判別された。

(3)滝1遺跡

黒曜石製の広郷型細石刃核(表採資料)1点は、北海道置戸系I(所山)と判別された。

(4)松岡山遺跡

黒曜石製の尖頭器(表採資料)1点は、北海道白滝系II(十勝石沢系)と判別された。

本分析の結果、角二山遺跡から出土した黒曜石製の細石刃が、北海道白滝産の黒曜石を使用していることが確認され、津軽海峡を挟んでの北海道と東北の石材を通じての交流が裏付けられた。

今後、山形県内の分析事例を蓄積していくとともに、他の地域や縄文時代の黒曜石の利用実態についても詳細に検討を加える必要がある。

表1　山形県内各遺跡の分析結果（点数）

遺跡名	時　　期	月山系	宮崎系	男鹿系A	白滝系I	白滝系II	置戸系I	置戸系II
角二山遺跡	後期旧石器後半	—	—	1	11	5	—	—
清水西遺跡	後期旧石器前半	—	—	—	—	—	—	4
滝1遺跡	後期旧石器後半	—	—	—	—	—	1	—
松岡山遺跡	縄文時代草創期	—	—	—	—	1	—	—

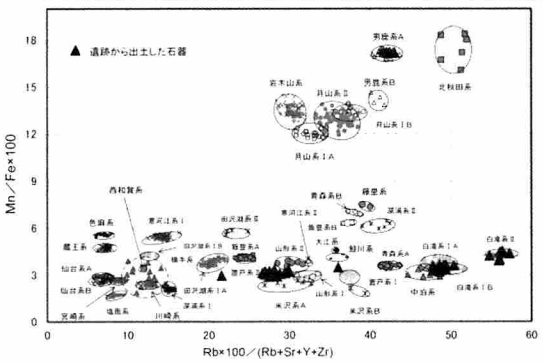


図1　山形県内の旧石器遺跡の判別図(1)　Rb分率

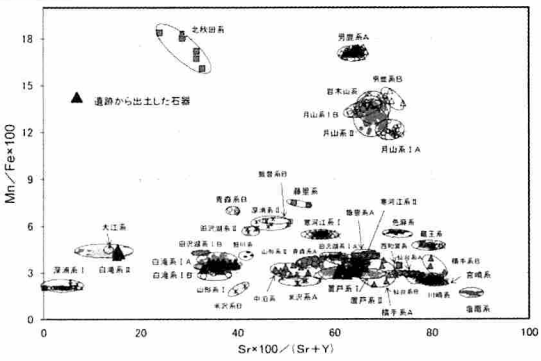


図3　山形県内の旧石器遺跡の判別図(3)　被熱検定

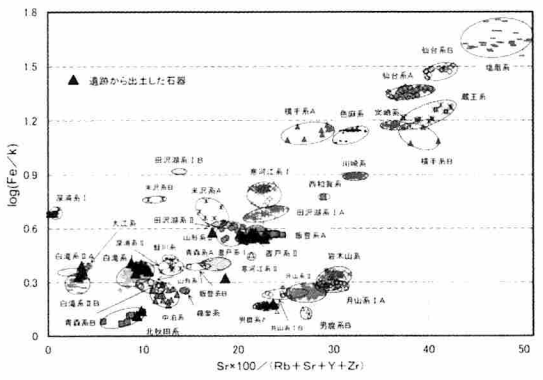


図2　山形県内の旧石器遺跡の判別図(2)　Sr分率

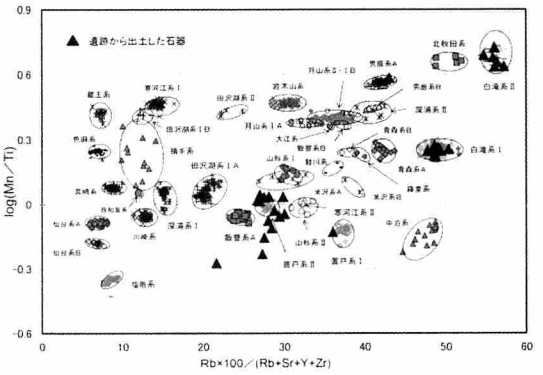


図4　山形県内の旧石器遺跡の判別図(4)　風化検定

引用・参考文献

鹿又嘉隆・佐々木繁喜 2015「角二山遺跡の黒曜石製細石刃の原産地推定とその意義」『山形考古』第45号

佐々木繁喜 2015「黒曜石製石器の石質鑑定」『清水西遺跡発掘調査報告書附編』公益財団法人　山形県埋蔵文化財センター

佐々木繁喜 2016「東北地方とその周辺地域から産出する黒曜岩の蛍光X線分析と原産地推定」『岩手考古学』27

渋谷孝雄・安彦政信・佐々木繁喜 2016「山形県中山町滝1遺跡の広郷型細石刃核と松岡山遺跡の尖頭器の原産地推定とその意義」『山形考古』第46号

望月明彦 2011「蛍光X線分析による宮城県加美町三本松遺跡出土黒曜石の産地推定」『三本松遺跡』加美町教育委員会

関東周辺地域における縄文時代晩期の黒曜石製石器の原産地と技術形態学的検討との比較

The comparison of obsidian's sources with types of stone tools of the Final Jomon Period in the Kanto region.

○菅頭明日香[1]、建石徹[2]、大工原豊[3]、新免歳靖[4]、濱田翠[5]、三浦麻衣子[6]、
犬塚将英[5]、二宮修治[4]
[1]青山学院大学、[2]文化庁、[3]國學院大學、[4]東京学芸大学、[5]東京文化財研究所、
[6]帝京大学文化財研究所
○Asuka KANTO, Toru TATEISHI, Yutaka DAIKUHARA, Toshiyasu SHINMEN, Midori HAMADA, Maiko MIURA, Masahide INUZUKA, Shuji NINOMIYA

1．はじめに

近年、蓄積されつつある関東周辺地域における縄文時代晩期の黒曜石製石器の原産地分析結果と石器の技術形態学的検討を比較する。

興味深い事例として、下布田型石鏃の原産地分析事例を報告する。報告者の一人である大工原は、石鏃の一型式として、東京都調布市下布田遺跡から出土する、いわゆる飛行機鏃を指標とする「下布田型」を設定した（大工原 2017）。下布田型石鏃は、東京都から神奈川県にかけての多摩川流域を中心として、縄文時代晩期中葉（安行 3d 式期）に限定的にみられるとされる。本研究では、神奈川県相模原市の川尻石器時代遺跡から出土した下布田型石鏃の原産地分析結果を踏まえて、技術形態学的な比較検討を行った。

2．川尻石器時代遺跡出土黒曜石の原産地分析

川尻石器時代遺跡は、神奈川県相模原市緑区に位置する。J2 号住居址より出土した黒曜石資料（80 点）は、概ね縄文時代晩期（安行 3c～3d 式期）の所産と考えられる。これらについて、蛍光 X 線分析を用いた原産地分析を実施した（菅頭他 2017）。原産地分析に供した資料のうち、下布田型石鏃と考えられる黒曜石資料が 2 点（分析 No. 55、No. 65）確認された（図 1）。

本分析により得られた川尻石器時代遺跡出土黒曜石資料の原産地構成は、星ヶ塔産 69 点、小深沢産 5 点、神津島産 3 点、柏峠産 2 点、不明 1 点であった。このうち、分析 No. 55 は神津島産、分析 No. 65 は星ヶ塔産と推定された（表 1）。

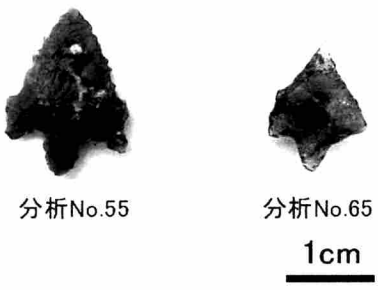


図 1　川尻石器時代遺跡出土の下布田型石鏃

3．原産地分析結果の検討

下布田遺跡では、黒曜石資料67点に原産地分析が実施され、小深沢産34点、星ヶ塔産30点、柏峠産2点、不明1点とする結果が得られている（建石他2016）。このうち、下布田型石鏃は4点あり、全点が星ヶ塔産と推定された。

下布田型石鏃の石材はチャートを主体とするが、後出する形態をもつものに黒曜石が用いられる傾向が認められ（大工原2017）、安行3d式中段階より長野県産黒曜石が卓越するようになる。大工原の所見によると、川尻石器時代遺跡出土の下布田型石鏃は、より新しい形態（C形態＝下布田3型）に属し、むしろ山梨県・長野県地域の主要な一形態である（仮称）御社宮司型に近いとされ、この地域との関係性が伺える点で川尻石器時代遺跡出土の黒曜石資料分析No.65の結果は調和している。川尻石器時代遺跡からは、星ヶ塔産の剥片や原石も出土しており、これらが遺跡内で製作された可能性が指摘できる。分析No.55は神津島産であり、従来の在り方とは異なる。また、神奈川県域で黒曜石製の下布田型石鏃がまとまって出土している遺跡としては、秦野市平沢同明遺跡があり、黒曜石製のもの（C形態＝下布田3型）が8点存在している（玉川文化財研究所編2010）。この遺跡は縄文時代晩期中葉～弥生時代前期を主体としており、原石・石核・大形剥片に限定して蛍光X線分析による原産地分析が行われた。分析結果は諏訪星ヶ台産67.2%、天城柏峠産21.5%、箱根鍛冶屋産4.5%、神津島恩馳島産2.8%とされた（戸田・池谷2010）。ここでは石鏃自体の分析が行われていないので、川尻石器時代遺跡等と直接比較することはできないが、神津島産が用いられた可能性は低いと推測される。縄文時代晩期の南関東諸遺跡では、神津島産黒曜石は多く認められるが（日本考古学協会2011年度栃木大会実行委員会編2011）、下布田型石鏃に神津島産黒曜石が用いられた事例は少ない。今後分析事例を蓄積して、詳細に検討する機会を得たい。

引用文献

菅頭明日香・建石徹・新免歳靖・犬塚将英・二宮修治2017「第7節　川尻石器時代遺跡出土黒曜石資料の産地分析」『川尻石器時代遺跡総括報告書　相模原市埋蔵文化財調査報告』53 相模原市教育委員会 129－132。

大工原豊2017「下布田型石鏃の研究」『石鏃を中心とする押圧剥離系列石器群の石材別広域編年の整備』科学研究費基盤研究（C）研究課題番号25370894　94－114。

建石徹・新免歳靖・濱田翠・大工原豊・二宮修治2016「第3節　下布田遺跡出土黒曜石資料の産地分析」『東京都調布市史跡下布田遺跡　第2・3・7・8地点』調布市教育委員会 168－171。

玉川文化財研究所編2010『平沢同明遺跡（2004－04地点・2004－05地点）』秦野市教育委員会

戸田哲也・池谷信之2010「平沢同明遺跡出土黒曜石製石器の産地推定」『同上』同上 246-252。

日本考古学協会2011年度栃木大会実行委員会編2011「石器時代における石材利用の地域相―黒曜石を中心として―」『一般社団法人日本考古学協会2011年度栃木大会研究発表資料集』日本考古学協会2011年度栃木大会実行委員会 7-306。

表1　川尻石器時代遺跡出土の下布田型石鏃の原産地分析結果（6元素の酸化物の総和を100としたときの百分率）

分析No.	遺構1	遺構2	遺物No.	器種	MnO	Fe_2O_3	SrO	CaO	Rb_2O	K_2O	推定原産地
55	J2号住居址	Pit4	1457	石鏃	4.4	44.7	2.3	14.1	1.5	33.0	神津島
65	J2号住居址		1058	石鏃	4.1	34.2	0.8	10.7	3.2	47.2	星ヶ塔

愛知県伊川津貝塚出土人骨の全ゲノム解析

Whole genome analysis of Jomon remains from Ikawazu site

○覚張隆史(金沢大学)・太田博樹(北里大学)
○Gakuhari Takashi (Kanazawa Univ.), Oota Hiroki (Kitasato Univ.)

1. はじめに

現代日本人の起源に関する研究において、約1万6千年前から1万年以上続く縄文時代の人々が持つ遺伝情報を得ることは極めて重要といえる。過去の人々の遺伝情報を取得するためには、遺跡出土古人骨から直接的にDNA配列を抽出し、分子遺伝学的解析を進めることが必須となる。約30年前から始まった古代DNA分析の研究領域では、従来のクローニング技術やPCRを用いた分析手法から、今日では次世代シーケンサーを用いた全ゲノム解析時代が到来しており、遺跡出土人骨から血縁関係・系統関係について、ほぼ証明に近い評価法が確立されつつある。しかし、古代DNA分析で今なお課題とされているのは、温暖湿潤な地域における分析法の確立である。そこで、本研究では愛知県渥美半島の伊川津貝塚出土人骨の古代DNA分析を実施し、温暖湿潤地域における古代DNA分析の方法論的検討を試みた。また、得られた縄文人骨のゲノムデータに基づいて、愛知県渥美半島における縄文時代人の分子系統学的な考察を試みた。

2. 試料および方法

愛知県田原市の伊川津貝塚から2010年度に発掘された人骨2個体を分析に供した。4号埋葬墓である個体 IK001(幼児)と個体 IK002(成人女性)と同一地点から出土しており、解剖学的な位置を保っていることから、一次葬であったと考えられる。また、抜歯型式は 4I 系で、発掘状況から両者は母子関係の可能性が指摘されている。IK001 は乳臼歯の歯根象牙質を、IK002 は臼歯の歯根象牙質および側頭骨岩様部内の空洞表層部を採取し、分析に供した。試料採取の取り扱いは、実験用のラテックスゴム手袋を着用した。

試料採取した後の分析は、北里大学医学部の古代 DNA 分析用クリーンルーム内にて実験を行った。分析対象となる試料から土壌を除去した後に、UV クロスリンカーで両面各 60 分間 UV 照射し、現代由来のDNAのコンタミネーションの影響を低減させた。その後、歯象牙質の試料採取は、ダイアモンド蒸着のディスクカッターを用いてエナメル質と象牙質を分離して得た。また、側頭骨岩様部も、ディスクカッターを用いて特定部位を採取した。DNA 抽出は EDTA、Proteinase K、ラウリル硫酸塩、トリスを混合した抽出液を用いて、55℃・24時間、37℃・24時間かけて DNA を溶出させた。これを3回繰返し、DNA 濃度が高い分画を次の分析に用いた。抽出された DNA 溶液は、バイオアナライザーおよび Qbit で DNA 濃度・断片長を測定し、DNA 分子の保存状況を評価した。

これらのデータに基づいて、次世代シーケンサー(NGS; Next-generation sequencing)で解析するための NGS ライブラリを作成した。NGS ライブラリの作成は、New England BioLabo 社製の NEBNext Ultra DNA library preparation kit の常法プロトコルを変更し、古代 DNA 分子を効率的に読むために、Ampure XP 磁性ビーズを用いて低分子 DNA(30bp～80bp)のみを選択的にライブラリ化する手法を用いた。得られた NGSライブラリを金沢大学の Miseq でプレスクリーニングした。さらに、、IK002 から得られた歯由来の NGS ライブラリ5つを Hiseq の Rapid mode にて各ライブラリを2レーンずつ、計10レーン分をアウトプットした。

得られた次世代シーケンサーのデータは RTA で fastqc に変換し、fastQC でランクオリティを確認し、Phred スコア 30 以下の配列は除去した。次に、Adapteremoval で DNA 両末端に残るアダプター配列を除去した。トリミングした配列を BWA mem で hg19 レファレンス配列にマッピングした。また、mapDamage2.0 で DNA 両末端の C>T 塩基置換率を求めた。最後に、hg19 にマッピングされた配列から、各人類集団ゲノム中の共有 SNP を抽出し、主成分分析を実施した。

3. 結果および考察

(プレスクリーニングによるヒトマッピング率の算出)

IK001 および IK002 の歯象牙質から作成した NGS ライブラリを Miseq で解析した結果、ヒトリファレンス配列である hg19 へのマッピング率は、IK001 で 0.14%(ヒトリード数/総リード数;594/410053)、IK002 で 2.50%(ヒトリード数/総リード数;8324/333597)であった。同じ地点に埋葬された人骨間で、マッピング率が異なる結果が得られたが、IK001 は化骨形成が完了していない幼児骨であったため、同一埋葬された IK002 よりもDNA の保存状態が相対的に悪かった可能性が考えられる。

(コンタミネーションのリスク評価)

遺跡出土骨中の古い DNA 分子は、低分子化し、DNA 両末端が一本鎖 DNA となっている。この一本鎖 DNA 部位は約 5～15 塩基ほどと考えられており、この部位においてシトシンが脱アミノ化反応を受けてウラシルに変わり、配列決定の際にチミンとして認識されてしまう。この脱アミノ化反応は、約 200 年以上埋没し、緩やかに反応が進む。このため、現代人由来の DNA 分子にはこのシトシン(C)→チミン(T)という変異が見られない。つまり、次世代シーケンサーで得られた DNA 両末端の配列が、ヒトリファレンス配列では見られないサイトで C>T の変異率が高かった場合、得られた DNA 配列データは古人骨由来の古 DNA 分子であると評価できる。Hiseq で得られた 3530183 リード分のヒト DNA 分子の配列データを用いて、DNA 両末端の C>T 塩基置換率を算出した。その結果、両末端で古代 DNA 分子に特徴的な C>T 置換が見られ、最末端の置換頻度は 15%と高いことから、既存の古代 DNA 研究でみられるよな DNA ダメージの特徴とよく一致する。すなわち、本研究で得られた IK002 の DNA 配列は縄文人の DNA 配列である可能性が指摘できる。

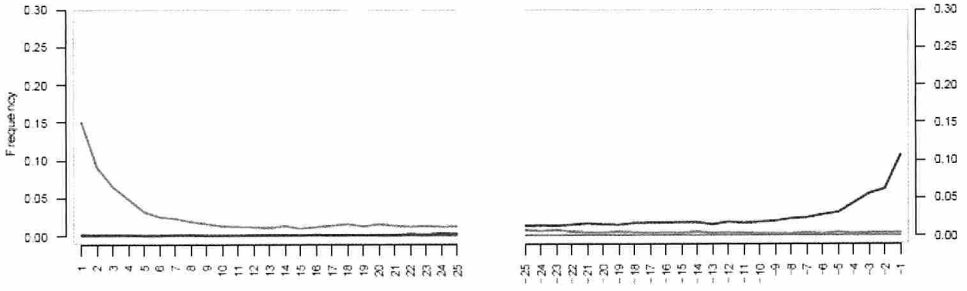


図 1. IK002 の DNA 両末端の C>T 置換頻度(縦軸)と塩基部位(横軸)　(赤色 ; C>T、青色 G>A (相補鎖のため実際は C>T)

(主成分分析に基づく IK002 と現代アジア人集団間の配列類似度の評価)

最後に、愛知県渥美半島における縄文時代人の全ゲノム配列の類似度を主成分分析し、第一主成分と第二主成分で各人類集団との相対的な類似性を 2 次元プロットで可視化した。その結果、IK002 は現代アイヌのゲノム配列に近く、他の現生アジア人集団とは異なるゲノム配列を保持している可能性が示された(図 2)。これは、縄文時代後晩期の渥美半島の縄文時代人は、後の東北や北海道にいたアイヌと遺伝的に近かった可能性を示唆している。また、Kanzawa-Kiriyama *et al.* 2016 でも、東北縄文時代人は他のアジア集団にはない特徴的なゲノム配列を保持していることが報告されており、アジアでも特徴的なゲノム配列をもつ集団が広く日本列島に分布していた可能性を示唆している。

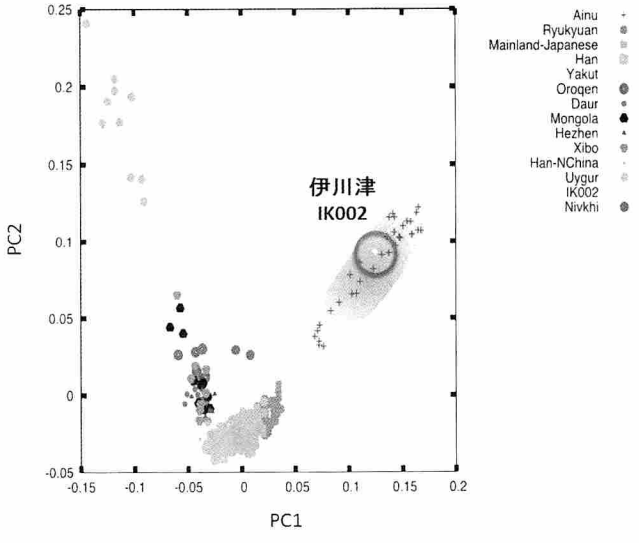


図 2. IK002 と現代アジア人集団との主成分分析 (4965 共有 SNPs を使用)

新石器時代の長江下流域における移民率の評価

Estimation of human migration rate in lower Yangtze River during the Neolithic period

○覚張隆史（金沢大学）・板橋悠（東京大学）・岡崎健治（鳥取大学）・高椋浩史（土井ヶ浜ミュージアム）・宋建（上海博物館）・陳傑（上海博物館）・孫国平（浙江省文物考古研究所）・劉斌（浙江省文物考古研究所）・米田穣（東京大学）・中村慎一（金沢大学）

○Gakuhari Takashi (Kanazawa Univ.), Itahashi Yu (The Univ. Tokyo),
Okazaki Kenji (Tottori Univ.), Takamuku Koji (Doigahama Museum),
Song Jian (Shanghai Museum), Chen Jie (〃),
Sun Guo-Ping (Zhejiang Provincial Institute of Cultural Relics and Archaeology), Liu Bin (〃),
Yoneda Minoru (The Univ. Tokyo), Nakamura Shinichi (Kanazawa Univ.)

1. はじめに

東アジアにおける栽培植物は、中国北部に起源を持つアワ・ヒエ、南部のイネと、南北で異なる栽培化プロセスをへてきた。なかでも、長江流域を起源地とするイネは、陸稲栽培から水稲栽培へ移行するという他の穀物栽培に見られない特殊性があるといえる。初期稲作が始まった河姆渡文化期においては、小規模な水稲栽培が始まり、後の崧沢・良渚文化期に移るにつれて水田への水の供給のためにダムなどの大型灌漑施設が整備されたと考えられている。ダム建設などの公共事業としての治水整備は、イネの収穫高を上げることから、その社会全体の余剰生産分として、膨大な富の蓄積が始まったと考えられる。特に、大型ダムが検出され始める良渚文化期以降は、安定的なイネの集約システムが確立することから、その豊かさを求めて外部地域から多くの移民が長江下流域に流入してきた可能性がある。しかし、新石器時代の長江下流域の遺跡から出土する考古遺物の組成は、外部地域からの移民の存在を積極的に示唆する証拠は得られていないのが現状である。これは、外部地域からの移民は、移動元の土器や石器などを持ち込むよりも、移動先にあるものを利用する可能性があるため、ヒトは移動してもモノが移動せず、考古遺物として移動を認識できないという根本的な方法論的制約があるためである。

そこで本研究は、初期稲作から稲作を基盤とした稲作社会への移行プロセスを追うことができる長江下流域の新石器時代遺跡に焦点を当て、遺跡出土人骨の化学分析から直接的にヒトの移動を復元することを試みた。また、各時代の遺跡出土人骨の移民率を推定し、移民率の時代的変遷について評価を試みた

2. 試料および方法

中国浙江省余姚市の田螺山遺跡および中国上海市の広富林遺跡を分析対象遺跡とした。田螺山遺跡出土人骨 4 個体、広富林遺跡出土人骨 64 個体から歯エナメル質を採取した。また、遺跡周辺域で生活していた際に取りうるストロンチウム同位体比の範囲（在地 Sr 範囲）を評価するために、広富林遺跡出土動物骨（シカ・イノシシ・イヌ）18　点から歯エナメル質を採取した。田螺山遺跡出土人骨は河姆渡文化期（約　7000～6500 年前）に、広富林遺跡出土人骨は、崧沢（約 5900～5200 年前）・良渚（約 5200～4200 年前）・広富林（約 4200～3800 年前）文化期にそれぞれ帰属する。

遺跡出土人骨の歯エナメル質からエナメル質粉末を採取した。採取したエナメル質粉末は、超純水で洗浄した後に、2.5% NaOCl で 12 時間反応させた。反応後、超純水で中性に戻した後に、0.1 M 酢酸バッファー（pH 4.5）に 12 時間反応させた。反応後、超純水で中性に戻した後に、60℃乾熱オーブンで 24 時間乾燥させた。ストロンチウム精製のため、洗浄したエナメル質粉末　2～5mg　を　3.5M　HNO3　に溶解させ、Eichrom 社の Sr-Spec 樹脂を充填したカラムで溶解液からストロンチウムを精製した。ストロンチウム同位体比（87Sr/86Sr）の測定は、総合地球環境学研究所の　MC-ICP-MS　を用いて実施した。本分析で測定したストロンチウム同位体比の国際標準物質 NBS987 の測定精度は±0.00001 以下であった。

3. 結果

田螺山遺跡出土人骨のストロンチウム同位体比は 0.71050±0.00017(平均値±1 標準偏差)、広富林遺跡出土人骨のストロンチウム同位体比は 0.71062±0.00273 であった。また、広富林遺跡出土動物骨のストロンチウム同位体比は、は 0.70996±0.00064 であった。また、遺跡出土動物骨のストロンチウム同位体比と、各遺跡出土人骨のストロンチウム同位体比の分散を比較したところ、広富林遺跡出土人骨のストロンチウム同位体比は動物骨のストロンチウム同位体比よりも有意に高い分散を示したが(P<0.0001)、一方で田螺山遺跡出土人骨のストロンチウム同位体比は有意に低い分散を示した(P=0.03)。

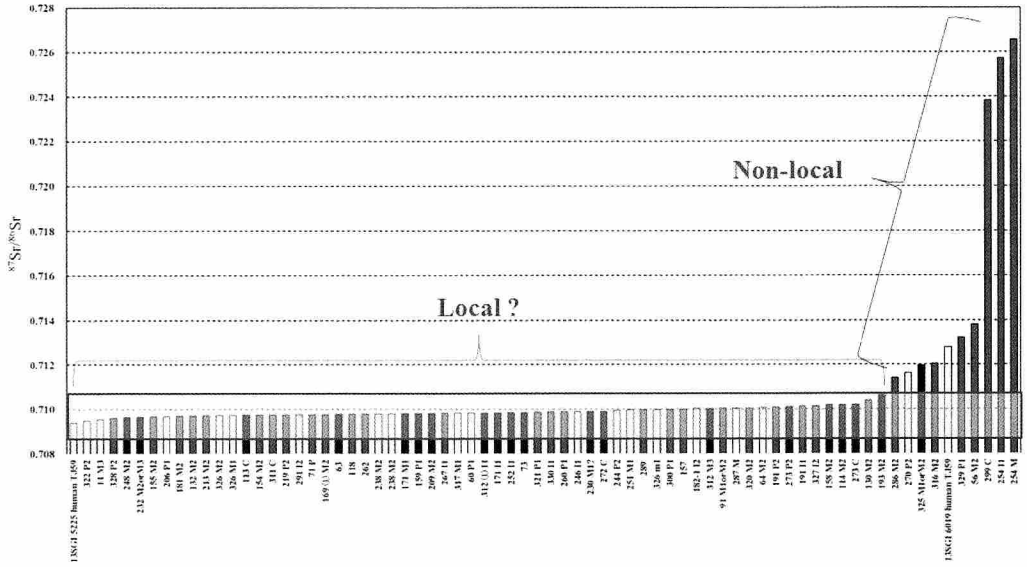


図. 広富林遺跡出土人骨のストロンチウム同位体比(男性;黒色、女性;灰色、白色;性別不明)

図中の薄い灰色の範囲は広富林遺跡出土動物(シカ・イノシシ)のストロンチウム同位体比の2標準偏差の範囲

4. 考察

ストロンチウム同位体比は地質ごとに多様な値を持つことで知られる。なかでも、土壌・植物・水などの移動を伴わない物質のストロンチウム同位体比は地質の特徴と極めて良く一致している。一方、移動をともなうシカ・イノシシなどの野生動物は、半径 10～20km ほどの生活圏をとるため、複数の地質帯にまたがって植物や水を摂取することが多い。この様に、複数の地質帯が存在する地域に生息する動物のストロンチウム同位体比は、正規分布することが分かっている。本分析で得られた遺跡出土動物骨のストロンチウム同位体比について、正規性の検定を試みた結果、正規分布していることが示された。一方、広富林遺跡出土人骨は、正規分布していないことが示され、異なる地域で生活していた複数集団の存在が示された。在地の野生動物がとる範囲から統計学的に外れ値とされた個体は、他の地域集団からの移入個体として識別することが可能である。具体的には、遺跡出土動物のストロンチウム同位体比の 2 標準偏差の範囲から逸脱した場合、移入者の可能性があると認定している。この枠組みにしたがって、各遺跡出土人骨から移入個体を推定した結果、田螺山遺跡出土人骨で移入個体は検出されなかったものの、広富林遺跡出土人骨では、64 個体中 9 個体(14%)の移入者が判別された(図)。さらに、移入個体の性別を見ると、男性 1 個体以外はすべて成年女性であった。この結果は、新石器時代において女性に偏るような父系的な通婚儀礼があった可能性を示唆している。中国の新石器時代における人類集団の社会性として、母系社会から父系社会への転換期があったと考えられている。本分析で移民と推定された女性人骨の帰属年代は、崧沢文化期からみられることから、移民が検出されていない河姆渡文化期から、移民が検出される崧沢文化期にかけて、社会性の変化が生じた可能性が指摘できる。この様に、中国長江下流域の新石器時代において、人類集団の社会性の変化を人骨の化学分析から直接的にとらえた研究例は、本研究が初めてといえる。

岩石の凍結破壊防止のための樹脂処理の研究

—毛越寺庭園遣水の景石を事例として—

Study of surface treatment of stone for protection against frost damage
- garden stones in feeder stream in Motsuji Temple -

石澤 夏帆 、米村 祥央 、○石崎 武志(東北芸術工科大学)
Kaho Ishizawa, Sachio Yonemura, ○Takeshi Ishizaki (Tohoku University of Art and Design)

1. 緒言

岩手県平泉の毛越寺庭園遣水の景石は、石の割れや表面の剥離が激しいため保存処理が検討されている。石の劣化要因の中でも、凍結破壊は岩手県という寒冷地にある本例の劣化と関係していることが考えられる。毛越寺庭園遣水で激しく劣化している景石は泥岩であるとされているが、凍結破壊防止のための樹脂含浸処理の研究事例は凝灰岩が中心であり、泥岩についての検証は行われていないのが現状である。景石の樹脂含浸を行うにあたって、凝灰岩と泥岩は空隙率が異なるため、樹脂の浸透も異なると考えられる。本発表では、保存対策を考える上で基礎となる、岩石の空隙率・含浸方法・減圧含浸の際の減圧度と含浸率の関係等を測定したので、結果を報告する。

2. 毛越寺庭園の景石と凍結破壊

凍結破壊が生じる条件として、1)寒冷度、2)含水及び水分供給条件、3)岩質の3条件があると言われている[1]。それぞれの条件について調査・測定した結果を以下に示す。

1)寒冷度

凝灰岩の凍結劣化に関する実験から、温度が−4℃以下に低下する頻度大きいほど、凍結劣化が顕著に起こることが報告されている[2]。2015年11月2日から2016年5月31日の期間にデータロガーを設置し、測定間隔30分で毛越寺庭園遣水付近の気温を測定した結果を図1に示す。図から特に、1月から2月にかけて、−4℃以下に気温が低下する日が見られた。

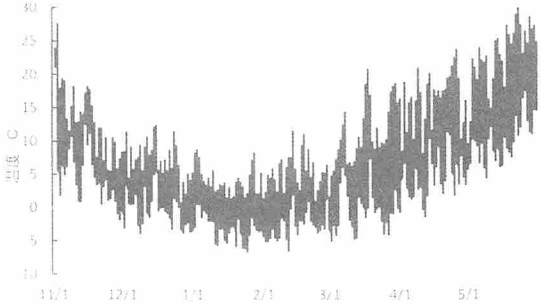


図1 毛越寺庭園遣水付近の気温

2)含水及び水分供給条件

景石が置かれている遣水には常時水が流れている。また、景石は土壌と接している(図2)ため、景石全面が外部から継続的に水分供給される環境にあると言える。

図2 遣水内の景石

3)岩質

景石と様々な凝灰岩の空隙率を比較したところ、凝灰岩と比較して、景石の空隙率が低いことが分かった。凝灰岩試料は、小樽軟石を用いた。

以上の点から、毛越寺庭園遣水の景石の劣化要因として凍結劣化の繰り返しが考えられる。また、景石は空隙が少ないため、凝灰岩と比較し凍結劣化自体のリスクは小さいと言えるが、樹脂含浸処理の観点からは、樹脂が浸透しにくく、凝灰岩と同じ方法では樹脂処理の効果が得にくいことが推測される。

3. 樹脂処理に関する実験

サンプルは同種のものを 3 点用意し、含浸方法は、岩石表面への塗布、浸漬、減圧含浸で行った。減圧含浸の際の真空度は 0.05 気圧とした。含浸比は以下の数式から求めた。

$$含浸比=\frac{W_2-W_1}{W_1}\times 100(\%)$$

W_1:絶乾重量　　W_2:湿潤重量

3.1 凝灰岩

a)蒸留水の含浸

塗布＜浸漬＜減圧の順に含浸比が増加した。減圧 24 時間で 30%近くに達し、飽和状態となった。

b)樹脂の含浸

蒸留水とほぼ同等の数値が得られたが、塗布の時点では蒸留水よりも若干少ない数値となった。

3.2 景石

a)蒸留水の含浸

3 点のサンプルの数値にばらつきが見られた。これは、サンプルの劣化度がそれぞれ異なることが原因であると考えられる。含浸比は最大で約 6%程度と、凝灰岩より少ないが、凝灰岩の結果と同様に塗布＜浸漬＜減圧の順に含浸比が増加した。

b)樹脂の含浸

数値にばらつきが見られるが、蒸留水の結果とほぼ同等の範囲の数値、含浸比の増加の挙動が見られた。

4. 考察

含浸方法については、2 種のサンプルどちらにおいても塗布より減圧含浸の方が有効であることが再確認された。また、蒸留水と強化用樹脂(OH100)の結果がほぼ同等であったため、水の浸透過程についての研究やデータが樹脂処理の際の樹脂の浸透解析等に大変有効であると考えられる。

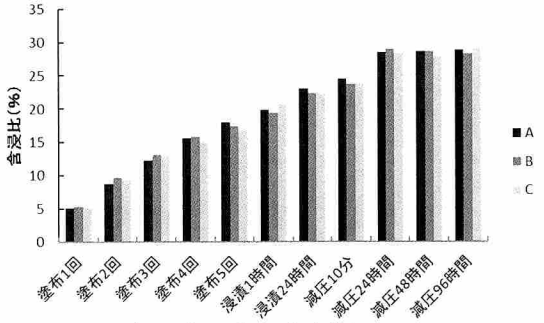


図3 凝灰岩の蒸留水含浸

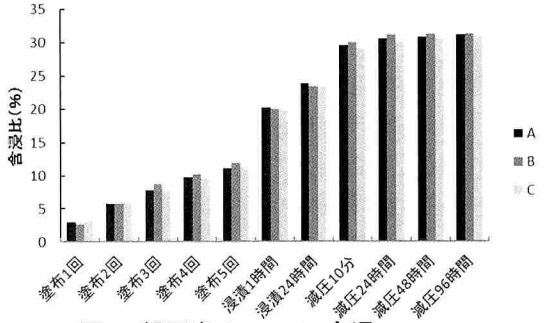


図4 凝灰岩の OH100 含浸

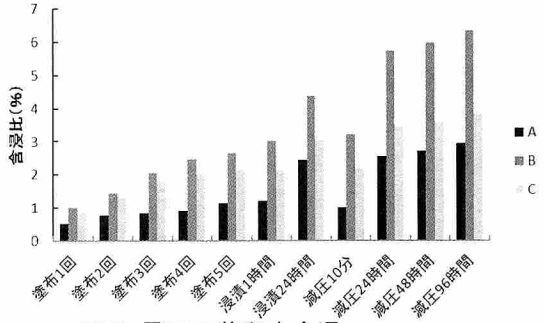


図5 景石の蒸留水含浸

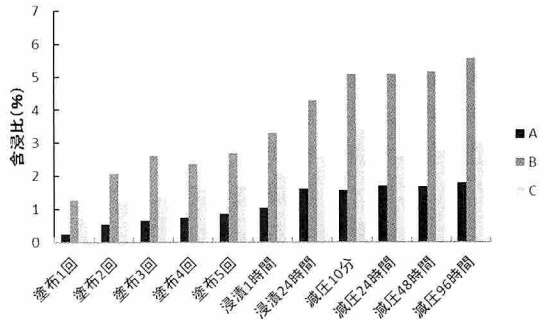


図6 景石の OH100 含浸

参考文献

1)福田正己, 三浦定俊, 西浦忠輝, 松岡憲知:石造遺跡の凍結破壊と樹脂によるその防止効果の実験, 保存科学, No.22, 1-14(1983)

2)三浦定俊, 福田正己:凍結－融解サイクル出現頻度の全国分布, 石造文化財の保存と修復, 33-40(1985)

津波被災紙資料から発生する臭気について
-安定化作業中の処理水の分析-

Study of unpleasant odor from paper documents damaged by tsunami
– Analysis of water used for treatment –

○内田優花（東京文化財研究所）・佐野千絵（同左）・赤沼英男（岩手県立博物館）
○Yuka Uchida, Chie Sano (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties),
and Hideo Akanuma (Iwate Prefectural Museum)

1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災に伴う津波により被災した地域文化財の数は、膨大である。岩手県立博物館や陸前高田市立博物館では 6 年を経た今でも被災資料の修復作業が継続されており、作業終了時期の目途は立っていない。常温での保管中、安定化処置作業中、さらに処置終了後の被災紙資料から悪臭が発生し、修復作業現場や保管の上での問題となっている。

岩手県立博物館では安定化処理作業中に異臭等の問題が発生した場合、後の検証のためにその処理水を取り置き冷凍保管している。悪臭発生の原因を探るため、前報[1] でガス分析を行い、酪酸、プロピオン酸などの悪臭物質、また一部の試料から簡易分析でアンモニアや硫化物を検出した。本報では 2016 年 6～7 月に紙資料の安定化処理作業中に異臭が発生した処置工程中で採取された処理水の分析を行ったので、その結果を報告する。

2. 安定化処理作業と処理水について

安定化処理作業とは、津波により被災した資料を安定的かつ長期に渡り保管できる状態にするために行われている作業をいう。資料の状態や形態により差異はあるものの、2017 年現在では基本的に、①乾式での泥落とし、②水道水による一次洗浄、③中性洗剤による脱脂、④次亜塩素酸ナトリウムによる殺菌、⑤水道水に漬けての脱塩（必要に応じて、最後に精製水を用いた超音波洗浄）の順で作業を行っている。

今回測定に供したのは、②～⑤の処置後に板間に数冊重ねた資料を挟み、上下から圧力をかけプレスして脱水した時に得られた処理水（以後、プレス液）である。

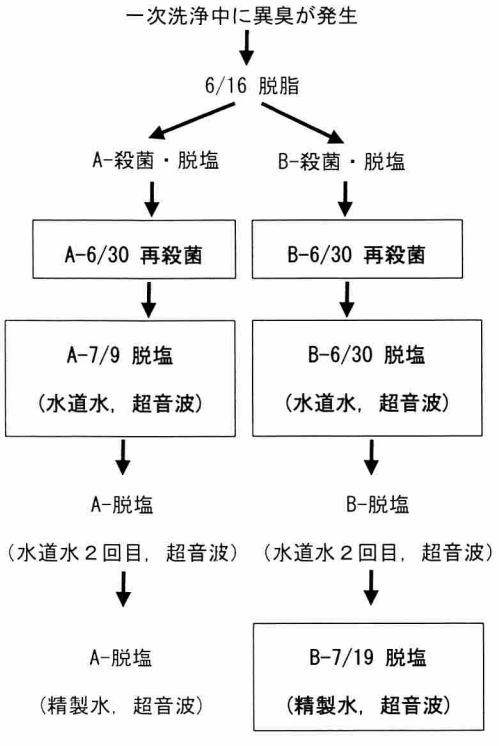


図 1. 測定に供したプレス液
（四角で囲んだもの）

3. 実験

冷凍保管していた 2016 年 6～7 月の各プレス液（図 1）を 2016 年 8 月に解凍し、その後ドラフト内にて常温保管していたものを試料として、前処理の後、陰・陽イオンの分析を 2017 年 3 月にイオンクロマトグラフィー（ダイオネクス社製

[1] 佐野千絵、内田優花、赤沼英男（2017）「津波被災紙資料から発生する臭気の分析と発生のメカニズムの推定」，『保存科学』，56，pp. 121-133.

ICS-5000）を用いて行った。このプレス液は処置ごとにプレスする圧力が異なること、一回の処置ごとの資料数や水の量が異なることから、イオン含有量についての考察に注意を要する。

4. 結果と考察

分析結果を表1に記す。フッ化物イオン（F^-）、亜硝酸イオン（NO_2^-）、リン酸イオン（PO_2^-）、リチウムイオン（Li^+）は検出限界以下だったため表には掲載しない。塩化物イオン（Cl^-）、臭化物イオン（Br^-）、硫酸イオン（SO_4^{2-}）、ナトリウムイオン（Na^+）、アンモニウムイオン（NH_4^+）、カリウムイオン（K^+）、マグネシウムイオン（Mg^{2+}）、カルシウムイオン（Ca^{2+}）、そして微量の硝酸イオン（NO_3^-）がプレス液に含まれていることが分かった。

表1. プレス液のイオン含有量（mg/L）

試料	陰イオン				陽イオン				
	Cl^-	Br^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
A-6/30 再殺菌	165.66	76.75	n.a.	21.23	131.44	5.37	1.36	1.59	25.03
A-7/9 脱塩（水道水，超音波）	1.17	n.a.	n.a.	0.92	1.33	0.52	0.30	0.20	1.13
B-6/30 再殺菌	214.13	102.07	n.a.	4.70	175.67	1.35	1.12	1.45	8.88
B-6/30 脱塩（水道水，超音波）	22.03	8.10	1.14	3.52	19.62	1.70	0.43	0.67	4.20
B-7/19 脱塩（精製水，超音波）	1.81	n.a.	0.63	1.34	1.91	0.93	0.71	0.29	1.55

Cl^-、Br^-、Na^+は、各試料のイオン濃度をクラスター分析すると同じクラスタに属しているため、起源が同じ海水であると推定した。

岩手県立博物館で安定化処理に使用されている水道水に含まれるイオン濃度は、Cl^-は 5.2、Na^+は 4.1、K^+は 0.4、Mg^{2+}は 1.1、Ca^{2+}は 4.9 mg/L と報告[2]されている。処置の進行とともに処理水中のイオン量が減少し、処置後には水道水より低い値になる傾向が確認できた。Cl^-については、海水中では約 19.0 g/L 含まれる[3]とされ、水道水の水質基準は 200 mg/L 以下[4]であるが、実際に処置した後の Cl^- 量はこれらの基準値よりも少ない。NO_3^- は水道水の水質基準では、硝酸・亜硝酸性窒素の合計が 10 mg/L 以下[4]と定められており、処置後の NO_3^- 量は問題ない。総じてプレス液中の無機イオン量については、処置後にはその量に問題はない状況になっていると考える。水道水中では検出されないのが通常で、消毒が不十分であることの指標となり、かつ異臭の原因として考えられる成分である NH_4^+ 量は、前報[1]の簡易分析で得た値よりも相対的に多量の検出となった。

謝辞

試料の分析につきまして、東京藝術大学 大学院美術研究科 古田嶋智子氏に大変お世話になりました。心より感謝いたします。

本研究の一部は JSPS 科研費 15K01141「津波被災文書資料から発生するにおい物質の同定とその対策」の助成を受けたものである。

[2] 木戸脇直 他（2013）「海水損古文書の脱塩方法について」，『岩手県立博物館研究報告』，29，pp. 21-32.
[3] 「国土交通省川の防災情報 水質」
http://www.river.go.jp/kawabou/reference/indexll.html（2017年3月29日アクセス）
[4] 「厚生労働省 水質基準項目と基準値（51項目）」
http://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/kijun/kijunchi.html
（2017年3月29日アクセス）

蛍光寿命測定による有機質文化財の経年劣化状態の指標化に関する研究　1

Research on indexing of aged deterioration state of organic cultural properties by fluorescence lifetime measurement　1

○佐々木良子（京都工芸繊維大学），　佐々木健（京都工芸繊維大学）
○Yoshiko SASAKI (Kyoto Institute of Technology), Ken SASAKI (Kyoto Institute of Technology)

1.　はじめに

蛍光寿命は周辺環境が同じ条件で物質固有の値を示し，蛍光スペクトルの発光・励起波長に加えて第三のパラメータとして，蛍光性染料などの非破壊的・非接触的な同定手法として用いることができる。また，周辺環境により微妙に変化するため，有機・高分子材料に含まれる蛍光性物質からの蛍光発光に対してこの寿命の測定を行うことで，その有機材料そのものの物理的状態を非破壊的に数値化することが可能である[1-3]。これまで，蛍光寿命測定を新たな非破壊分析手法として文化財分析の分野に導入する為の基礎研究を開始し，黄檗染め文化財資料から得られた黄檗の蛍光寿命とHPLCにおける成分解析の結果の関連性を指摘した[4]。

本報告では，染織資料の劣化の指標として，ベルベリン分子周りの環境変化を表す非破壊分析である蛍光寿命と資料の年代について考察する。

2.　実験

機器：浜松ホトニクスPLP10ピコ秒パルスレーザ（410 nm，半値幅80ps）を励起光源とした。浜松ホトニクスC-5094（波長走引幅250 nm）で分光した後に，浜松ホトニクスC4334ストリークカメラでPhotonを検出した。Delay及びPulse generatorはStanford research DG535を使用した。データは浜松ホトニクスU8167データ処理システムを用いて解析した[5]。

試料：黄檗（高砂製薬）を用いて染色した絹布を標準とし，文化財資料として日本産黄檗を用いた資料を測定に供した[5]。

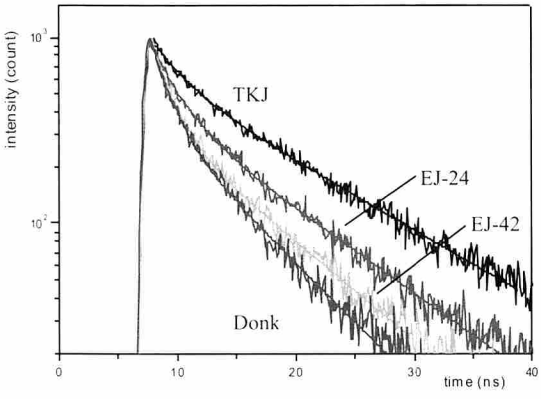


図 1　黄檗染め絹布の蛍光減衰曲線（対数表示：経年劣化資料（日本製）[4]
TKJ：現代標品（日本黄檗）
EJ-24：18C 刺繍裂
EJ-42：17C 小袖裂
Donk：14C 九条袈裟

3. 結果と考察

蛍光寿命を測定することにより，この分析がベルベリン分子の周辺環境の変化に極めて敏感であることを示してきた。さらに，絹繊維上の染料について，経年劣化資料を用いて，非破壊・非接触的な測定を行ったところ，経年による寿命の変化が観測されている（図 1）[4]。この結果性が示唆された。

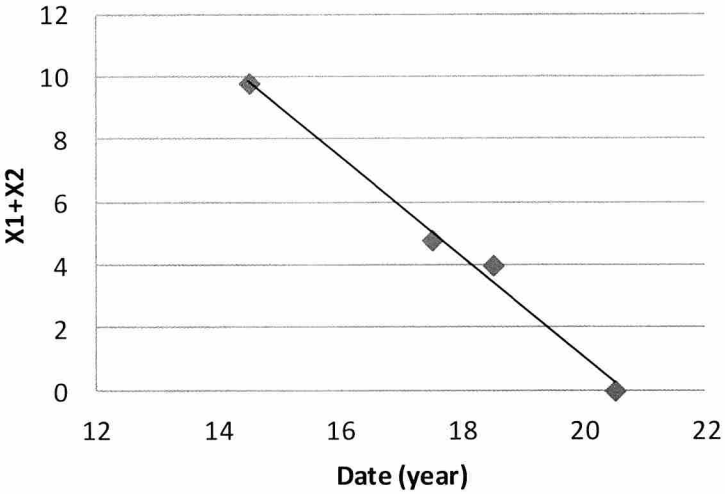


図 2　資料の製作年代とベルベリン劣化生成物量の関係 [6]

これまで経年劣化資料の HPLC よりベルベリン劣化生成物 Xn に注目し，これらの和が劣化の指標となりうるか，検討してきた（図 2）[6]。蛍光寿命は非破壊分析であり，破壊分析である HPLC とは測定原理も手法も全く異なる為，相互に検討することは，文化財資料の劣化状態を表すうえで非常に有意義であると考えられる。

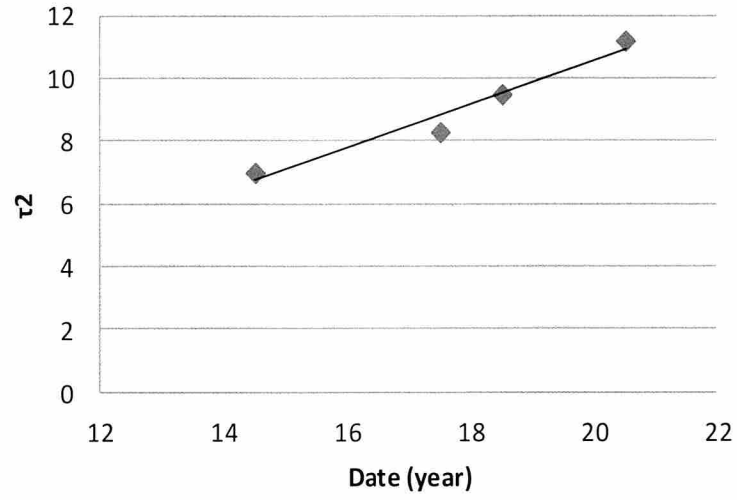


図 3　資料の製作年代と蛍光寿命の関係

HPLC から求めたベルベリンに対する劣化生成物の生成量（X1+X2）と資料の年代については，目視調査で劣化が軽微であると考えられた萌黄色系の資料ではある程度の相関がみられた。逆に，このラインから外れる資料は，経年劣化以上の劣化が進行している可能性が考えられる為 [6]，同じ劣化が軽微である資料について，ベルベリンに対する劣化生成物の生成量（X1+X2）とベルベリンの微細環境を表す蛍光寿命の値（τ2）を比較してみた結果(図 3)，理想的な条件ではベルベリンに対する劣化生成物と資料の年代との関係と同様に，両者に相関がみられる可能性が示された。

参考文献

1) Ken Sasaki *et. al. J. Org. Chem.*, 2006, **71**, 4872-4877.
2) Ken Sasaki *et. al. Chem. Commun.*, **2004**, 408.
3) Ken Sasaki *et. al. J. Amer. Chem. Soc.*, 2002, **124**, 1182-1183.
4) 佐々木　他　日本文化財科学会第 33 回大会研究発表要旨集 2016, 88-89
5) 佐々木　他　文化財科学会誌（考古学と自然科学）2012, **63**, 71-88
6) 佐々木　他　文化財科学会誌（考古学と自然科学）2017, 印刷中

謝辞：本研究は，科学研究費補助金（基盤研究（C））課題番号 16K01179 の成果の一部である。

建築外壁真鍮製金具周辺木部に対する調査：旧岩崎末廣別邸を対象に

Investigation of Wood Associated with Brass Components in Exterior Side of Architecture: In the Case of the Old Iwasaki-ke Suehiro-bettei Villa

○周 怡杉(筑波大学)、松井敏也(同左)、林田利之(富里市教育委員会)

○Zhou Yishan, Matsui Toshiya(University of Tsukuba),

Hayashida Toshiyuki(Board of Education, Tomisato City)

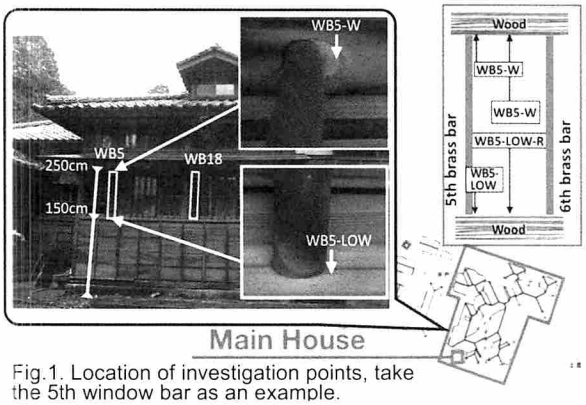


Fig.1. Location of investigation points, take the 5th window bar as an example.

1.Introduction

A whitening phenomenon of wood associated with metal components is commonly observed in Japanese historic architecture. In the Old Iwasaki-ke Suehiro-bettei Villa (Tomisato City, Chiba Prefecture, Registration Tangible Cultural Properties of Japan), this phenomenon was observed. In the previous investigation, the existence of metal oxalate compounds were confirmed in whitening wood adjacent to metal components[1].

In the exterior side of architecture, whitening discolouration was more significant at relative higher locations, especially in which influences from sunshine and precipitation are rare.

In order to figure out characteristics of wood adjacent to metal components at different height, wood(cedar) around the top side and bottom side(250 and 150 cm from ground) of brass window bars in the northern exterior side of the kitchen of the Main House were investigated.

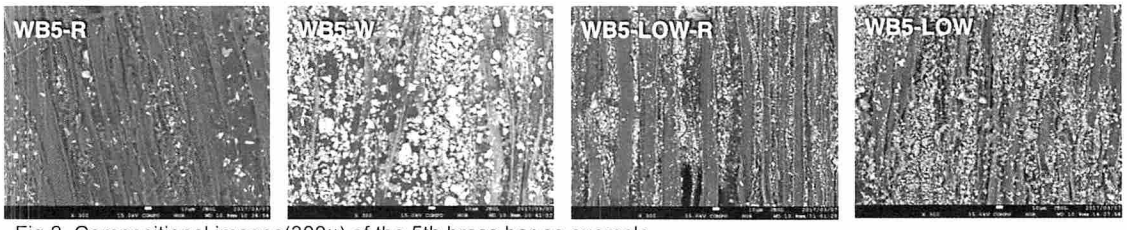


Fig.2. Compositional images(300×) of the 5th brass bar as example

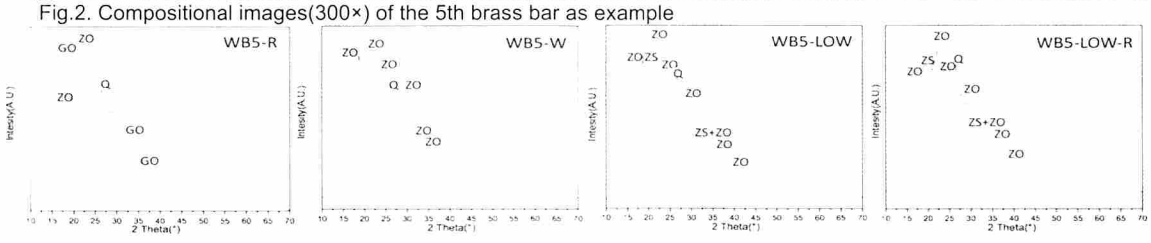


Fig.3. Results of XRD analysis, the example of the 5th window bar. ZO= zinc oxalate hydrate, GO= goethite, Q= quartz, ZS= zinc sulfite hydrate

2. Method

Wood adjacent to top side and bottom side of the 5th(WB5-W, WB5-LOW) and 18th(WB18-W, WB18-LOW) window bars from the east in the selected exterior side were investigated. In the middle of 5th and 6th, 18th and 19th window bars, 4 points were investigated as the reference(WB5-R, WB5-LOW-R, WB18-R, WB18-LOW-R).

Surface tissues of wood which were stuck with carbon tape were analysed by SEM-EPMA (JEOL JXA-8530F, 15kV/100nA, carbon coated), and which were sampled with scalpel were analysed by XRD analysis (Bruker AXS D8, 40mV/40mA, 0.5 sec/step) and FTIR-ATR analysis (PerkinElmer Spectrum One(B), 4 cm^{-1} resolution). Elemental investigation (Bruker

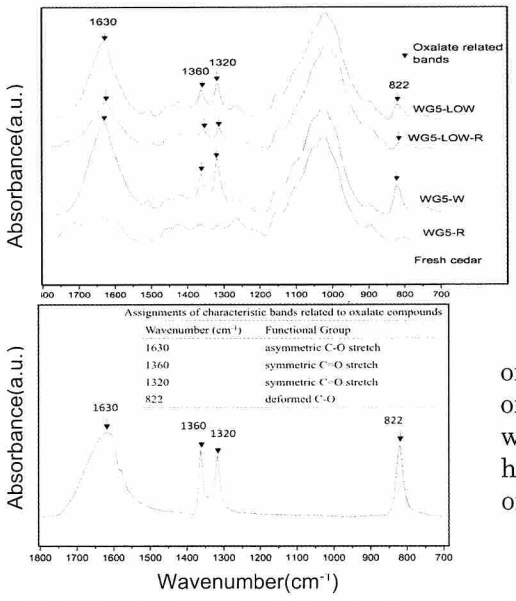


Fig.4. Results of FTIR analysis and reference spectra of Cu(Ⅱ) oxalate hemihydrate (Wako)

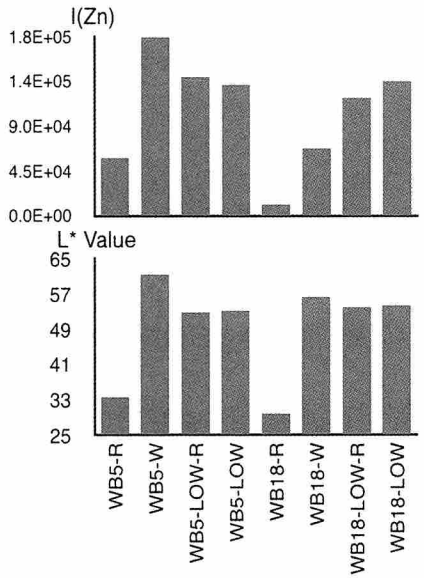


Fig.5. Histograms for I(Zn) and L* value

AXS, S1TURBO, 45s) and colorimetric measurements (Nippon Denshoku Industries, NF333, D65/10°,1976 CIE L*a*b*) were carried out in situ. In this research, the detected intensity of one element was applied to represent its relative element concentration. The L* value was applied to represent whitening degree.

3. Results and Discussion

The BSE compositional images of WB5 were shown in Fig.2. Quantities of particles scattered among wood tissues were observed except in images of WB5-R, WB18-R. Most particles observed in images of whitening points (WB5-W, WB18-W) were larger which implied that crystals might grow larger at the higher location. EPMA maps presented the coincidence of quantitative distribution of Zn element with the particles. Except for samples from WB5-R and WB18-R, results of XRD and FTIR analysis shown significant characteristic patterns of zinc oxalate hydrate and oxalate compounds related bands[2](Fig.3, Fig.4). Accordingly, attached particles observed in wood tissues might mainly consist of zinc oxalate compounds.

The histograms for detected intensities of Zn (I(Zn)), L* value presented significant differences between points at different heights(Fig.5). The 2 reference points at higher locations (WB5-R, WB18-R) presented rather lower I(Zn) than whitening points at the same height(WB5-W, WB18-W). On the contrary, I(Zn) in reference points at lower locations(WB5-LOW-R, WB18-LOW-R) were just slightly lower than points adjacent to brass bars(WB5-LOW, WB18-LOW), while with relatively high value. In the case of WB18, the I(Zn) of points at lower locations were even stronger than WB18-W. It might be attributed to more direct influences of sunshine and precipitation at lower locations. At lower locations, more metal ions were dissolved, then leached in wood, and ultimately evenly distributed in a relatively larger region around metal components.

In the case of WB5, L* value presented a similar tendency with I(Zn). However, in the case of WB18, the WB18-W point with lower I(Zn) than the 2 points at the lower location, presented the highest L* value. It seems that the most significant whitening discolouration of wood did not definitely relate to higher content of accumulated metal elements in wood.

Size of particles observed in compositional images implied a possibility that the roles of growth of zinc oxalate crystals, in other words, the formation and accumulation of oxalic acid in wood should be considered in following researches.

References

1) 松井敏也 周 怡杉, 林田利之: Research about whitening phenomenon of wood associated with copper and brass components of architecture: In the case of the old Iwasaki-ke Suehiro-bettei Villa (旧岩崎家末廣別邸). 第 66 回日本木材学会大会. 名古屋, 2016 of Conference,

2) Et Al. Austin Nevin: The identification of copper oxalates in a 16th century cypriot exterior wall painting using micro ftir, micro raman spectroscopy and gas chromatography-mass spectrometry. Journal Of Cultural Heritage Vol. 9(Issue 2), 154–161 (April–June 2008

氷点下における乾燥剤とともに密閉した出土木材の変化(1)

－形状と重量の変化－

The changes of excavated waterlogged woods sealed with desiccant agents in below freezing conditions(1) - The changes of shape and weight －

○中尾真梨子(公益財団法人福島県文化振興財団) 奥山誠義(奈良県立橿原考古学研究所)
○Nakao Mariko(The Culture Promotion Organization of Fukushima Prefecture),Okuyama Masayoshi(Archaeological Institute of Kashihara , Nara Pref.)

1. 諸言

筆者らは、小型で大量に出土する水浸出土木製品の保存処理への応用を主に想定し、特別な機械や薬剤を必要とすることなく、簡易で安価な、水浸出土木製品の新たな保存処理方法の開発として、乾燥剤を用いた出土木製品の凍結乾燥の有用性に関して基礎実験を進めている(【1】、【2】)。これを便宜的に「乾燥剤凍結乾燥法」と称する。これらの基礎実験から、乾燥剤凍結乾燥法は、寸法安定性において一定の効果が得られること、乾燥剤により乾燥速度が促進していること等を把握している。

しかし、乾燥状況の確認方法、処理終了点の決定法、保存処理後の強度、樹種及び器種への適応性の選択など多くの課題が残っており、保存処理方法としての適応性については検討が必要である。

本実験は、凍結乾燥環境下における水浸木材の寸法および重量の変化と、処理後の挙動について確認したものである。

2. 実験方法

実験の試料には、水浸出土木製品の中でも収縮や変形が起こりやすいとされる広葉樹材を使用した。(コナラ/含水率約850%) 試料は、心材、辺材が含まれる径約5cmの丸太状水浸木材を、厚み約3cmに加工し使用した。寸法安定性を確認するため、木口面の放射方向および接線方向にステンレス製の小釘を打った。本実験では、出土木材そのものの挙動を観察するため、試料にポリエチレングリコールを含浸させる等の強化は行わなかった。

乾燥剤凍結乾燥は、試料を乾燥剤と共に密閉し冷凍庫内で凍結乾燥させた。乾燥剤は、吸湿の有無を視認できる青色シリカゲル(Silica Gell, Medium Granular, Blue/和光純薬工業株式会社製)を使用した。シリカゲルの使用量は、試料全体を乾燥剤が満たす量である約210gとした。実験開始81日目、シリカゲルのほぼ全体が変色したため、これ以上の吸湿効果は望めないと判断しシリカゲルを交換した。また、使用した密閉容器の容量は約 570ml であった。冷凍庫は、安価に手に入る家庭用の直冷式冷凍庫(吉井電気株式会社製/アビテラックス ACF102)を使用し、−20℃に設定した。

また、乾燥剤凍結乾燥法との比較として自然乾燥を行った。自然乾燥は、室温環境下(温度約 20℃、湿度約60%)において乾燥させた。

重量は24時間ごとに計測した。寸法は処理前および処理後の他、随時計測した。

実験の終了点は、重量変化がなくなった時点とした。乾燥剤凍結乾燥では、実験開始169日目頃から、24時間ごとの重量変化率が−0.3%程度と少なくなったが、その後も僅かであるが重量の減少が認められたため、乾燥を続行した。実験開始250日目、重量の変化がなくなったと判断し、凍結乾燥を終了した。

3. 結果と考察

乾燥剤凍結乾燥を行った試料の処理終了時点での重量は6.01g であったが、処理後重量がやや増加し、6.18g 前後で安定した(図 2)。また、自然乾燥させた試料が原形をとどめないほど変化しているのに対して、乾燥剤凍結乾燥法で処理した試料はほとんど変化していないといえるが(図3、図5)、実験開始193日目の

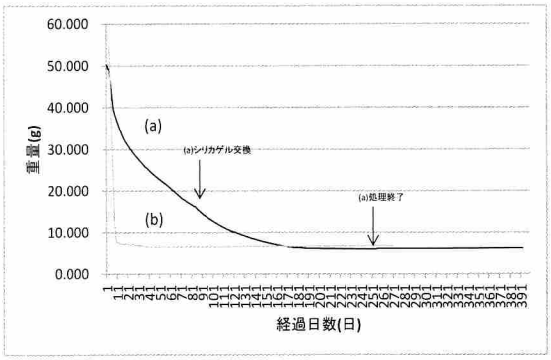


図 1:乾燥剤凍結乾燥法・自然乾燥の重量変化比較
(a)乾燥剤凍結乾燥法 (b)自然乾燥

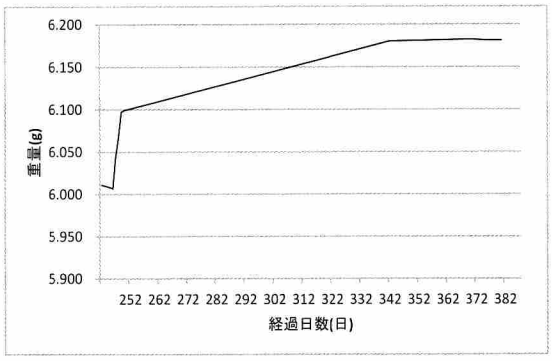


図 2:乾燥剤凍結乾燥法処理終了後の重量変化
(点線部分は予想曲線)

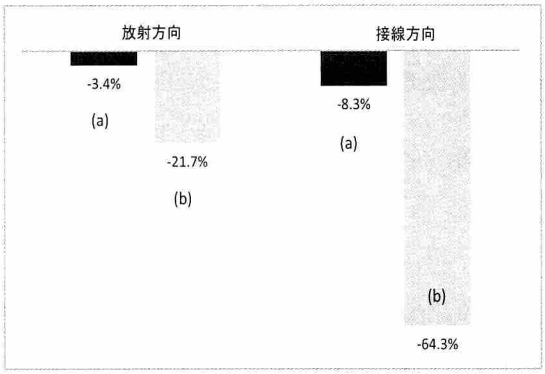


図 3:乾燥剤凍結乾燥法および自然乾燥の寸法変化率
(a)乾燥剤凍結乾燥法 (b)自然乾燥

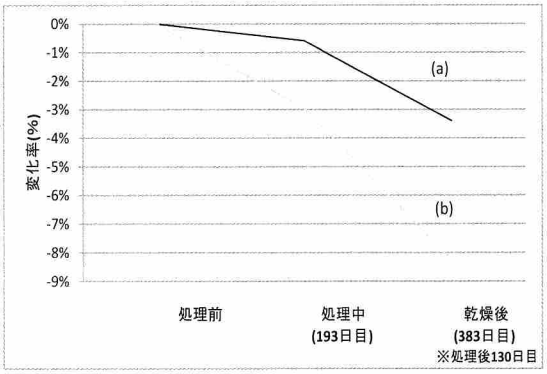


図4:乾燥剤凍結乾燥法の寸法変化率の経緯
(a)放射方向 (b)接線方向

寸法変化率は処理後 130 日目の寸法変化率と比較すると変化率が少ない(図 4)。

また、乾燥剤凍結乾燥した試料の木口面に 1 ㎜程度の微細なヒビ割れが確認されたことからも、乾燥剤凍結乾燥した試料は過乾燥であった可能性がある。

試料は処理前から心材に近い部分に割れが生じていたが、自然乾燥した試料は乾燥完了後に心材に近い割れ部分から破損した。乾燥剤凍結乾燥した試料も、心材に近い部分に割れが生じた(図 5)。目視での確認であるが、元々劣化が著しい試料側面は木口面に比較して収縮が大きいと考えられる。

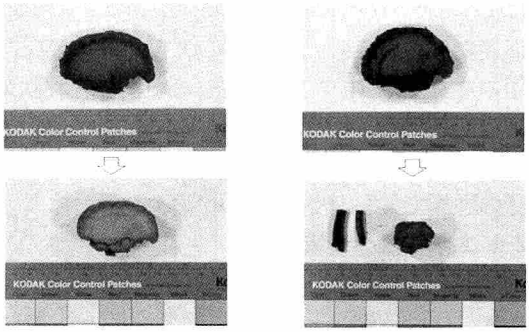


図 5:乾燥剤凍結乾燥法および自然乾燥の処理前後
写真(上が処理前、下が処理後)
(左)乾燥剤凍結乾燥法 (右)自然乾燥

自然乾燥と比較しても、寸法安定性、色調ともに良好であるため、今後の活用への可能性があるが、未だ課題は多い。現状では外形の変化のみの観察であるが、今後は内部の変化状況の確認や木取による状態変化等についても確認する方針である。

※本研究は、平成 28 年度日本学術振興会科学研究費補助金（挑戦的萌芽:No.15K12448）の成果の一部である。

参考文献

【1】中尾真梨子、奥山誠義、西山要一 2012 年『水浸出土木製品における乾燥剤凍結乾燥法の基礎的研究(Ⅰ)』日本文化財科学会第 29 回大会

【2】中尾真梨子、奥山誠義 2016 年『出土木製品乾燥剤凍結乾燥における重量と寸法の変化について』青陵第 148 号

出土木製品保存処理の省コスト・省エネルギー化に向けた研究（その4）

―太陽熱集熱含浸処理装置の製作と稼動―

Study of saving cost and energy of the waterlogged wood conservation treatment (4)
-Production and operation of impregnation system on the use of solar thermal collectors-

○伊藤幸司（大阪文化財研究所）、藤田浩明（同左）
北村良輔（株式会社寺田鉄工所）、今津節生（奈良大学）
○Kouji ITO, Hiroaki FUJITA(Osaka City Cultural Properties Association),
Ryosuke KITAMURA(TERADA-TEKKOSHO Co.Ltd), Setsuo IMAZU(Nara University)

1. はじめに

トレハロースの含浸処理法に関わり、大型出土木製品の保存処理を念頭に置いて、①自然エネルギーを用いた含浸処理設備、②使用溶液の再利用、③含浸手法、という3つの研究を進めている。今回は、自然エネルギーを利用した「太陽熱集熱含浸処理装置」の製作・設置が完了したので報告する。また、使用溶液の再利用について、2年間の試験稼働の結果も紹介する。

2. 太陽熱集熱含浸処理装置

太陽熱集熱含浸処理装置の初号機が3月末に完成、長崎県松浦市立鷹島埋蔵文化財センターに設置した。これは従来電気エネルギーに依存して加熱含浸していた出土木製文化財の含浸処理工程を、可能な範囲で自然エネルギーに切り替えるためのものである。

太陽熱集熱含浸処理装置は、太陽光中の赤外線を真空管ガラス内の選択吸収膜を用いて熱変換して熱媒を加熱する「太陽熱集熱装置」、その熱媒の熱を使って加熱・蓄熱する「熱交換蓄熱槽」、蓄熱槽内の熱媒によってパイプ内の熱媒を加熱・循環して含浸処理液を加熱する「放熱管」という3つの部分から成り、計測温度から各装置をコントロールする「制御装置」、機器の稼働効率を記録する「測定装置」を伴う。初号機に用いた熱媒はすべて水である。また、出土木製文化財を浸漬、含浸するための「含浸処理槽」を用意した。含浸処理槽は、太陽熱集熱効果が低下した際に稼働する電気ヒーターと、それに用いた電力量を測定する装置を備えている。この装置の有効性を大きく左右するのは太陽熱を集熱する装置と、その熱を蓄熱する装置の性能である。それぞれの概要を記す。

2-1 太陽熱集熱装置

集熱装置は真空管方式と平板方式があるが、平板方式の場合、外気温が低下して集熱装置との温度差が大きくなると放熱が著しくなる（熱効率低下）。特に冬季はその傾向が強くなり、常時高温水を使用する今回の場合、必要とする効果が得られない可能性が高い。よって、真空管方式を採用した。

2-2 熱交換蓄熱槽

槽内に2つの熱交換コイルを内蔵し、熱媒が間接的に熱交換を行う方式をとった。外気温 0℃時の蓄熱槽内の熱媒（300 リットル）の熱損失をシミュレーションし、80℃からの温度降下を 12 時間で 10℃以内に抑える性能を求めた。

装置の完成・設置から要旨集原稿入稿までの時間がないため、本稿には動作に関わる報告を載せることができないが、発表当日には得られたデータを紹介する。

3. 廃液再生装置の効果

中空糸膜フィルタで分液する装置を用いて、使用したトレハロース水溶液の汚れを取り除き再生した。ろ過は使用済トレハロース水溶液を 30～40%に希釈、20℃ほどに温度を下げて行った。2015 年度・2016 年度それぞれ 800 リットル・600 リットルをろ過して、600 リットル・400 リットル、計 1,000 リットル程を回収した。計算上

35%トレハロース水溶液 1,000 リットルの重量は 1,134kgほどで、うち 397kgがトレハロース重量である。375円/1kgならば 149,000 円程になる。使用した中空糸膜フィルタは 1 本 10 万円なので両者のみならば差引プラスとなり、省廃棄物だけでなく省コストにもつながった。

4. まとめ

太陽熱集熱含浸処理装置については、様々な設定で試験稼働、データの収集を行い、問題を洗い出して改良を加え、自然エネルギーの効果的な利用を図ってゆく。

廃液再生は、赤字を覚悟していたが思いがけずプラスとなった。ただし、再生前の廃液は pH が低下しており、液分離による再生処理ではこの回復には至らない。pH を上げる操作を行う必要があるのか否か現在実験を開始している。

当研究は平成 27～29 年度科学研究費助成事業(研究代表者:伊藤幸司　基盤研究B)「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究－自然エネルギー利用に向けて－」の成果によるものである。

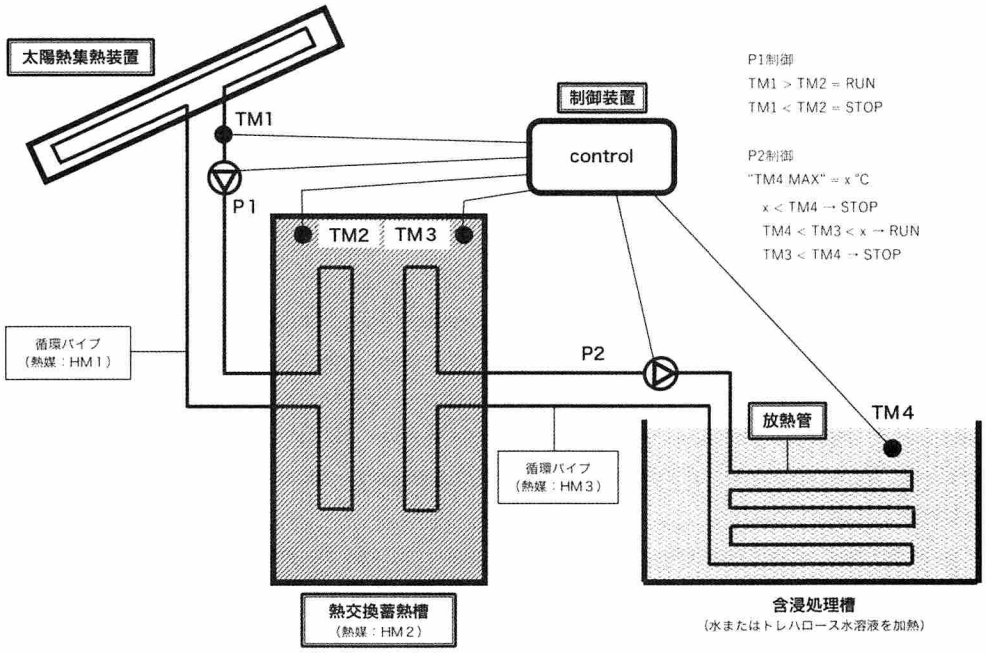


図1　太陽熱集熱含浸処理装置　概略図

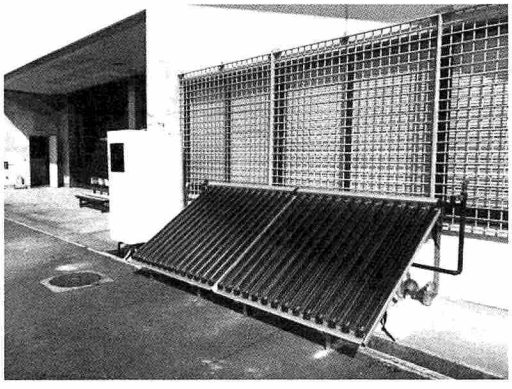


写真1　太陽熱集熱装置(パネル)と熱交換蓄熱槽

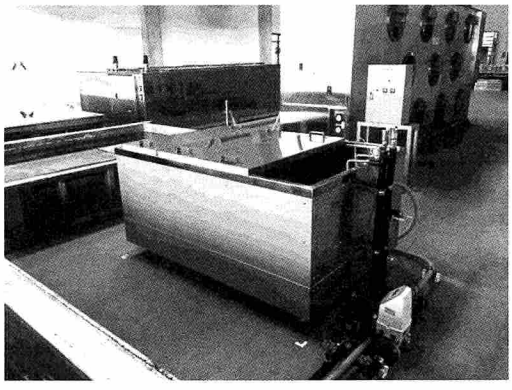


写真2　含浸処理槽

伝統な鉄再現実験で製鉄原料による鉄塊の材料学的特性

Material Scientific Characteristics of Iron ingot according to Reappearance experiment of traditional iron production

○ Namchul Cho, Jae-ung Jeong, Minjee Oh, Chaerin Bae *Hoyoung Kwon.

Department of Cultural Heritage Conservation Science, Kongju National University
* Woosuk Engineering Co., Ltd

1. Introduction

Experimental archaeological method was applied to analyze the phenomenon occurring under artificially controlled conditions relatively accurately and to observe the process of change at a glance.

A total of four smelting experiments were carried out according to the raw materials. The raw materials were ① raw steel (Pohang Gampo, Korea), ② iron ore (Kangwon Yangyang,, Korea), iron ore and CaO (③ iron ore 7, Limestone 3 ratio, ④ iron ore 9, Limestone 1 ratio,). The smelting furnace used for the experiment was made by referring to the circular smelting furnace of Jincheon - Seokjang,ri which is the largest iron production site of Baekje. In addition, the operation procedure was carefully recorded and quantified, and the raw materials and iron ingots were analyzed.

2. Reproduction process and result

The smelting furnace used in the experiment was also selected based on the circular furnace. The designed smelting furnace is cylindrical with a height of 135 - 140 ㎝ and an inner diameter of 30 ㎝. The furnace wall is made of three stages with defoamed clay, loess and limestone to have fire resistance. The diameter of the blowing pipe was 5 ㎝, the diameter of the discharging hole was 7 - 10 ㎝ and the blowing pipe was located more than 20 ㎝ from the bottom of the furnace. The discharge port was designed to be located at 7 - 10 ㎝ above the bottom of the furnace .

The pine charcoal was put into the smelting furnace designed in three stages and the furnace was completely dried and then the smelting work was started. After raising the temperature in the furnace to an average temperature of 1200 ℃ or more, the raw material was charged at 1 to 1.8 kg and charcoal at 1.2 to 2.0 kg at intervals of 8 to 12 minutes. The recoveries of the raw materials were 30.9% for sand iron and 15.1% for iron ore, 16.8% for 7: 3 raw materials and 15.8 % for 9: 1 raw materials (Table 1).

Table 1. Result of smelting experiment.

Experimental conditions		Experimnet process			
		① Sand Iron	② Iron Ore	③ 7 : 3	④ 9 : 1
Imput amount	Charcoal	155 kg	82.5 kg	90.0 kg	67.5 kg
	Iron ore	70.0 kg	99..0 kg	83.2 kg	81.8 kg
	Limestone	-	-	35.6 kg	8.1 kg
Number of input		70 times	66 times	66 times	45 times
Interval of input		10 min	10 - 11 min	8 - 12 min	10 min
Emission of slag		4 times	9 times3	8 times	2 times

Total working time	1020 min	729 min	705 min	493 min
Total air flow rate	1734㎥	1239.3 ㎥	1198.5 ㎥	831 ㎥
Average furnace internal temperature	1600 ℃	1574 ℃	1571 ℃	1508 ℃
Recovery ratio of iron	22 kg (30.9%)	15 kg (15.1%)	14 kg (16.8%	13 kg (15.8%)

3. Results of raw material analysis

As a result of the analysis of the principal components of the four raw materials, the total amount of iron in the content was 66.10 wt% and the iron amount in the content was 55.87 wt%. The amount of iron in the content is decreasing according to the amount of Limestone, and the four raw materials contain 0.48 – 0.59 wt% of TiO_2. As a result of the chemical analysis, it can be confirmed that the major compounds of raw materials are Magnetite and Hematite, and it is presumed that the magnetite type ore is weathered because the main phase is Magnetite. Major compounds of iron ore were identified as Magnetite. Pyrrhotite, Grossular and Epidote were detected at some peaks. Mixtures of the two species differ depending on the content of crude oil, but Experimental archaeological method was applied to analyze the phenomenon occurring under artificially controlled conditions relatively accurately and to observe the process of change at a glance. the main compounds were identified as Magnetite and Calcite.

4. Analysis of iron ingots

The microstructures were observed with a metallurgical microscope on the four types of iron ingots produced in the reproduction experiment. The sand iron produced in the steel is on the left side of the surface and the pearlite base is formed. The carbon content decreases toward the inside, and the ratio of ferrite increases (Figure 1-①) It is formed by needle-shaped ferrite (Figure 1-②). The large ferrite and pearlite structure were observed in the 7: 3 ratio of mixed raw material (Fig. 1 – ③), and the ferrite formed in 9: 1 ratio of mixed raw material showed some mixed pearlite in the ferrite base(Figure 1-④).

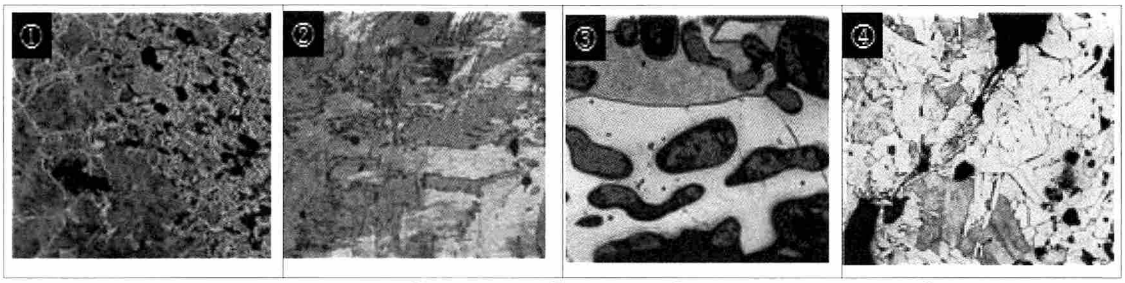


Figure 1. Microstructure of Iron ingot(①:Sand iron, ②:Iron ore, ③:Mixed matereial(7:3), ④:Mixed material(9:1)).

5. Conclusion

As a result of analyzing the steel produced by the metallurgical microscope, it was found that the iron steel smelted by cast iron was carburized part of the surface but most of it was near to the quartz. I see a close organization. In addition, as the mixing ratio of CaO increases, the impurities increase and the ferrite structure tends to become relatively large in the mixed raw material.

※ This research was supported by the National Research Foundation of Korea 'Traditional Culture Research and Development Project' (No. 2016M3C1B5906504)

PEGの溶出により汚損した出土木簡の修復

－PEGの除去と高級アルコール含浸および真空凍結乾燥による保存処理の再実施－

Restoration of wooden strips stained by elution of PEG: Re-conservation treatment with removal of PEG and reinforcing by higher alcohol impregnation and vacuum freeze drying

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

1. はじめに

1990年にポリエチレングリコール(PEG)を含浸のうえ真空凍結乾燥法により保存処理をおこなった出土木簡において、近年PEGの溶出による表面の汚損が認められた。これらの木簡は適切な温湿度環境を維持できる収蔵庫内で保管されていたことから、吸湿によるPEGの溶解のほか、PEG自体の劣化も影響した可能性がある。表面の汚損により墨書の判読が困難となっていることにくわえ、PEGの劣化により有機酸が生じ、木簡を損傷することが懸念された。そこで、汚損の認められた木簡33点について、含浸されたPEGを取りのぞくとともに、あらためて安定化のための保存処理を実施した。この再処理にあたっては、高級アルコール(HA)含浸と真空凍結乾燥を併用する手法を用いた。

2. 方法

木簡に含浸されたPEGは水溶性であるため、PEGを水に溶解させることにより除去を試みた。ただし、比較的乾燥した状態にある木簡を直接水中へ浸漬すると、表面の含水状態が急激に変化して物理的な負荷を生じ、破損することが懸念された。そこで、木簡を水中へ浸漬する前段階として、穏やかに吸湿させる「蒸らし」の工程を含む、下記6工程で再処理を実施した。

蒸らし　木簡に吸湿させる工程である。ステンレス製容器に底面から数cmの空間を保持するよう金網を敷き、PEGが溶出している木簡を静置した。木簡が直接水に触れないよう容器に浅く水を張り、ふたをして50℃に設定した恒温槽内で保持し、木簡を穏やかに吸湿させた。木簡の吸湿状況を確認するため、個々の木簡の重量を逐次測定した。例として、図1に本工程における重量測定の結果を大小の4木簡について示す。蒸らしの開始から概ね70時間後までに重量増加が緩慢となったことから、木簡が十分に吸湿したものとみなした。

水中への浸漬　吸湿した木簡を蒸留水に浸漬し、内部に含浸されたPEGを溶出させる工程である。PEGの濃度に応じて水溶液の屈折率が変化することから、手持屈折計(アタゴ製 MASTER-T)を用いてPEGを溶出させた液の屈折率(Brix)を測定することにより、PEGの溶出を確認した。PEGの溶出を促進し、またカビ等の繁殖を防ぐため、適宜水の交換をおこなった。液の屈折率が大きく変化しなくなった時点をこの工程の終点とした。

脱水　木簡内の水分を第三ブチルアルコール(*t*-BA)によって置換する工程である。*t*-BAの水溶液に木簡を浸漬し、順次*t*-BAの濃度を上げることで水分の置換をおこなった。十分に脱水をおこなうため、100%の*t*-BAへの浸漬は2回実施した。なお本工程以降は、HA含浸と真空凍結乾燥による木製遺物の通常の保存処理方法と同様である。

高級アルコール含浸　固化剤としてのHAを木簡に含浸する工程である。HAの*t*-BA溶液に木簡を浸漬し、順次HAの濃度を上げることで木簡内部への含浸を図った。なお、本工程は温度を60℃に設定した恒温槽内で実施した。

真空凍結乾燥　真空凍結乾燥機を用いて、木簡中のHAを冷却固化させるとともに、溶媒に用いた*t*-BAを除去して乾燥させる工程である。乾燥の期間は木簡の寸法や木取り等に応じて調節した。

表面処理　木簡表面に残存した余分なHAを熱風により除去する仕上げの工程である。厚みのある一部の木簡において、熱風を当てた際、PEGとみられる物質がわずかに表面に現れる場合があったため、ペーパータオル等に吸い取らせることで取り除いた。

3. 結果および考察

再処理前後の木簡の様子を図 2 に示す。再処理前の木簡では、PEG の溶出により表面が不均一な濡れ色を呈しており、一部については、墨書の判読が著しく困難な状況であった。また、ほとんどの木簡の表面はしっとりと湿り気を帯びた状態であった。今回おこなった再処理により、木簡表面の濡れ色が軽減され、墨書の視認も容易となった。再処理前にみられた表面の湿り気もなくなり、通常のHA 含浸と真空凍結乾燥を併用して保存処理をおこなった木製遺物と比べても遜色のない仕上がりとなった。したがって、今回の木簡の再処理では総じて良好な結果を得られたものと考えられる。

HA は水に不溶の材料であることから、HA が含浸された木製遺物は比較的湿度の影響を受けにくいとされている。ただし、今回の再処理では、一部の木簡において表面処理時に PEG とみられる物質が溶出した。蒸留水に木簡を浸漬することでPEGの除去を図ったものの、今回の工程ではPEGを完全には除去できなかったものとみられる。再処理された木簡を今後保管する上でも、温湿度環境について一定の配慮が必要と考えられる。木簡を蒸留水へ浸漬する期間や、PEG が十分に除去されたことを判断するための手法について、今後さらに検討していく必要がある。また、再処理前後における赤外線画像による墨痕の見え方の比較などもおこなう予定である。

4. おわりに

考古遺物の保存処理は、「可逆性のある」材料と方法でおこなうのが原則とされている。保存処理後の遺物に劣化や破損などの問題が確認された場合に、処理をやり直せるようにするためである。本研究における出土木簡の再処理は、そうした保存処理のやり直しの好例といえよう。過去に PEG を用いて保存処理された木製遺物のなかには、現時点で同様の問題を生じている例が多数ある。保存処理後の遺物を定期的に観察するとともに、必要に応じて再処理の実施を検討すべきあろう。

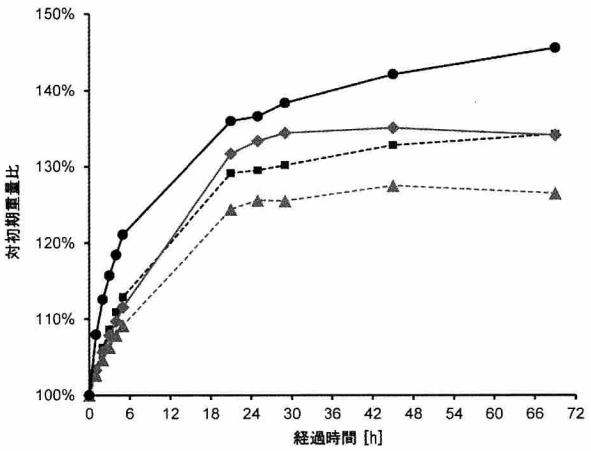


図１ 蒸らし工程における４木簡の重量変化

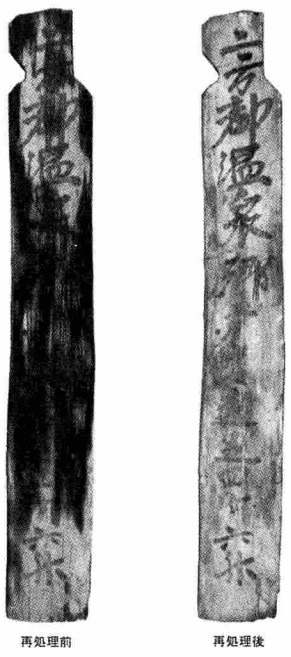


図２ 再処理前後の木簡の様子

謝辞

木簡の写真掲載にあたり、豊岡市立歴史博物館 但馬国府・国分寺館 加賀見省一様に多大なるご協力をいただきました。ここに記して深謝申し上げます。

氷点下における乾燥剤とともに密閉した出土木材の変化(2)

－内部圧力と重量の変化－

The changes of excavated waterlogged woods sealed with desiccant agents in below freezing conditions - The changes of Internal pressure and weight －

○奥山　誠義(奈良県立橿原考古学研究所)、中尾　真梨子(公益財団法人福島県文化振興財団)
○Okuyama　Masayoshi(Archaeological Institute of Kashihara, Nara Pref), Nakao Mariko(The Culture Promotion Organization of Fukushima Prefecture)

1. 緒言

水浸出土木製品に対しては、従来までの保存処理方法に比較して省エネルギー・低コストでの保存処理が行える糖アルコール法やトレハロース法が広く用いられるようになってきている【1】。水浸出土木製品の保存処理法は、置換法と乾燥法に大別することができ、先述の糖アルコール法やトレハロース法は前者に属し、後者には真空凍結乾燥法が挙げられる。真空凍結乾燥法は、冷凍及び真空(減圧)環境を作り出すため冷凍機と資料室(資料庫)、コールドトラップが必要であり、ある程度の設備が必要となる。乾燥法においては、現在のところ真空凍結乾燥法に代わる方法はない。

筆者らは、主に小型の出土木製品を対象に想定し、特別な機材や薬剤を必要とすることなく、簡易で安価な水浸出土木製品の「乾燥法による」保存処理方法として、乾燥剤を用いた出土木製品の凍結乾燥(以下、乾燥剤凍結乾燥法と称す)の有用性に関して研究を進めている【2, 3】。本研究では、氷点下環境において乾燥剤と共に密閉保管した水浸出土木製品およびその環境の変化を調べることを目的として、氷点下環境に乾燥剤と共に密閉保管した水浸出土木製品の寸法および重量と密閉容器内圧力の変化について検討をおこなった。

2. 実験方法

実験に用いた木材は、針葉樹(スギ)と広葉樹(アカガシ亜属)の出土木材である。詳細は表1に記す。乾燥実験は針葉樹からおおよそ20×10×50mmの実験片1点、広葉樹から35×20×40mmの実験片2点を各々作製し、実験前の三次元形状計測と重量測定(飽和重量)をおこなった。その後は、3点の試料を上皿天秤に載せ、1,000gのa型シリカゲルと共に容量22ℓの上口ガラスデシケーターに密閉し、-30℃に設定した業務用冷凍庫に納めた。上口デシケーターにはゴム栓を介してデシケーターコックを装着し、そこからシリコンチューブを導いてマノメーターを装着できるよう細工した。不定期に重量の変化を記録し、ある程度の期間を経た時点でマノメーターを装着しデシケーター内の真空度を測定した。

表1　実験供試試料について

試料	樹種	出土地	木材の年代	飽和含水率
針葉樹 (A)	スギ	奈良県高取町	奈良～平安	541%
広葉樹 (B)	アカガシ亜属	奈良県橿原市	中世	1083%

3. 結果と考察

乾燥剤乾燥開始後重量測定をおこなった。開始直後の重量減少は緩やかで、7日経過後から急激に重量減少が進み、16日目から再び重量減少が緩やかになった。以降緩やかに減少する傾向を示した。急激な重量減少の期間は、機器トラブルによって冷凍庫内温度が一時的に上昇していた(最高45.7℃)時期に相当した。急激に重量減少した原因は、温度が上昇し試料木材中の水分が蒸発することにより密閉用器内の相対湿度が上昇し、シリカゲルが急激に水分を吸収した結果と考えられる。16日目以降46日目前後まで徐々に庫内温度が低下すると共に、試料の重量減少は緩やかながら進行した。46日目以降は庫内温度

がほぼ一定になると共に試料の重量減少がさらに緩やかになった。以降はほぼ一定の割合で減少が続いた。重量減少に伴う密閉用器内の圧力変化を調査するため、27 日経過した時点で圧力測定をおこなった。その結果、外気圧と141Pa(1.0575Torr)の差圧を確認した。僅かな減圧状態にあったことを確認した。

本研究結果より、実験条件と重量減少、圧力変化の傾向を把握することができたが、これは限定的な条件下における結果と考えることもできるため、今後引き続き、他の条件下における重量減少と寸法安定性の評価をおこなう必要がある。

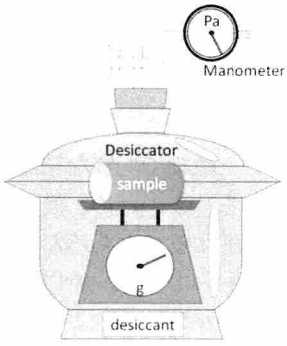


図 1　実験模式図

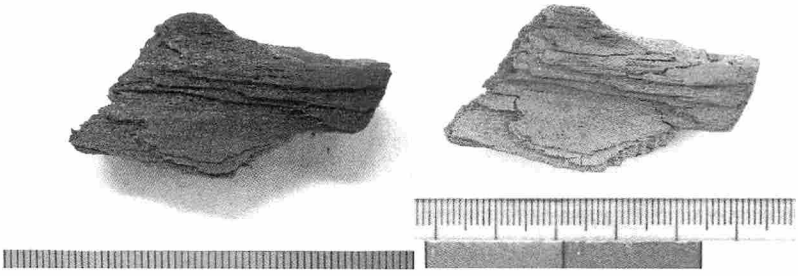


図 2　針葉樹試料の実験前後の形状（左：実験前、右：実験開始 129 日後）

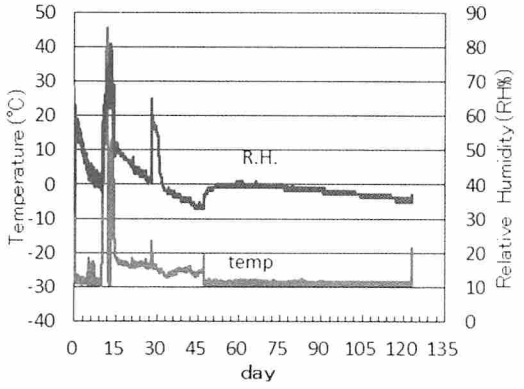


図 3　密閉用器内の温湿度変化

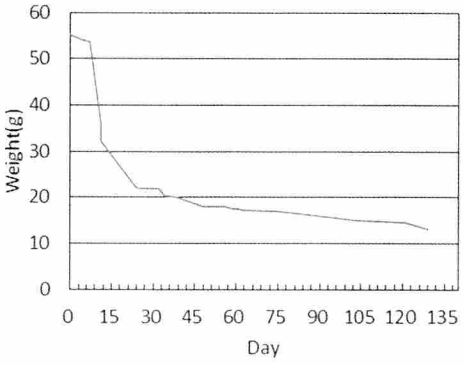


図 4　試料（3 点合算）の重量変化

表 2　重量変化

	実験前	実験後	減少重量(g): (c)
	重量(g)：(a)	重量(g): (b)	c=a-b
針葉樹（A）	11.5	3.7	7.8
広葉樹（B-Ⅰ）	27.4	5.8	21.6
広葉樹（B-Ⅱ）	17.2	3.2	14

参考文献

【1】伊藤幸司「保存処理の動向と展望－木質遺物－」、考古学と自然科学、第 71 号、p.31-51、日本文化財科学会、2016

【2】中尾真梨子、奥山誠義、西山要一「乾燥剤凍結乾燥法における基礎的研究Ⅰ」『日本文化財科学会第 29 回大会研究発表要旨』、p.292-293、2012

【3】中尾真梨子、奥山誠義、「出土木製品乾燥剤凍結乾燥における重量と寸法の変化について」『奈良県立橿原考古額研究所彙集　青陵』148 号、p.5-8、2016

本研究は、平成 28 年度日本学術振興会科学研究費補助金（挑戦的萌芽:No.15K12448）の成果の一部である。

トレハロース含浸処理法の展開 ―非結晶状態の利用―

Development of trehalose method -Utilization of amorphous state-

○伊藤幸司(公益財団法人大阪市博物館協会　大阪文化財研究所)・三宅章子(株式会社　林原)・赤田昌倫(九州国立博物館)

Kouji ITO (Osaka City Cultural Properties Association), Akiko MIYAKE (Hayashibara co.,Ltd.), Masanori AKADA (Kyushu National Museum)

1. はじめに

糖類を用いる含浸処理法の場合、結果の良否を分けるのは結晶化の工程である。微細で均質な結晶を速やかに生成することにより木製文化財を寸法安定性良く強化することができる。このため、濃度と温度の管理で過飽和状態におき、さらに風乾することなどによって結晶化を促進する。もちろん非結晶状態が“ゼロ”というわけではないが、より多く結晶させることを目論んだものである。特に糖アルコール含浸処理法の場合はその必要性が高かった。これは使用するラクチトールの性状によるもので、非結晶状態から吸湿し、トラブルとなる三水和物結晶を生成するからである。これに対してトレハロースにはラクチトールの三水和物に相当する結晶は存在せず、通常の環境下で結晶させれば二水和物結晶を生成して安定する。更に、トレハロースは非結晶状態（ガラス）の安定性が他の糖よりも高く、食品業界では「ダレにくい蜜飴」として多用されている。これはガラス転移点温度が高いことによる。伊藤はこの点に着目し、透明度の高いガラス状態にすることによって「赤い布を赤い色に仕上げる」ことに成功した（第33回大会発表要旨集P248-249)。

今回の発表では、結晶工程で結晶・非結晶の比率を意図的に変えて固化する手法、外観上の効果、固化の状態の観察について報告する。

2. トレハロースの性質

トレハロースの粉末には結晶と非結晶がある。結晶とはトレハロース分子が規則正しく整列し、最も安定な状態である。一方、非結晶とはトレハロース分子が整列する間もなく、水分が抜けて固まった状態である。砂糖で言えば、結晶の例は氷砂糖、非結晶はべっ甲飴が挙げられる。

トレハロースには無水物と二水和物の２種類の結晶形があることが知られている。無水物結晶は100℃以上の温度帯で過飽和溶液から析出させるか、二水和物結晶を 80℃～90℃で真空乾燥して脱水することで得られる。また、無水物結晶は不安定で、湿気を帯びると二水和物結晶に容易に変換する。二水和物結晶は 100℃以下の温度帯で過飽和溶液から析出させると得られる。トレハロース一分子に水が二分子ついた結晶で、吸湿しにくい安定な結晶である。

他方、トレハロース水溶液を急激に乾燥させたり凍結乾燥させたりすると非結晶になる。非結晶にはラバーとガラスがある。ラバーは流動性がある「水飴」状態で、ガラスは流動性がない「キャンディー」の状態である。ラバーになるかガラスになるかは「物質のガラス転移温度」と「含有する水分量」で決まる。トレハロースのガラス転移温度（119℃）は他の二糖類に比べて非常に高い。トレハロース非結晶の含有水分が 0%のとき、ガラス転移温度以下ではガラス状態、ガラス転移温度以上ではラバー状態となる。トレハロース非結晶の含有水分が増えると、ガラス転移温度は下がる。また、トレハロースをラバー状態で長時間放置すると安定な二水和物結晶が析出し始める。

3. ガラス化を目的とした手法

トレハロース含浸処理法の場合、対象資料の傷み具合に応じて必要な最終含浸濃度（資料中に生成させる固形分）を変えることができる。一般的に、脆弱な資料ほど高濃度まで含浸することが多く、高濃度にまで含浸すれば表面で析出する結晶も多くなる。布のようにテクスチャが繊細な資料は析出

した結晶を除去する作業が困難で、反面、十分に取り除かないと資料の色彩は損なわれる。そこで、保管・活用に耐える程度の“最小限の含浸”と“ガラス化させる”ことによって、表面含浸結晶の析出と、見かけ上の“白色化”を抑え、表面処理を行わない方法を考案した。

処理手法としては、従来の「何%まで含浸する」というような考え方にとらわれず、布の場合ならば20%程度の低濃度のトレハロース水溶液を噴霧し、熱風で水分を蒸発させて濃縮する。これを必要回数繰り返して高濃度にしてガラス化する。つまり、短時間のうちに遺物の中でトレハロース水溶液の濃縮を図るのである。どの程度まで繰り返すかは対象資料の遺存状態によるので、触りながら、様子を見ながら判断する。手法としては単純で、短時間で終わるので安易に考えられがちだが、その“行為”を真似ているだけでは不十分である。トレハロース含浸処理の基本的な方法を十分に理解すること、資料状態を適正に判断することが必要である。この方法は“木簡の削りくず”にも有効である。

4. 外観の観察

写真１・２は前出の赤い布の糸である。表面には微細な結晶が付着しているが、糸自体には飴状のものが染み込んでいるように見える。

5. マイクロ CT を用いた観察

Ｘ線マイクロＣＴ撮影用にガーゼ（綿）に 50%溶液を含浸し、結晶化の手法・非結晶化の手法で固化したものを作成、Ｃ１・Ａ１とした。得られた画像からＣ１は糸内部にＸ線吸収の大きい結晶様のものが多く分布する。対してＡ１はＸ線吸収の大きい薄層が糸表面を覆っていることが分かる。

6. まとめ

トレハロースを意図的にガラス化して遺物を固化、保存する方法は研究の端緒に就いたばかりである。今後は、結晶・ラバー・ガラスという状態の理解を深めるとともに、ガラス状態の評価とその有効な利用方法を検討してゆく。

外観の観察は株式会社ハイロックス前川泰司氏の協力を得た。Ｘ線ＣＴ撮影は九州国立博物館の装置を用いて赤田が行った。

当研究は平成 27～29 年度科学研究費助成事業（研究代表者：伊藤幸司　基盤研究Ｂ）「トレハロース法による海底遺跡出土文化財の保存処理研究－自然エネルギー利用に向けて－」の成果を含む。

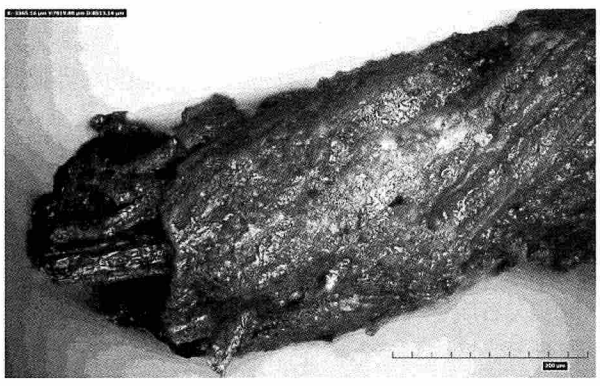


写真１

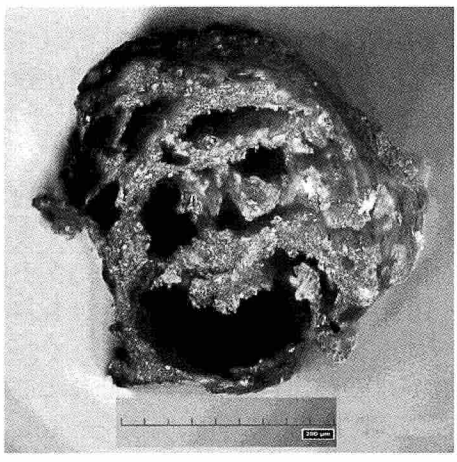


写真２

写真３　Ｃ１

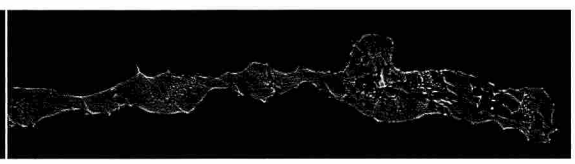


写真４　Ａ１

可搬型X線回折分析装置による煉瓦造文化遺産の塩類析出に関する調査

Investigation of salt crystallization on brick cultural heritage using portable X-ray diffraction analyzer

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

1. はじめに

建造物や記念物等の文化財の劣化要因の代表例として、塩類の析出が挙げられる。そして、塩類析出の問題が懸念される文化財の保存対策を検討するためには、保存環境の調査と析出している塩類の分析が必要である。

文化財表面に析出した塩類は、サンプリングを行い、それらを分析機器のある研究機関に持ち帰り分析を実施することが可能である場合も多い。しかし、析出した塩類を採取する際に、その塩類の種類と採取時期によって、またその採取法が不適切であると、その箇所に新たな塩類が析出する等の新たな劣化を引き起こす可能性がある。また、塩類析出状況の分布を把握するためには相当数の試料が必要であるが、採取した塩類を分析装置を有する研究機関等へ持ち込むまでの環境の変化、そして実際に分析するまでの時間の経過により、塩類の種類によっては水和・脱水和が生じる恐れもある[1)]。以上のような問題点を克服する方法として、可搬型分析装置を現地に持ち込んで、試料採取をせずにその場で分析を行う方法が考えられる。

ところで、一般的に文化財の分析調査では、貴重な文化財への損傷を最小限に抑えるために、試料採取が許されず、非破壊・非接触を大前提とした手法を要求されるケースが多い。また、調査を実施したい文化財の輸送が困難な場合も多い。このような状況を鑑みて、東京文化財研究所では平成27年度に可搬型X線回折分析装置を導入した。本研究では同装置を煉瓦造文化遺産であるINAXライブミュージアム「窯のある資料館」に持ち込んで、析出している塩類の分析調査を行った。そして、サンプリングした試料に対して行った詳細な分析結果[2)]と比較することにより、同装置のオンサイト分析における有効性と将来的な非破壊・非接触調査の可能性について検討した。

2. INAXライブミュージアム「窯のある資料館」での分析調査

愛知県常滑市にあるINAXライブミュージアムで資料館として公開されてきた「窯のある資料館」では、大正10年につくられた建造物と煉瓦造の倒焔式石炭窯、そして煙突が保存されている。今回の調査で、博物館から許可を得て、窯内外壁面および建物外にある煙突から計182点の析出塩類を採取し、据置型X線回折分析装置(パナリティカル社製、「X'pert PRO」)を用いて分析を行った[2)]。また、オンサイト分析の有効性を検証するために、182点のうち17点の箇所について、以下に示すように、可搬型X線回折分析装置を用いて分析調査を実施した。

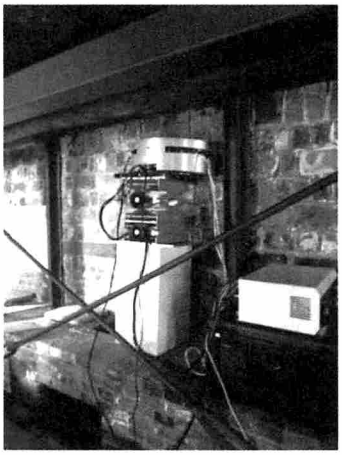


図1：可搬型X線回折分析装置を用いたオンサイト分析

3. 分析条件

可搬型X線回折分析装置（理研計器社製、「ポータブル複合X線分析装置XRDF」）[3]を用いて、オンサイト分析を実施した。

同装置のX線管球にはクロム(Cr)のターゲットが用いられており、分析中の管電圧と管電流はそれぞれ35kVと0.8mAである。今回の調査では分析条件として、θのステップ角度Δθを0.2°、各ステップの計測時間を2s、2θの測定範囲を30°～120°と設定して分析を行った。図1に可搬型X線回折分析装置を用いたオンサイト分析の様子の一例を示す。

4. 分析結果

ここでは、可搬型X線回折分析装置から得られたスペクトルと据置型X線回折分析装置から得られたスペクトルとの比較を行った。例として図2では、サンプリングをして据置型X線回折分析を行った結果、テナルダイト(thenardite, Na_2SO_4)とエプソマイト(epsomite, $Mg_2SO_4 \cdot 7H_2O$)が検出された分析箇所に関して、可搬型X線回折分析装置から得られたスペクトルとの比較を行った。可搬型X線回折分析装置と据置型X線回折分析装置のX線管球ではそれぞれCrとCuをターゲットとして用いているため、両者を直接比較するために、可搬型X線回折分析装置から得られた分析結果の2θの値を適切に変換して図2を作成した。可搬型X線回折分析装置から得られたスペクトルは据置型X線回折分析装置から得られたスペクトルを良く再現しており、本研究の考察で重要なテナルダイト(thenardite, Na_2SO_4)とエプソマイト(epsomite, $Mg_2SO_4 \cdot 7H_2O$)の検出を十分に行うことが可能である。

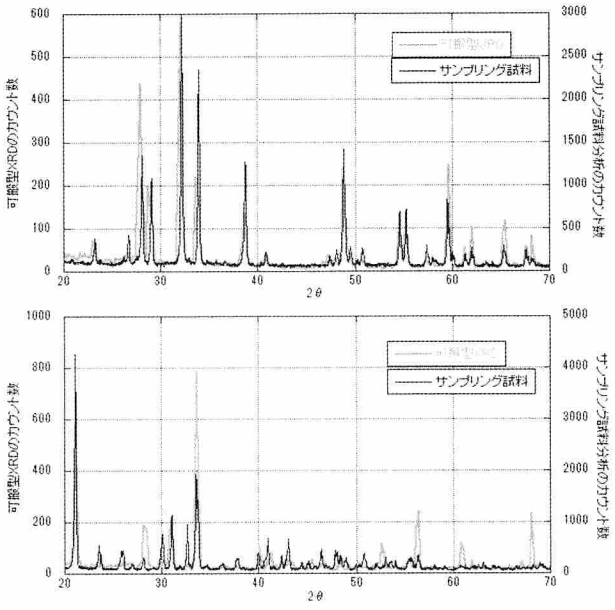


図2：可搬型X線分析装置と据置型X線回折分析装置から得られた分析結果の比較

これらの結果から、可搬型X線回折分析装置を用いることで、サンプルを採取することなくオンサイトで析出塩類の現状を同定できることを確認した。

謝辞

INAX ライブミュージアムの住宮和夫館長、竹多格主任学芸員のご協力を得て、本研究のための調査を実施することができました。ここに記して、感謝致します。

参考文献

1）吉田夏樹、松浪良夫、永山勝、坂井悦郎：温度条件が硫酸ナトリウムによるモルタルの塩類風化に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文集 32(1)、pp.677-682（2010）
2）佐々木淑美、犬塚将英：INAXライブミュージアム「窯のある資料館」における保存環境と塩類析出に関する調査、日本文化財科学会第34回大会　（2017）
3）犬塚将英、早川泰弘、皿井舞、藤岡穣：可搬型X線回折分析装置を用いた銅造釈迦如来坐像（飛鳥大仏）の材質調査、保存科学 56 pp.65-75（2017）

人工劣化による疑似出土木材の調製(2)

Preparation of quasi buried wood by artificial degradation (2)

○山口 繁生 (公益財団法人 元興寺文化財研究所)
○Shigeo Yamaguchi (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

出土木製品は樹種や木取り、劣化状態が多岐にわたるため、最適な保存処理方法を選択することが困難な場合がある。しかし、保存対象と同等な劣化状態にある擬似出土木材を調製することが可能になれば、最適な保存処理方法を選択する助けとなる。さらには、今後の新規保存処理方法の開発においても、標準試料として使用できると考えられる。そこで本研究では、現生材を人工的に劣化させ、出土木材を模した擬似出土木材を調製する方法の開発を試みた。針葉樹(スギ・ヒノキ)を用いたこれまでの研究において、前処理としてフェントン反応によって現生材を劣化させることで、現生材に対してセルロース分解酵素を反応させられることを明らかにしてきた(山口 2016)。本年度の報告では、擬似出土木材調製方法を用いて針葉樹及び広葉樹(ケヤキ・イチイガシ)を劣化させた際の含水率の変化、及び、調製した擬似出土木材の化学組成分析の結果について報告を行う。

2. 試料及び方法

2. 1. 試料調製

スギ(*Cryptomeria japonica*)、ヒノキ(*Chamaecyparis obtusa*)、ケヤキ(*Zelkova serrata*)、イチイガシ(*Quercus gilva*)の心材より 20 × 20 × 10 mm^3 (接線方向 × 半径方向 × 軸方向)の大きさの直方体を切り出し、試験片とした。

2. 2. 擬似出土木材調製方法

フェントン反応による処理は、6% H_2O_2, 0.9mM $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 50mM 酢酸緩衝液(pH4.2)を用い、50°C で反応させた。反応時間は 24 時間または 48 時間、48 時間処理を行った際は 24 時間でフェントン試液の交換を行った。処理後は流水及び減圧により洗浄を行った。分解酵素による処理には糸状菌 *Acremonium cellulolyticus* 由来のセルロース分解酵素を用いた。50mM 酢酸緩衝液(pH4.8)の溶液中に浸漬し、液温 50°C、反応時間 24 時間で処理を行った。劣化処理の評価は処理前後の含水率の変化で行った。

2. 3. 化学組成分析

擬似出土木材(スギ・ヒノキ)の化学組成分析を行った。分析は、ホロセルロースの含有率を亜塩素酸塩法で測定し、クラーソンリグニン含有率を硫酸法で測定した。

3. 結果及び考察

3. 1. 擬似出土木材調製過程での含水率の変化

スギ、ヒノキ、ケヤキ、イチイガシの現生材を用いて i) フェントン反応処理 48 時間、ii) セルロース分解酵素処理 24 時間×3、iii) フェントン反応処理 24 時間、iv) セルロース分解酵素処理 24 時間×3 を行った。この間の含水率の推移を図 1 に示す。この結果より、広葉樹でも針葉樹と同様

の劣化処理で含水率の増加が起きることが確認された。またどの樹種においても、酵素処理4-6回での含水率の増加量が 1-3 回よりも著しく大きい。これは劣化が進むことにより、酵素が結合できる基質が増えたためと考えられる。

この劣化処理により、含水率~400%(スギ)、~300%(ヒノキ)、~200%(ケヤキ)、~200%(イチイガシ)の擬似出土木材が調製された。しかし、含水率が上がるとともに試験体の強度が著しく下がり、特にスギにおいてはハンドリングによって一部が崩れる状態となった。このため、今後さらに高含水率の擬似出土木材を調製するには、ハンドリングによる崩壊の影響が少ないより大きな試験体を用いる必要性が考えられた。

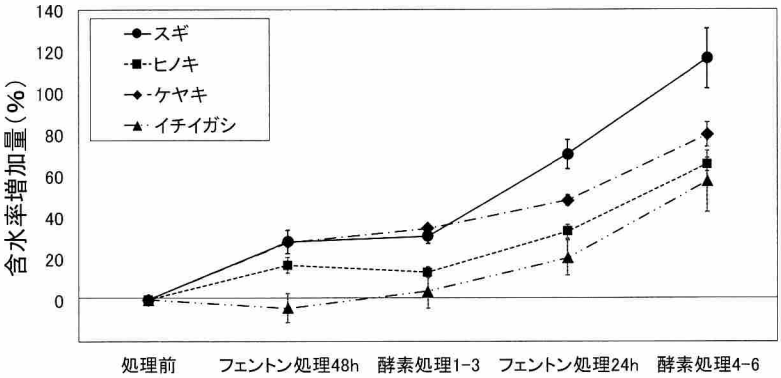


図 1　劣化処理による含水率の増加

3. 2. 化学組成分析

擬似出土木材の化学組成分析値を表 1 に示す。比較として、現生材の文献値を括弧内に示した。この結果より、現生材に比して有意にホロセルロース含有率が減少し、それに伴いクラーソンリグニンの含有率が増加していることが確認された。よって、本研究の擬似出土木材調製方法によりセルロースの選択的な分解が起きていると考えられた。

表 1　擬似出土木材の化学組成分析値

	スギ	ヒノキ
ホロセルロース(%)	60.7 (73.3)	65.5 (69.3)
クラーソンリグニン(%)	37.3 (32.3)	33.8 (29.6)

文献値は木材科学実験書(中外産業 1989)による

4.　まとめ

フェントン処理と酵素処理を併用した擬似出土木材調製方法が広葉樹においても適用できることが明らかになった。また化学組成分析の結果、フェントン反応処理とセルロース分解酵素処理によりセルロースの選択的な分解が起きていることが確認された。しかし、現在用いている試験片の大きさではより高含水率の擬似出土木材を調製することは難しい。よって今後は、より大きな試験片を劣化させる設備及び処理方法の検討を行う必要がある。

＜謝辞＞ 本研究は JSPS 科研費 15H06920 の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

奈良県森林技術センターより試料をご提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

＜参考文献＞山口繁生「人工劣化による疑似出土木材の調製 1」日本文化財科学会第 33 回大会要旨集 (2016)

金属製品の保存処理に用いる新規樹脂について(2)

The new protective coating material for conservation treatment of metal objects (2)

○山口 繁生[1]、山田 卓司[1]、川本 耕三[1]、植田 直見[1]、山岡 奈美恵[1]、塚本 敏夫[1]、小杉山 大輔[2]
([1]公益財団法人 元興寺文化財研究所、[2]石岡市教育委員会)
○Shigeo Yamaguchi[1], Takashi Yamada[1], Kozo Kawamoto[1], Naomi Ueda[1],
Namie Yamaoka[1], Toshio Tsukamoto[1], Daisuke Kosugiyama[2]
([1]Gangoji Institute for Research of Cultural Property, [2]Ishioka city board of education)

1. はじめに

現在、金属製品の保存処理にはフッ素樹脂「V フロン一液マイルド クリヤー」(大日本塗料株式会社、以下Vフロン)、及びアクリル樹脂「Paraloid B72」(DOW Chemical Company 以下B72)、「NAD-10V」(DOW Chemical Company)が使用されている。これまでに、発表者らはVフロンに代わるフッ素樹脂として「アクアトップ F クリアー」(大同塗料株式会社、以下アクアトップ)の検討を行ってきた。樹脂溶液の粘度測定、及び試験板への樹脂コーティング試験において、アクアトップは V フロンと同様の粘度、及び膜厚・鉛筆硬度・付着性を示した。これにより、V フロンと同様の処理工程で保存処理ができると考えられた(山口 他、2015)。今回新たに、V フロンとの IR スペクトルの比較、及び V フロン・B72 との塩水噴霧試験、出土遺物(石岡市鹿の子 C 遺跡)を用いた劣化促進試験における比較を行ったので報告する。

2. 試料及び方法

2. 1. 樹脂溶液、及び試料の調製

樹脂溶液は、アクアトップ・V フロンをクレンゾル、B72 を酢酸ブチルで希釈して調製した。
標準試験板はサイズ 50×20×0.8mm^3 の JIS G 3141 SPCC-SB 適合鋼板(冷間圧延鋼板)を用いた。サンドペーパー(#400)研磨、アセトンによる脱脂後、樹脂溶液(アクアトップ・V フロン:20%、B72:16%)にディッピングして樹脂コーティングを行った。出土遺物の保存処理は、i)クリーニング、ii)樹脂含浸×3、iii)表面の余剰樹脂除去、iv)塗布×3 の順で行った。含浸にはアクアトップ・V フロンは 20%、B72 は 16%の樹脂溶液を用い、塗布には含浸用樹脂溶液の 2 倍希釈溶液を用いた。

2. 2. 試験方法

赤外吸収スペクトル: 全反射フーリエ変換型赤外分光光度計 Spectrum Two (Perkin Elmer)を用い、分解能 4cm^{-1} にて測定を行った。試料にはそれぞれの樹脂溶液の固化物を用いた。
塩水噴霧試験: 標準試験板を設置した 0.5×0.5×0.5m^3 の噴霧室に、超音波噴霧器を用いて 5% 水酸化ナトリウム水溶液を噴霧した。4h/day で噴霧を行い、試験板の変化を観測した。錆びの発生状況に違いがでたところで試験片を取り出した。ただし、膜がうまく形成されない試験板のエッジ部分は除外して判断した。
劣化促進試験: 蓋を閉めたタッパー内の底に水を入れたシャーレを置き、その上に遺物を静置し、促進環境とした。促進環境の温湿度条件は 20°C、90%(rh)である。この条件で試料の経時変化を観測し、1 ヶ月で試料を取り出した。

3. 結果及び考察

3. 1. 樹脂及び樹脂溶液の比較

樹脂の IR スペクトルを図 1 に、樹脂溶液の写真を図 2 に示す。図 1 より、両者の IR スペクトルは

非常に似ており、溶質の分子構造は非常に似通ったものであると考えられた。しかし、図 2 に示したようにＶフロンは白濁しているのに対し、アクアトップは澄明な液体である。また、Ｖフロンでは沈殿物が生じるのに対しアクアトップでは生じない。このことから、アクアトップの方がより安定した状態で溶媒に溶け込んでいると考えられた。

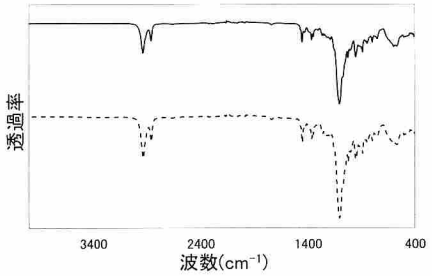


図 1. 赤外吸収スペクトル（下：Ｖフロン、上：アクアトップ）

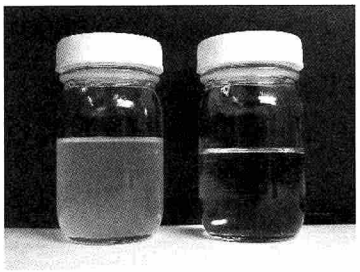


図 2. 溶液の比較（左：Ｖフロン、右アクアトップ）

3. 2. 塩水噴霧試験

塩水噴霧 22 日後の標準試験板を図 3 に示す。この結果より、アクアトップの防錆性がＶフロンより優れていることが明らかとなった。さらに、参考比較したB72 に対しても優位であった。また、噴霧中の表面観察から、B72 に比してアクアトップ・Ｖフロンの撥水性が優れていることも観察された。

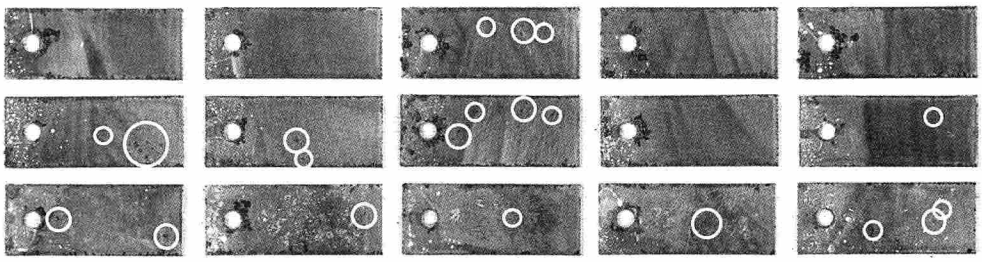


図 3. 塩水噴霧試験結果（22 日）（上段：アクアトップ、中段：Ｖフロン、下段：B72、〇印：錆発生箇所）

3. 3. 劣化促進試験

保存処理後の遺物表面の様子は、3 種類の樹脂で大きな違いは見られなかった。経時的に遺物表面の観測を行ったところ、1ヶ月でメタルを含有する試料から目視で確認できる錆玉が発生した。この結果は 3 種類の樹脂全てで同じであり、樹脂による差は観測されなかった。これまでの研究において、促進条件下では保存処理が不十分な試料は 1 晩で錆玉を析出することが確認されており、本試験で行った 3 種類の樹脂による保存処理が十分な効果を発揮していることが確認された。

4. まとめ

フッ素樹脂アクアトップと Ｖ フロンを比較した結果、溶液の安定性、及び標準試験板を用いた塩水噴霧試験でアクアトップの優位性が確認された。出土金属遺物を用いた促進試験では大きな差は観測されなかった。これらの結果より、今後アクアトップを用いて出土金属遺物の保存処理を行うことに問題はないと考えられた。

参考文献： 山口繁生、山田卓司、川本耕三、植田直見「金属製品の保存処理に用いる新規樹脂について」 日本文化財科学会第 32 回大会要旨集 （2015）

石造文化財における析出物抑制対策の効果と課題

An inhibiting effect and problem of the crystal in stone object of cultural property

○星野玲子（鶴見大学）・橋本直樹（逗子市教育委員会）

○REIKO HOSHINO ・NAOKI HASHIMOTO

1．はじめに

石造文化財における塩類風化の中で、石材表面を傷つけ破壊する軟質の析出物の抑制対策が求められている。神奈川県逗子市の史跡まんだら堂やぐら群（図１）もその一つである。まんだら堂やぐら群は、中世の墓地または供養のために岩盤に掘られた約 150 穴の横穴状遺構で、岩盤の凝灰質砂岩は脆く強化処理や岩接着などの保存工事を進めている。

図１．まんだら堂やぐら

2．析出物の発生状況

気温・湿度の低下する冬場になると硫酸マグネシウムの柔らかい結晶が横穴の壁・天井・床、石塔表面に析出し、結晶の重みや成長圧が表層剥離や摩耗を引き起こし、製作当初の痕跡が失われつつある。石塔の部材は、床面や横穴内の壇などと接する底面に析出する傾向が高く、底部からの水分の吸放出が関与していることがわかる。

3．抑制の効果と課題

安価で入手が容易なビニールシート、ラップ、気泡緩衝材を使用し、２種類の方法で析出物の抑制を試みた。

＜方法１＞表面をビニールシート・ラップ・気泡緩衝材で覆う

横穴の壁面や移動不可能な状況の石塔に対し、表面を覆って岩石表面の吸放出を極力抑えたところ、析出物の発生をほぼ抑制することができた（図 2）。10～1 月の覆いの内側と外側の温度は差が小さいものの、湿度は覆いの内側がほぼ 90%後半であるのに対し覆いの外側は 11 月に 80%代となり、その後１月まで 40～60%代となった。2～9 月の覆いの内側は２月の 10℃前後から緩やかに上昇し、最高気温は 25.3℃であった。湿度は時折 60%代に下がることもあるが、概ね 90%代で６月以降はほぼ 90%代を推移した。岩石表面は水分を含む色で、覆いの内側に水滴の見られる箇所もあった。図３は気泡緩衝材を石塔表面に密着させていた箇所である。析出物の有無の境が気泡緩衝材の凹凸の形状に沿って現

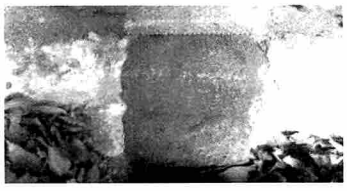


図 2．壁面（凝灰岩）の効果

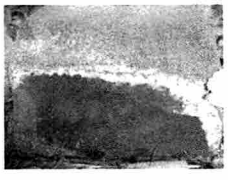


図 3．石塔表面（安山岩）の効果

れていることからもその密着度の重要性が伺える。石材表面と覆いの間に僅かでも隙間があるとそこに結晶が析出し、効果は全く得られなかった。

図4の凝灰岩製の部材は、析出物によって下部から徐々に摩耗していたが、ラップと気泡緩衝材により結晶化を抑制し保湿された状態になった。そこで1年中表面を覆ったままにしたところ、図5の白線より下に9月頃からコケが生えた。また、析出物がまださほど析出しない10月にビニールシートの内側にのみ結晶が現れた壁面があったが、これについては現在検証中である。

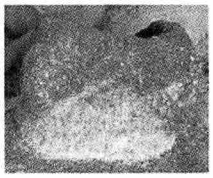


図4. 析出物の発生

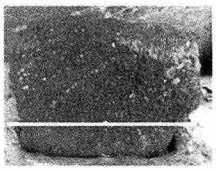


図5. コケの生育

＜方法２＞移動可能な石塔の下にビニールシート・気泡緩衝材を敷く

横穴内には多くの凝灰岩・安山岩製の石塔が納められている。図6のように地面と接する部材の下部ほど塩類による劣化の傾向がみられるため、部材の下にビニールシートや気泡緩衝材を敷き、下部からの水分供給を遮断したところ、1年以上が経過しても析出物は全く発生しておらず(図7)、ビニールや気泡緩衝材で遮断された側は方法1と同様保湿状態である。両者の方法から既に石材内部に塩類が含まれた状態であっても、水の移動を減らしたり、結晶化に至らない水分量の維持により被害を抑えることができると明らかになったが、この方法2では水分の供給が遮断されたことで結晶化に加え過度の乾燥による表層剥離が起きないか経過観察中である。

図6. 下部の劣化事例

図7. ビニールを敷く

４．まとめ

岩石表面を隙間なく凹凸に沿って覆うことで、すぐに析出物の抑制効果を得られる。しかし、高湿度の状態が保持されることでコケの生育しやすい状況にもなり得るため、まずは応急措置として塩類が析出しやすい時期にのみ行うとよい。

また、このまんだら堂やぐら群には数百個の石塔の部材がある。中には劣化が進行し脆弱化しているものも多いが、予算や時間などの関係上すぐに全てに強化処理を施すことは難しく、また強化処理をしても塩類の析出を完全に抑えることはできない。脱塩処理もその後再び塩類が供給される環境では意味がない。しかし、ビニールや気泡緩衝材のように安価で入手しやすいものを石塔の下に敷くだけで保護効果が得られる。厚手の石やコンクリートの上に石塔を乗せて同様の効果をもたらしている例もあるが、水を通さない薄手の素材を1枚敷くだけで、目立たず中世以来の本来の状況を再現して展示・公開できるため、今後はまずこの方法を採用し保護していくことを検討している。

参考：第38回文化財保存修復学会「石造文化財表面に発生する析出物の抑制に関する研究」(星野・橋本)

土質遺構の保存手法に関する研究(1)

Study on the Conservation Method of Soil Structural Remains

○李　素妍(鳥取大学)、奥　智紀(鳥取大学)
○LEE Soyeon (Tottori University), OKU Tomoki (Tottori University)

1. はじめに

鳥取大学の国際乾燥地研究教育機構では、砂丘保全・活用プロジェクトの一環として砂丘に立地する遺跡の調査とその公開・活用に関する研究をおこなっている。鳥取市福部町の直浪遺跡から採取した土壌に強化剤を含浸して試料を制作し、耐候性を評価するために2015年より曝露実験を行っている。曝露台の周辺には温湿度データロガーを置いて環境調査も実施しているので、本発表ではその研究成果を報告する。

2. 研究方法

鳥取市福部町に位置する縄文時代から古墳時代の直浪(すくなみ)遺跡から採取した土壌を本実験の試料に用いた。土壌は濡れている状態で砂利などを含んでいたので、これを乾燥させてふるいを使用して試料を整えた。強化剤は3つを使用した。主成分がケイ酸エチルエステル(商品名:OH100、OM50)と OM25(OH100 と OM50 の混合により制作)を使用した。土壌と強化剤の混合比は 5:1 であり、これらを混ぜてプラスチック容器(110×80×48 ㎜)に入れて自然乾燥して供試体をつくった。図 1 に供試体の写真を示す。評価方法は写真撮影、重量、体積、密度、吸水率および一軸圧縮強度である。針貫入試験機により一軸圧縮強度をもとめた。針貫入試験は針の貫入長さが10㎜に達したら貫入力を読み、針貫入勾配を計算して一軸圧縮強度を判定する。本研究の供試体は 10 ㎜に達する前に一部の供試体が破損する恐れがあり、全ての供試体に貫入針が 2 ㎜の深さに貫入したら貫入力および一軸圧縮強度をもとめた。

図 1　強化剤を施した供試体

一軸圧縮強度推定式は次式[1)]のとおりである。

回帰式　y=0.978x +2.621(相関係数 0.914)

y:一軸圧縮強度の対数値

x:針貫入勾配(NP＝貫入力(N)/貫入量(㎜)の対数値

(回帰式は天然岩石 114 個、セメント処理試料 50 個でのデータによるものである。)

上記の評価方法を実施した供試体は鳥取大学の国際乾燥地研究教育機構(鳥取市浜坂に所在)において曝露実験をおこなっている。1 年に 1 回供試体を回収して評価実験をして曝露台周辺の温湿度を確認している。データロガーはホボプロ V2 を使用した。

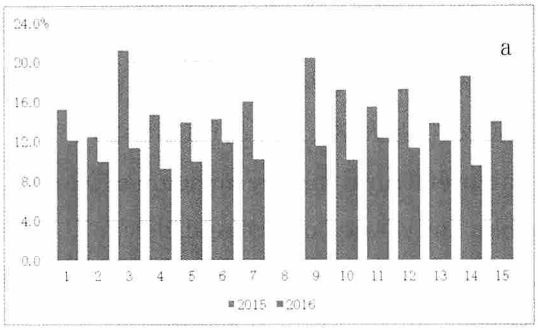
3. 研究結果

OH100 をもちいた供試体は OM50 および OM25 に比べて崩れやすい状態のものが多かった。1 年後 OH100 の供試体数が減少していた。曝露実験前、OH100 の供試体密度が 1.33～1.59g/cm^3 程度、OM50 の供試体が 1.46～1.61g/cm^3 程度、OM25 の供試体が 1.40～1.68g/cm^3 程度であった(表 1)。曝露実験 1 年後、OH100 の供試体の密度が 1.28～1.57g/cm^3 程度、OM50 の供試体が 1.45

表 1　各強化剤による供試体の密度変化

	2015 年	2016 年
OH100	1.33～1.59g/cm^3	1.28～1.57g/cm^3
OM50	1.46～1.61g/cm^3	1.45～1.60g/cm^3
OM25	1.40～1.68g/cm^3	1.38～1.65g/cm^3

～1.60g/cm^{3}程度、OM25の供試体が1.38～1.65g/cm^{3}程度であり、大きな変化はみられなかった。図2に各強化剤による吸水率の変化、表2に吸水率のまとめを示す。



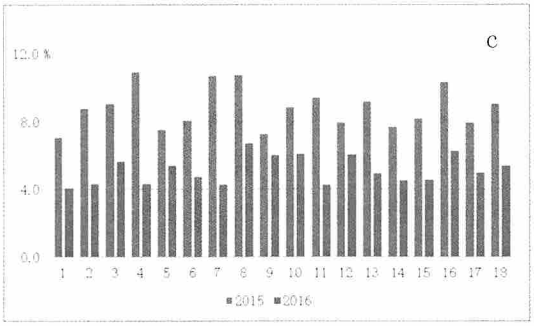


表2　各強化剤による吸水率変化のまとめ

	2015年	2016年
OH100	12.4～21.2%	9.3～12.3%
OM50	1.1～2.3%	3.4～5.7%
OM25	7.1～10.9%	4.1～6.7%

図2　各強化剤による吸水率の変化　(a)OH100の供試体、(b)OM50の供試体、(c)OM25の供試体

OH100の供試体No.8は吸水率を測定できないほど破損していたので図2(a)に数値を示していない。曝露1年後、OH100を使用した供試体の吸水率は約3.1～8.9%減少し、OM25の供試体は約3.0～4.2%減少していた。OM25の吸水率がOH100により変化が少なかった。しかし、OM50の供試体は約2.3～3.4%増加していた。吸水率は降雨などによって水分を吸収したとき元の状態に戻ることをみる[2)]ために重要である。鳥取県は降水量や降雪量が多い地域であり、吸水率は遺跡保存に欠かせない要因である。本実験の曝露期間が短いので供試体の吸水率を持続的に観察して強化剤の効果を判断したほうがよい。これらのデータをとおして各強化剤を使用した供試体の初期変化が確認できた。曝露後、OH100の供試体14個の中で強度の増大7個、維持3個、減少4個である。OM50の供試体18個の中で強度の増大1個、維持1個、減少16個である。OM25の供試体18個の中で強度の増大5個、維持2個、減少11個である。OM50を用いた供試体の強度減少は著しく、強度が約2倍下がったものもあった。今後、強度変化の傾向を観察して各供試体の強度特性を把握することが必要である。

4. まとめ

各強化剤によって供試体の密度、吸水率および一軸圧縮強度の測定値にバラツキがみとめられ、複数の人が作業に参加したことが原因である。しかし、これらの情報が蓄積されると、遺跡整備の現場で起こりうる試料のバラツキに関する対応策および鳥取県の自然環境における強化剤の選定に対する知見を得ることができると考える。

引用文献

1)針貫入試験機取扱説明書

2)豊田昌宏、太田泰雄 1988『遺跡, 遺構および遺物保存に対するケイ素およびチタンアルコキシドの利用と評価』『日本化学会誌』, No.3, p207-210

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡における劣化対応の経過報告2

The progress report Ⅱ of the degradation corresponding in the special historic site Ichijodani asakura family site.

○藤田若菜(福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館)、川越光洋(同左)、石崎武志(東北芸術工科大学)、高妻洋成(国立文化財機構奈良文化財研究所)、山本博文(福井大学)、杜之岩(京都大学)

○Wakana FUJITA,Mitsuhiro KAWAGOSHI (Fukui prefectural history museum of Ichijodani asakura family site) ,Takeshi ISHIZAKI (Tohoku university of art and design) ,Yousei KOUZUMA (Nara national research institute for cultural properties) ,Hirofumi YAMAMOTO (Fukui university) ,ZhiYan Du (Kyoto university)

1．はじめに

特別史跡一乗谷朝倉氏遺跡は、室町時代の城下町跡であり、半世紀に及ぶ継続的な発掘調査と環境整備が行われている。環境整備は、「歴史に埋もれてきた遺構をして自ら語らせる」との理念に基づき、石製遺構等の露天における露出展示を中心に進められている。その一方で、近年は既整備地の劣化が課題となっており、専門家の指導のもと、平成24年度より「一乗谷朝倉氏遺跡劣化対応事業」を開始し、昨年度のポスター発表では、気象観測結果ならびに昭和45年度施工のエポキシ系接着剤の科学分析結果を発表した。

今回の発表では、含水率の測定結果を考慮して実施した、緊急的な対応を要する石製遺構の接着について報告する。また、本格化する石製遺構のより良い接着方法の検討を目的に、CR法を用いて昭和45年度施工の接着剤に混合された石粉の配合率を推定し、あわせて接着剤に混合した石粉量とX線透過量の相関を明らかにしたので、あわせて報告する。

2．調査方法

①緊急接着に向けた含水率測定

剥離片ならびに石材本体の剥離面の強化処置の必要性を検討するため、剥離片の含水率測定を実施した。剥離片は恒温器にて105℃の環境下で24時間乾燥させ、次に真空状態で24時間、蒸留水を含水した。続いて電子上皿天秤（METTLER TOLEDO社製）を用いて含水率を求めた。

②接着剤試験実施のためのX線透過撮影

昭和45年度施工のエポキシ系接着剤が、現在もほぼ健全な状態を保持している要因は、混合された石粉（接着対象の石と同質の岩石を砕いたもの）が、接着剤本体への紫外線照射を抑制したためと推測された。そこで、石粉の配合量を変えた複数種の試験体を作製し、耐候性と接着力に与える石粉の影響を確認し、より良い接着方法を検討する接着剤試験を開始した。昭和45年度施工の接着剤を基準資料として比較検討するため、CR法を用いて得られるPSL値[1]から、昭和45年度施工時の石粉の配合率の再現を試みた。また、あわせて石粉の配合率を変えた試験体を作製し、X線の透過量との相関も確認した。撮影に用いた装置はマイクロフォーカスX線拡大撮像システム（富士フィルム社製 μFX-1000）と、イメージングアナライザー（富士フィル

ム社製 BAS-5000）である。イメージングプレートにはBAS-2025を用い、撮影条件は、40kV・50μA・60sec・6倍拡大である。なお、接着剤に混合する石粉として豊浦硅砂（旧JIS Z 8801 豊浦標準砂）を用い、昭和45年度施工時の石粉により近づけるため、粒度調整を行い使用した。

3．調査結果と実施

①含水率測定

含水率はいずれも高い数値を示し、含水率10%以上を基準として強化処置の有無を決定した。強化処置後の剥離片については、再度、含水率の測定を行い、含水率が10%未満になっていることを確認のうえ、緊急接着を実施することとした。剥離片の散逸を防ぐという緊急接着の目的を鑑み、剥離片に有機ケイ酸エステル（商品名：OM-25）への含浸処置を行い、石材本体の剥離面に対しては同強化剤を塗布する処置を行うこととし、あわせて接着の対象は、強風等で紛失の恐れのある小さな剥離片、かつ重力がかからない石上面の剥離片に限定した。

剥離片の強化処置では、OM-25 に 24 時間、剥離片を浸漬したのち、２週間放置して硬化させた。石材本体の剥離面には筆を用いて剥離面にOM-25 を塗布し、OM-25 塗布後は雨水が当たらないように雨除けを施し、２週間放置して硬化させた。剥離片の接着では、昭和45年度使用の接着剤の同等品である「Araldite2011WP」を使用し、接着後は雨除けを施した。

②X 線透過撮影

表 1 のとおり、PSL 値と砂の配合量に相関性が認められ、CR 法を用いたX線透過撮影により、砂の配合量と透過度の相関性の検証が可能であることを確認した。また、昭和45年度施工時の石粉の配合率の再現を目的とした解析の結果、昭和45年度施工の接着剤（No.7）の石粉は、No.4の砂の約 1.22 倍の配合率であった（図 1）。 そこで次年度以降は、No.4の1.22倍の配合率を新基準量とし、砂の配合率を変えた試験体を複数作製する。促進耐候性試験器を用いて試験体を劣化させ、耐候性試験前後のX線透過撮影などにより、砂の配合量と接着剤の耐久性の相関を明らかにする試験を実施する計画である。

表 1　砂の配合量とX線透過度の相関性

No.	試験体の作成方法	砂配合比	PSL/mm^2
1	砂0g(樹脂のみ)	0	7092.00
2	砂基準量の1/4	0.25	6090.69
3	砂基準量の1/2	0.5	5285.42
4	砂基準量	1	4385.82
5	砂基準量の2倍	2	3286.48
6	砂基準量の4倍	4	2465.99
7	※	不明	4037.30

※昭和45年度施工の接着剤の一部を採取

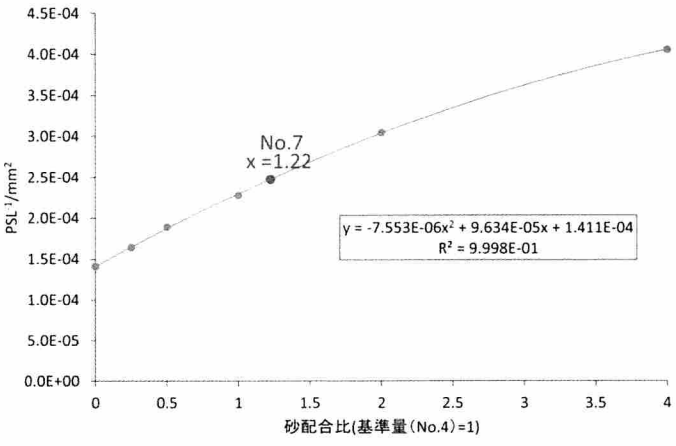


図 1　昭和45年度施工接着剤の石粉量との相関

1）PSLとは,輝尽性蛍光（Photo-Stimulated Luminescence）の略であり、放射線量の単位を示す

和歌山市不老橋の状態調査と保存修理（1）

Condition survey and conservation of Furoubashi in Wakayama City (1)

○塚本敏夫、雨森久輝（公益財団法人　元興寺文化財研究所）、清水梨代（和歌山市教育委員会）
○Tsukamoto　Toshio、Amenomori　Hisateru1（Gangoji Institute for Research of Cultural Property）
Shimizu Riyo（Wakayama City Board of Education）

1．はじめに

不老橋は和歌山県和歌山市の和歌浦に位置する和泉砂岩を使用したアーチ型の石橋である。江戸時代のアーチ型石橋は、九州地方以外では大変珍しく、特に勾欄部分の彫刻が優れており、和歌山市の指定文化財（建造物）に指定されている。

不老橋は近年、風化と地盤の変形で一部が破損した。そこで今回、破損部の保存修復を契機に、状態調査と破損・変形の原因解明の調査を開始した。

本報告では調査計画と今回行った応急修理及び状態調査について報告する。

2．不老橋の現状と破損・変形の原因推定（現地踏査調査）

現在、不老橋は上流・県道側の親柱が地面より40 cm程の所で破断している。その後、笠木石と化粧板も落下・破損している（写真1）。平成2年の調査時から25年を経て、層状剥離や剥落、亀裂など脆弱化が確認出来る。また、残る3本の親柱と笠木石・化粧板は大きい所では数センチの間隙が確認される。

詳細な調査による確認が必要であるが、これら橋梁の破損・変形は護岸の脆弱化による地盤沈下に起因すると推測される。実際、護岸の為のコンクリート擁壁にも亀裂が確認でき、石積みも歪が生じている。

3．現状調査と保存修理計画

現地踏査調査の結果から、対策として①破損部分の保存修理（応急修理）　②不老橋の状態調査（3D計測他）とモニタリング　③地盤調査　④状態調査報告（劣化原因の究明と恒久対策立案）　⑤本格解体整備をあげ、本格解体修理着手までの5カ年計画を立案した。

H28年度は①と②の状態調査を実施した。

4．破損部分の保存修理（応急対策）

（1）修理方針

応急対策として、国指定名勝の景観として破損個所を修復することにより一応の景観回復を目的とした。しかし、親柱については、数年後の解体整備事業の着手前に、再破損のリスクを避けるため、ポリエステル樹脂によるレプリカを作製し、現地に設置した。また、本体は強化修復して屋内展示保管することとした。

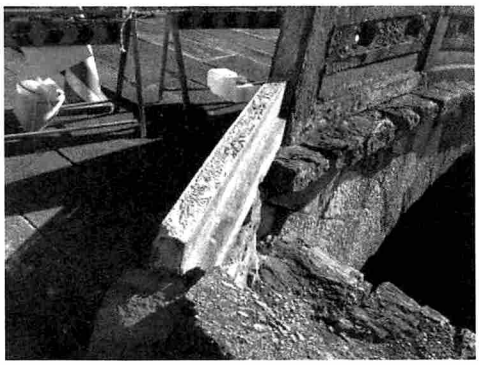


写真1　不老橋破損状況（破損部撤去後）

（2）破損部材の石材強化・修復

欄干（笠木石・化粧板）及び親柱の石材強化は石材強化材（OH100：ワッカーケミカル社製）の含浸、及び撥水処理（OM25：ワッカーケミカル社製）の含浸を行った。接着は、破片部材の破断面に長さ約100㎜・径8㎜の穴を穿ち、ステンレス製のネジ棒を相釘状にして、エポキシ樹脂系接着剤（アラルダイト2013：ハンツマンジャパン株式会社製）で接着を行った。接着部分や亀裂の補填はエポキシ樹脂モルタル（ボンドKモルタル：コニシ株式会社製）を用い、表面はエポキシ樹脂モルタルにエポシキ樹脂系接着剤（アラルダイト2013）を混合したものに鉱物系顔料を混ぜたもので擬石処理を行った。

５．不老橋の現状調査

現状調査は、不老橋の形状変化を定量的に把握するため、3次元レーザ計測fr現状を立体的に把握した。今後進行すると考えられる護岸の変形に伴う不老橋の形状変化を照合し、検討するための基準データとした。また、石材脆弱部分や亀裂の把握を目的に赤外線サーモグラフィによる撮影も併せて行った。

（１）３次元レーザ計測

計測機： ３次元レーザ計測には非接触型レーザースキャニング方式の３次元形状計測装置(FARO 製3D レーザスキャナ FOCUS3D X130)を使用。３次元の距離データとカラー画像を同時に取得した。

計測精度は分解能２㎜/10mで計測し、合成後の精度は５㎜以下とした。計測は表側で 19 スキャン、裏側で７スキャンの計 26 スキャン行い。位置合成には球形ターゲットを 10 か所設置して使用した。

データ編集： 計測データは FLS 形式で取得して、３次元データ処理ソフトウェア FARO SCENE（FARO 製）によりデータ編集用のソフト GeomagicDesignX（米 3D Systems 社製）でポリゴンモデルに統合した。

計測結果:計測結果の一部をテクスチャマッピング表示で示す。(図 1)

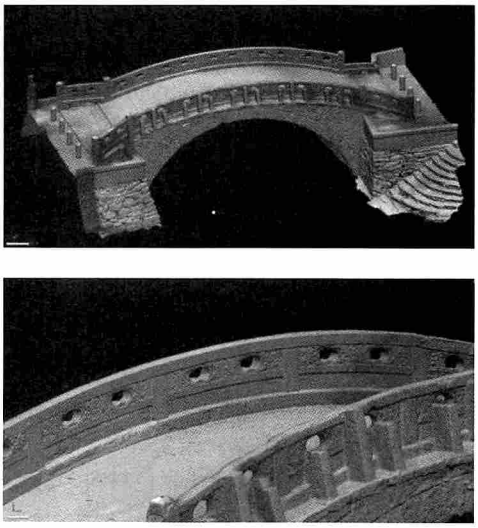


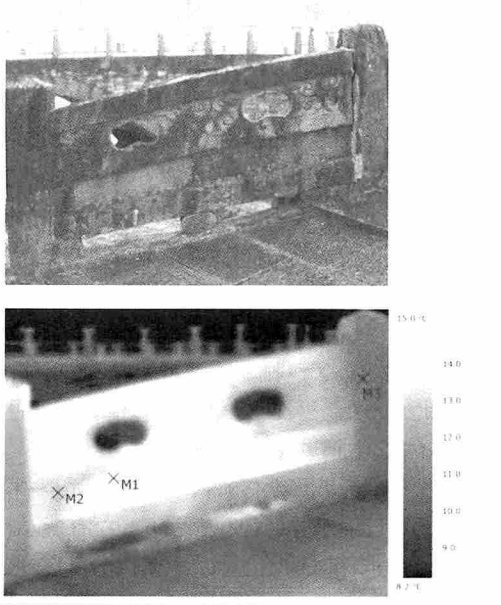
図１　不老橋（俯瞰）の３次元画像
（上段：全体　下段：詳細）

（２）赤外線サーモグラフィ

赤外線サーモグラフィを用いて石材脆弱部分や亀裂の把握を温度変化による確認した。

測定装置： 測定には赤外線サーモグラフィ(testo 製 875i)を使用した。範囲は-20～100℃、精度は±2℃

測定結果： 石材が劣化で脆弱になっている部分や亀裂が生じている部分は健常な部分に比べて温度が低い傾向があることが判明した(図 2)。



NO	温度 [°C]	放射率	反射温度 [°C]
M1	13.9	0.93	20.0
M2	12.6	0.93	20.0
M3	10.6	0.93	20.0

図２　劣化部分の赤外線サーモグラィ
（上段：可視画像　中段：熱画像　下段：温度）

６・橋梁劣化のメカニズムの推定と今後の対応

石材が劣化で脆弱になっている部分や亀裂が生じている部分は健常な部分に比べて温度が低い傾向がでた。その理由は、石材の密度差により、水分保持率違うためと考えられる。つまり、不老橋の劣化は地盤変化⇒石材亀裂⇒亀裂部に水分侵入⇒亀裂部から劣化というメカニズムで生じている可能性が高い。したがって、橋梁の設置している地盤の強度を調査して、地盤強化することが不老橋の劣化の進行を抑制する一番の恒久対策であり、橋梁の石材の劣化の進行を抑えるためには劣化亀裂部の補修や撥水加工が応急対策として必要であろう。

今後は、２年度に再度３次元レーザ計測を行い、その差分解析結果と地盤調査結果を基に、劣化原因の推定と恒久対策の立案を目指す予定である。

テラヘルツ波イメージング技術を用いた彩色文化財の界面調査_1

Application of Terahertz wave imaging technique for surveying of surface layer structure of the painting cultural properties

○ 金旻貞（奈良文化財研究所*）、 高妻洋成（奈良文化財研究所*）
Min-jung Kim、Yohsei Kohdzuma
(Nara National Research Institute for Cultural Properties*)

1. はじめに

彩色文化財の内部構造を非破壊で診断することは、学術的な観点のみでなく、彩色文化財の保存や継承を考える上でも重要である。これまでに彩色の劣化に関する非破壊非接触の調査法の一環として、テラヘルツ波（周波数で約1 THz、波長で300 μm程度）のイメージングシステムの応用を試みてきた。その結果、テラヘルツ波の彩色文化財調査に応用することにより、彩色内部の空隙、亀裂および剥落の情報の他、層構造の確認などきわめて有効な結果を得られることが明らかとなった。しかし、いっぽうで多様な彩色技法や材料を用いた彩色文化財の構造調査へ応用した場合、有効な結果が常に得られるわけではないことも確認された。したがって、ここでは正確な解析をおこなうための基礎実験として、紙を基底材とした場合のテラヘルツ波分光イメージングに及ぼす彩色材料の影響を把握することを目的とした。

2. 調査方法

実験に用いた装置は、テラヘルツ時間領域分光法を用いたパイオニア製テラヘルツ波分光イメージング装置である。測定試料は、東洋における彩色材料を想定し、単一層のみで調製した試料を用いてテラヘルツ波イメージングをおこなった。

3. 結果と考察

基礎データとして、40種類の紙の基本波形を得た。図1に代表的な楮（生成り）のイメージング結果（全画像）、XY軸の断面画像、Z軸の深さ方向の波形を示す。これまでは主にX、Y（A、B方向）の断面イメージングより界面を確認する解釈方法をとっていたが、今回の基礎調査から断面イメージング情報が同様に確認されても異なる解釈の可能性が存在するもあることが明らかとなった。また、紙の種類でも雁皮のイメージング画像（図2）からわかるように、X、Y の断面イメージング情報では大きな差は見られないが、2次元波形で異なる反射ピークが得られるものも確認できた。

上記の結果を踏まえて彩色一層のみ施した59試料の検討をおこなった。その結果、彩色一層を施した全試料も X、Y（A、B 方向）の断面イメージングから解釈した場合は、紙と彩色層の界面を明確に捉えることができた。しかし、XY 軸の断面情報のみの解析をおこなった場合は、前述したように2つの解釈の余地があることがわかった。それは、紙のみの情報と区別するのが難しいタイプ1（図3、図4）と、彩色一層として推定できるタイプ2（図5）である。

一方、2次元波形から解釈する場合は、材料の特徴から大きく3パターンに分類することができた。丹、辰砂のような反射が強いもの、藍のような有機顔料および染料で彩色されたもの、最後に白群、群青のような粒子が大きい顔料で彩色されたものに分けることができた。

4. まとめ

テラヘルツ波イメージングとは、視覚的評価に頼る手法の一部であるため、今までとは異なる解釈の注意点が確認されたこと、彩色材料の特性によって差が確認されたことが今度の一つの成果ともいえる。しかし、2次元波形から得られた振幅と位相を解析することによりサンプルの特性や屈折率の周波数依存性を調べることは今後の課題である。

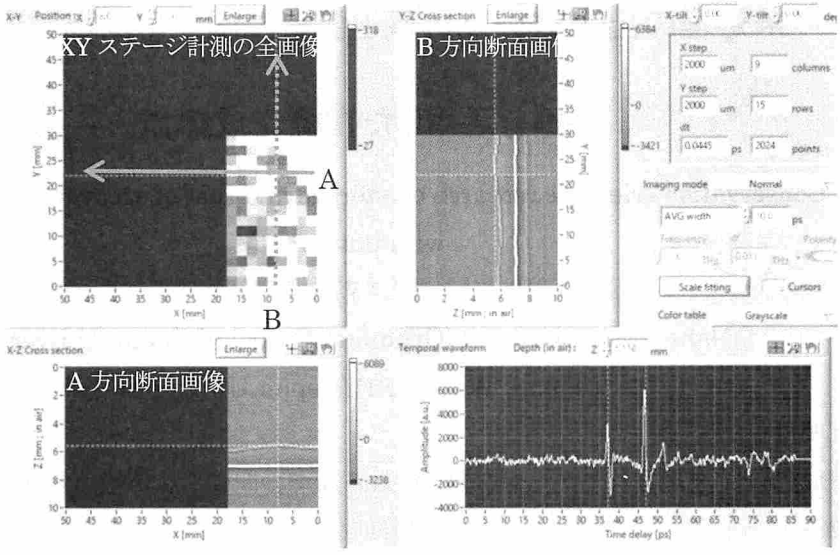


図1　楮(生成り)のテラヘルツ波イメージング全画像

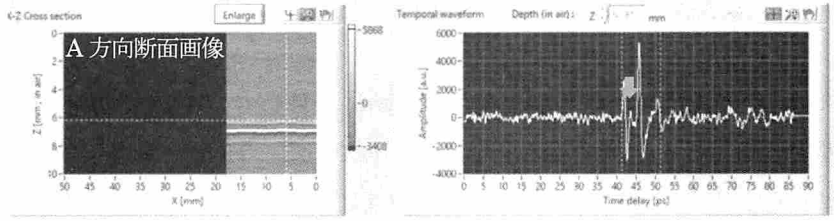


図2　雁皮のテラヘルツ波イメージング断面画像と2次元波形

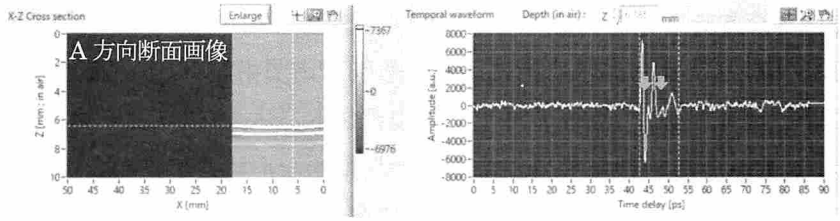


図3　グループ A　丹の彩色材のテラヘルツ波イメージング断面画像と2次元波形

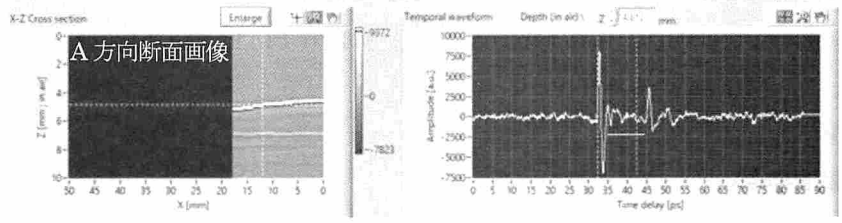


図4　グループ B　藍の彩色材料のテラヘルツ波イメージング断面画像と2次元波形

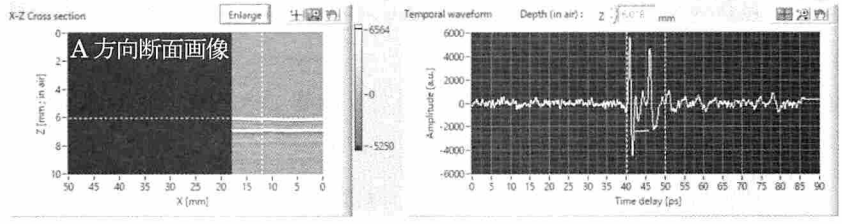


図5　グループ C 群青の彩色材料のテラヘルツ波イメージング断面画像と2次元波形

未処理の出土鉄製品の錆と保管に関する保存科学研究

—錆を活用した指標作成の試み—

Conservation scientific research on storage and rust of excavated iron objects with untreated

○松園菜穂(別府大学大学院)、渡辺智恵美(別府大学)

○Naho　MATSUZONO (Graduate School of Beppu University),

Chiemi　WATANBE (Beppu University)

1. はじめに

出土鉄製品は、発掘されてから保存処理されるまでの間に形状が損なわれることが多い。とくに、金属質の遺存が良好な鉄製品は発掘後短期間で崩壊し、情報が失われる。少しでも長く発掘時の状態を維持するためには、保管に関わる発掘担当者が出土鉄製品の状況を簡易な方法(目視等)で判断し、より安全な保管環境を構築したり保存処理の優先順位をつけたりできることが望ましい。

本研究は、保管中に出土鉄製品に発生する錆に着目して、保存科学専門者ではない担当者が簡単に判断できる指標を作成することを目的としている。今回は、暴露実験(大気中および室内)で発生させた錆と実際の出土鉄製品の錆を用いて、腐食傾向を目視で識別できる指標の作成を試みた。

2. 実験と調査方法

大気暴露実験は、大分県別府市に所在する別府市美術館(以下、海浜地域)と地獄蒸し工房鉄輪(以下、温泉地域)の屋外の軒下に鉄製テストパネル(以下、テストパネル)を約12ヶ月間吊るし、それぞれの環境で発生する錆の長期的な形状変化について観察と分析を行った。比較資料として、約11ヶ月間、室内において腐食実験を実施したテストパネルを作成した。

錆の形状観察のため、別府大学所有の実体顕微鏡(VHX-600、VH-Z20 (株)KEYENCE)、走査型電子顕微鏡(JSM-6010PLUS/LA InTouchScope™、EX-94410T1L11、EX-36130D3 日本電子株式会社)を使用した。

3. 結果

(1) 暴露実験

大気暴露実験でテストパネルに発生させた錆と室内における腐食実験でテストパネルに発生させた錆を、目視での観察後、実体顕微鏡・走査型電子顕微鏡を使用した。調査結果を以下にまとめる。

・目視の結果、温泉地域は錆汁が長期間にわたり確認できる点、海浜地域は赤褐色から黒色のバルーン状の錆が成長する点が特徴である。

・テストパネル表面に発生した剥離や亀裂の縁部分には、赤褐色もしくは黄色の錆が発生し、縁が薄くなっている場合と黄色の錆が粉状化して形状を崩壊させている場合が確認できた。こ

れは、出土鉄製品に発生するクラックや亀裂が入る際に赤褐色の錆が滲んで発生していることが多い点と関連性が認められる。

・走査型電子顕微鏡による形状観察では、海浜地域は針状の錆が広範囲にわたり網状に発生する場合や、密集して発生する場合があるが両者の場合もはっきりとした形状の錆が多量に確認できる。温泉地域に発生した錆は、錆汁の直下層で形状変化に富んだ錆が見られるが錆の大きさが小さい。室内実験で発生させた錆は、さらに発生数、大きさともに少ない結果となった。

(2)指標作成の試み

本研究のまとめにかえて、実験で発生させた錆と実際の出土鉄製品に発生した錆を対応させた指標を作成した。目視で分かる情報に特化して錆の情報・崩壊の危険度・行動指針を試案に記載した。

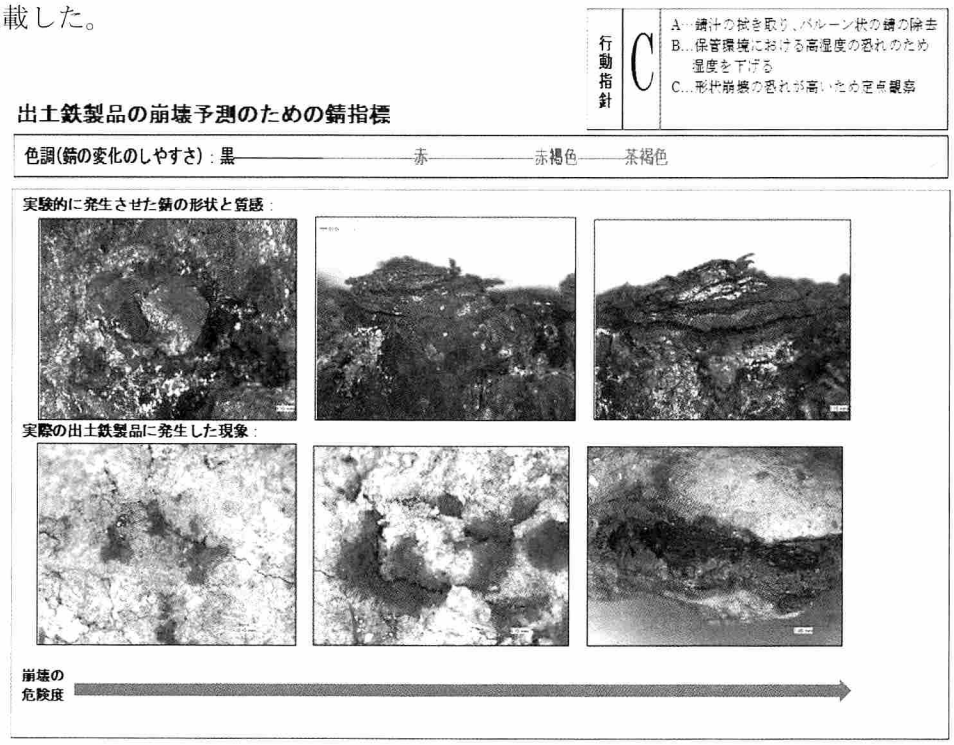


図1. 錆の指標案

4. おわりに

実験的に発生させた錆と出土鉄製品に発生した錆を合わせて検討することで、出土鉄製品に起こりうる劣化を予測できる可能性を示した。保存処理とともに、保存処理が施されるまでの間に引き起こされる劣化に対しても対策を講じることで、少しでも長く発掘時の状態を維持することができるものと考える。 今後は指標案の類例を増やすとともに保管時に有効であるか検証していきたい。

謝辞

本研究の実験に際し、別府市美術館 本山薫氏、地獄蒸し工房鉄輪　山本則光氏より実験場所の提供を受けました。また、上毛町教育委員会より出土鉄製品を観察する機会を得ました。記して、心より御礼申し上げます。

出土青銅製文化財の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について(3)

Deterioration of Acrylic Resin used to Conservation of Excavated Bronze Cultural Properties(3)

○植田 直見((公財) 元興寺文化財研究所)・山田卓司(同)・山口繁生(同)・
田中由里(同)・塚本敏夫(同)・川本耕三(同)
○Naomi Ueda, Takashi Yamada, Shigeo Yamaguchi, Yuri Tanaka, Toshio Tsukamoto, Kozo Kawamoto
(Gangoji Institute for Research of Cultural Property)

1. はじめに

日本で出土金属製文化財の保存処理にアクリル樹脂が使用され始めて 40 年余りが経ち、これまで多くの遺物が処理されてきた。アクリル樹脂は耐候性の良い樹脂で化学変化は生じにくいとの認識があったため、含浸樹脂の変化を分析することはこれまでほとんど行われなかった。その中で、国宝荒神谷遺跡出土銅剣の再修理にあたり含浸された樹脂の赤外分光分析を実施したところ、外見上の変化は見られなかったが未使用の樹脂と比べ分子構造が変化していることが認められた[注1]。昨年は未使用のアクリル樹脂を様々な条件下において劣化促進実験を行い、各種分析から条件によっては樹脂の分子構造に変化が生じることを確認し報告した[注2]。今年度はこれらの変化が防錆や強化の機能に及ぼす影響を確認するため、樹脂だけでなく溶剤にも着目した[注3]。これまで樹脂含浸後は溶剤の蒸発を前提としているため、その存在についてはほとんど考慮しなかった。しかし、溶剤は長年にわたり樹脂内部に留まることが判明し、膜形成や機能に重要な役割を持つことがこれまでの実験より明らかとなった。そこで赤外分光分析と熱分析を中心に溶剤の挙動を検討したのでその結果を報告する。

2. 試料および条件

未使用のアクリル樹脂(パラロイド NAD10)を(A)室温で約 1.5 年 (B)60℃で約 1.5 年 (C)60℃、高湿度下で約 1.5 年の 3 通りの条件に置いたものを試料として使用した。これらの条件では試料(A)にはまだ樹脂を分散させる溶剤が含まれている。また試料(B)はほぼ完全に溶剤が蒸発した状態で、さらに(C)では溶剤はほぼ蒸発しているが水分を含んだ状態のものである。これらを 200℃まで昇温し軟化点を測定した。また、同じ試料を空気中および窒素中で 600℃まで加熱し重量変化と熱量変化を測定した。さらに 200℃に加熱した前後の赤外分光分析により、分子構造の変化を検討した。

3. 分析方法

分析装置は熱分析(以下 TGA・DTA)装置((株)島津製作所製 DTG-60)と全反射フーリエ変換赤外分光(以下 ATR-FTIR)光度計 ((株)パーキンエルマー製 Spectrum Two)を使用した。TGA・DTA は細片(約1 mg)をアルミニウムセルに入れ、100ml/分の流量の窒素ガスあるいは空気を流しながら 10℃/分で昇温させ、その時の重量変化と熱量変化を測定した。また、ATR-FTIR は極微量の試料をそのまま測定部に置き $LiTaO_3$ 検出器を用い、分解能 $4cm^{-1}$ で測定した。

4. 結果と考察

熱分析においては 600℃まで昇温した結果、窒素下では DTA ではいずれも 300℃と 400℃付近に分解による吸熱反応によるピークが確認され(図 1-1)、空気下では 400℃に燃焼によるピークが確認できた(図 2-1)。TGA では(A)は 150℃付近から溶剤が蒸発することによる重量減少が、(C)では 100℃付近から水が蒸発することによる重量減少が見られた。これらは窒素中、空気中のいずれでもほぼ同じ挙動を示した(図 1-2、図 2-2)。また、DTA から軟化点を調べた結果、溶剤を含む(A)は有機溶剤が含まれていない(B)(C)に比べ 15℃前後高温側にシフトしていることがわかった。次に ATR-FTIR で試料(A)(B)(C)とそれらを熱分析により 200℃まで昇温した後の試料(合計 6 点)のスペクトルを図 3 に示した。(A)(B)は加熱前後では分子

の骨格構造に大きな変化は無いと考えられる。水を含んだ試料(C)は 3400 cm^{-1} に水酸基に由来する大きなピークが検出され、800 cm^{-1} 付近のピークの変化が見られるが、加熱により 3400 cm^{-1} 付近のピーク強度は低下し、800 cm^{-1} 付近のピークの違いを除けば(A)(B)と近似した結果となった。一方、1780 cm^{-1} 付近のピークに着目すると、(A)(C)では検出されなかったが 200℃昇温後はすべての条件の樹脂でピークが現れることがわかった。以上のことより、樹脂に含まれる溶剤や水分が分子構造の変化や樹脂膜の機能に何らかの影響を及ぼしていると考えられた。

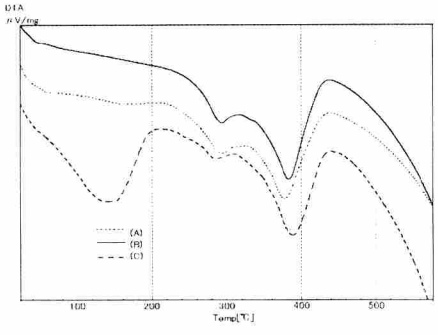


図 1-1. NAD10(A)(B)(C)の DTA(窒素中)

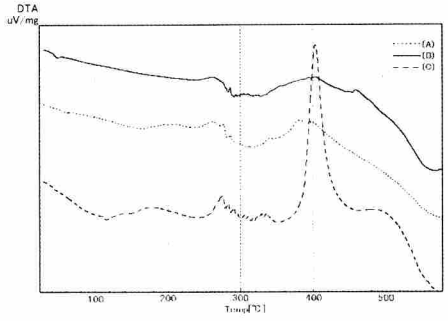


図 1-2. NAD10(A)(B)(C)の DTA(空気中)

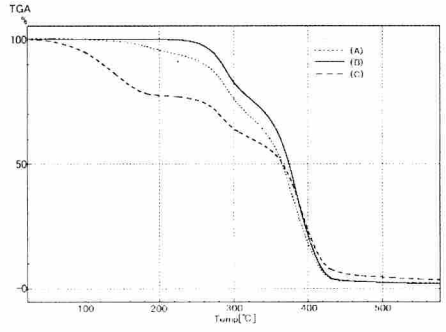


図 2-1. NAD10(A)(B)(C)の TGA(窒素中)

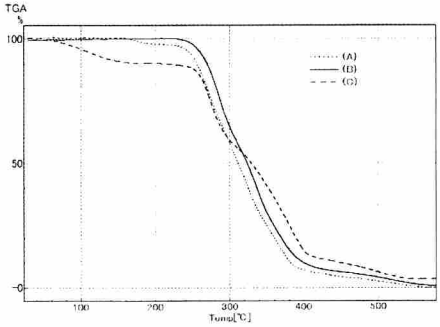


図 2-2. NAD10(A)(B)(C)の TGA(空気中)

5. おわりに

これまで樹脂の化学変化や機能を検討する場合、樹脂そのものの変化を追跡してきたが今回の分析で溶剤や水分が関与していることがわかった。また、室温で1.5年放置しても樹脂中の溶剤は残存しており、これらが遺物の防錆や強化に影響する可能性が考えられる結果となった。今後、さらに溶剤の挙動も含め、樹脂の化学変化と併せて検討したい。

最後に、本研究を発表する機会を与えていただきました文化庁文化財部美術学芸課、島根県立古代出雲歴史博物館、および国宝荒神谷遺跡出土品修理事業に関する修理検討委員会の委員の皆様に感謝いたします。

本研究はJSPS科研費26282072の助成を受けたものです

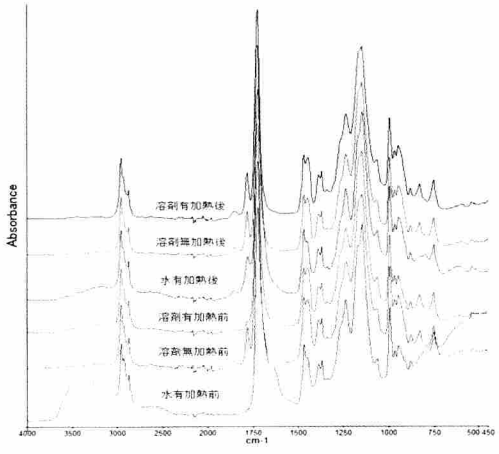


図 3. (A)(B)(C)の加熱前後の赤外吸収スペクトル

注1:植田直見他、「出土青銅製文化財の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について」、東アジア文化遺産保存国際シンポジウム、ポスター発表、(2015)　注2:山田卓司他、「出土青銅製文化財の保存処理に使用されたアクリル樹脂の劣化について(2)」、日本文化財科学会第33回大会発表要旨集 p280、(2016)　注3:岡本駿他、「文化財保存修復に用いられるParaloid B72と溶媒の相互作用に関する研究」日本文化財科学会第33回大会発表要旨集 p258、(2016)

アヤ・イリニ聖堂およびカーリエ博物館における塩類析出と保存環境に関する調査

Salt Crystallization and Conservation Environment in Aya Irini and Kariye Camii, Istanbul, Turkey

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

1. はじめに

発表者らは、2010年からトルコ共和国イスタンブール市に残る歴史的建築物であるハギア・ソフィア大聖堂において、建築内外の保存環境の評価と改善方策の検討を進めている。特に、内壁面で顕著に進行している塩類析出については、外壁からの雨水の浸透がそれを促進していることを指摘してきた。イスタンブールにはハギア・ソフィアのほかにも、数多くのビザンティン時代の建築物が残っている。発表者らは、これらのビザンティン組積造建築物群の保存環境調査を実施し、総合的にそれらの建築が抱える共通する劣化への効果的な対策の検討を目的に、これまで調査を続けてきた。

本発表では、ハギア・ソフィアに隣接する同時代建築であるアヤ・イリニ聖堂と、中期ビザンティン建築であるカーリエ博物館で実施した調査の結果から、イスタンブールに残るビザンティン組積造建築群が抱える保存上の問題点を明らかにし、各建築で実施・予定されている保存方策とそれに対する発表者らの提言についてまとめる。

2. アヤ・イリニ聖堂の保存環境調査

現在のアヤ・イリニ聖堂(現アヤ・イリニ教会博物館、トルコ共和国イスタンブール、以下「アヤ・イリニ」)は、ユスティニアヌス1世 (Justinianus I, 在位527-565) によって548年に再建された第二次聖堂である。隣接するハギア・ソフィア大聖堂と同時代の建築であり、地震によるドーム崩落や機能の拡張など履歴に類似点も多い。長い間、アヤ・イリニは非公開であったが、1980年以降からは年に40～50回ほどコンサートのために公開・使用されていた。2010年からコンサートの開催が増えたことで、施設としての安全性の確保とともに堂内環境の保守、そして今後の保存修復の実施に向けて、現状把握とこれをもとにした保存方針の策定を早急におこなう必要が生じた。そこで筆者らは、2013年からアヤ・イリニ聖堂の現状に関する総合調査を開始した。

これまでに、非公開時のアヤ・イリニの堂内環境は、常時開放されている窓からの外気の流入はあるものの、その影響は窓付近と階段上までで、1階身廊および2階側廊では、温湿度の変動は外気に比べて小さいこと、そして、コンサートの開催によって、特にアプシスの温度は他に比べて顕著に上昇することがわかっている。また、二階北西壁面とアトリウム壁面での顕著な硫酸ナトリウム(thenardite, Na_2SO_4)の析出、そして夏季と冬季での硝酸ナトリウム(nitratine, NaNO3)の消失と析出を確認している。

2014年3月からは一般公開が開始され、火曜日を除く全日の9時～17時(夏季は閉館時間を18時まで延長)まで開館されている。また、コンサートも夏季に10～15回ほど開催されている。一般公開による堂内環境の変化はほとんどみとめられず、入り口の常時開放による外気の流入の影響は小さいことがわかった。

アトリウムの南西隅の壁面で雨水の流下をみとめたため、定点カメラによる観察をおこなったところ、

降雨から約1日経った時点で内壁面に雨水の流下が生じることを確認した。アヤ・イリニの屋根は、ハギア・ソフィアと同様に鉛が葺かれているが、ハギア・ソフィアのように定期的な鉛の葺き替えは行われておらず、学芸員からのヒアリングによると1990年代以降、鉛の葺き替えは実施されていない。

2017年3月の時点で、アヤ・イリニの全面修復計画が策定されることが決まった。構造補強が主たる内容となる予定であるが、加えて外壁の補修や内壁(モザイクを含む)の修復も検討されている。発表者らは、修復計画策定時の基礎的情報としてアヤ・イリニの堂内環境(温湿度計測結果)について報告した。それとともに、大規模な修復に先立ち、早急に屋根欠損部の補修をすべきであると提言した。

3. カーリエ博物館の保存環境調査

現在のカーリエ博物館(コーラ修道院中央聖堂、トルコ共和国イスタンブール、以下「カーリエ」)は、6世紀創建の修道院の付属聖堂として12世紀に建てられ、14世紀まで増築を繰り返し、現在の姿に至った。内部には14世紀に制作された後期ビザンティン・モザイクとフレスコ画が保存されている。

2014年8月からは建築中央部のナオスと屋根の修復が開始され、2017年3月現在まで修復が完了しておらず、外ナルテクスと内ナルテクスのみが一般公開されている。塩類析出はナルテクスの壁面やモザイクのテッセラ欠損部において確認されており、特に内ナルテクスのデイシス・モザイクにおいては、1990年頃からその進行が顕著にみとめられるようになった。1991年のイスタンブール保存修復研究所による調査の際に、観光客に塩類が飛散しないようモザイク下部にプラスティックのカバーが付けられたが、これによって析出が促進されている可能性が指摘され、その後撤去された。これまでに、モザイク下部で析出していた硝酸ナトリウムが、修復のために閉じられた扉からの風の流入の有無の影響で消失していることを確認した。

今回の修復にともない、博物館はパレクシオン(墓廟礼拝堂)のフレスコ画「アナスタシス」に描かれている聖人らの顔が消失していることに気が付き、発表者らに確認を求めてきた。まず、写真集との比較から、ここ数年間で顔部分が消失したことがわかった。定点カメラを設置し、当該箇所での塩類析出によると思われるフレスコ層の剥離を確認し、このフレスコの上部屋根では、明らかな欠損も確認した。これらのことから、雨水の流入とその蒸発によるフレスコの破損であることを、博物館に報告し、早急に屋根の補修を提言した。

4. まとめと今後の展開

発表者らがこれまで実施した調査の結果は、いずれの建築においても修復計画の基礎的情報として活用されている。アヤ・イリニでは、雨水の流入を定点カメラによる撮影から確認することができ、早急な補修を提言することができた。また、カーリエでも、雨水の流入によるフレスコの消失を確認し、屋根の補修を提言することができた。両建築とも、外壁および屋根からの雨水の流入・浸透が塩類析出および壁面の損傷を引き起こしており、これはハギア・ソフィアも同様である。イスタンブールのビザンティン組積造建築群が抱える保存上の問題として、屋根の欠損や屋根および外壁からの雨水の流入・浸透が大きいことがわかった。これらに対して、発表者らは、まず継続的に実施する環境モニタリングと現地調査の実施により状況変化を確認し、そして修復計画が策定される初期段階において修復内容に必要な調査成果を博物館に報告することで、実際の作業内容や時期の決定に学術調査の成果を活かすことができ始めてきた。今後も修復計画の進捗状況を考慮しつつ、調査を進展させていく予定である。

[謝辞]
本研究は、本研究は、科学研究費若手研究B(26870897)および若手研究(A)(課題番号:26709043 研究代表者:安福勝)の助成を受けて実施した学術調査の成果の一部である。調査実施にあたりアヤ・イリニを管理するトプカプ宮殿の館長Ayşe Erdoğduならびに学芸員の方々、そしてアヤ・ソフィア博物館館長Hayrullah Cengiz氏および学芸員の方々の理解と協力を得た。ここに記して感謝申し上げます。

[参考文献]

1) 佐々木淑美、小椋大輔、吉田直人、安福勝、石崎武志: アヤ・イリニ聖堂の保存環境に関する調査報告, 保存科学, 53, 177-194 (2014)
2) 佐々木淑美, 吉田直人, 小椋大輔, 安福勝, 水谷悦子, 石崎武志: ハギア・ソフィア大聖堂をはじめとした歴史的建築物の内壁の劣化と材料に関する調査, 保存科学, 54, 215-226 (2015)

法隆寺金堂焼損部収蔵庫における壁画の保存・公開に関する研究

ー実測調査と数値解析による収蔵庫内温湿度の現状分析—

Study on conservation and exhibition of burnt wall paintings in Main hall in storage room, Horyu-ji Temple

-Analysis of current temperature and humidity behavior in storage room by measurement and numerical simulation -

藤原良輔(京都大学)、○小椋大輔(京都大学)、佐野千絵(東京文化財研究所)、木川りか(九州国立博物館)、和田浩(東京国立博物館)、吉田直人(東京文化財研究所)、鉾井修一(京都大学)

FUJIHARA Ryosuke(Kyoto University), ○OGURA Daisuke(Kyoto University), SANO Chie (Tokyo National Research Institute for Cultural Properties), KIGAWA Rika(Kyushu National Museum), WADA Hiroshi(Tokyo National Museum), YOSHIDA Naoto(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties) and HOKOI Shuichi(Kyoto University)

1. 研究背景・目的・概要

1949年、法隆寺金堂は火災に見舞われ、金堂内壁画の多くは焼損した。1954年、焼損部収蔵庫が竣工した。そこでは、焼損壁画、焼損した柱梁、小壁画などが保存されており、一般公開はされておらず、空調設備は一切ない。本研究の目的は、法隆寺金堂焼損部収蔵庫の保存・公開を考慮した環境調整方法の提案を行うことである。検討手順としては、現地調査や温湿度環境調査と収蔵庫内温湿度数値解析モデルにより、現状の環境の問題点とその環境形成メカニズムを明らかにし、その上で、今後の、気候変動、保存・公開を踏まえて問題点解決のための建築的対策、保存時、公開時の環境調整方法の検討を行う。本報告では主に現状の温湿度環境の分析を行う。なお、本研究は、法隆寺金堂壁画保存活用委員会における調査の一環として保存環境WGが行っているものである。

2. 収蔵庫の概要

収蔵庫の室構成を図1に示す。収蔵室の上部は回廊がある。収蔵室の床下は割栗石が充填されており、収蔵室周りの室の床下は外気である。また東室2階の小屋裏は、換気口があることが確認できているが、収蔵室、西室2階の小屋裏は外気と通じていない。ただし、各小屋裏間の接続は十分確認できていない。収蔵室に焼損を免れた小壁画（以下、小壁）・焼損壁画（以下、大壁）・焼損した柱梁、1F西室に小壁が保存されている。既往の調査により、大壁の一部ではカビ発生や小壁の一部では虫損に対する懸念が生じている[1)]。

3. 収蔵庫内温湿度環境の測定結果と考察

1996年1月から1年間、収蔵室において、また、2016年7月15日から現在まで、各室で温湿度を測定している。図2,3に収蔵室の温度と相対湿度の年間変動を外気と併せて示す。外気の年平均温湿度[6)]は、1996年はそれぞれ16.0℃、76%、2016年はそれぞれ14.9℃、74%である。収蔵室の温度は外気の影響は受け、1996年は年間を通じて外気より2.0℃高い値で変動しており、2016年も同様である（図2)。収蔵室の相対湿度は、1996年は冬季に最低の55%程度、夏季に最高の70%近くに達し、2016年も同様である（図3)。両者の比較から収蔵室の温湿度の挙動はこれまでの所、経年で大きな変化はないと考えられる。次に、2016年における各測定結果を比較すると（図省略)、収蔵室の温度は、上下分布が生じ、特に夏季にその差が大きく、例えば収蔵室の1Fと2Fで約2℃の差が生じている。夏季は、2F東室、2F西室、2F収蔵室回廊（北西）で、温度の日変動があるが、常に数度の差が生じており、これは日射及び外気の影響を受けているためと考えられる。次に、相対湿度と絶対湿度は、2F東室、2F西室、2F収蔵室回廊（北西）では、相対湿度の変動幅は小さいが、絶対湿度の変動幅が大きい。これは、各室の壁等に加えて2F東室は書物が、2F西室は木製の棚が、収蔵室では

焼損した柱梁および大壁が、それぞれ室空気を調湿することが大きく影響しているためと考えられる。

4. 収蔵庫の温湿度の解析モデルの検討

4.1. 解析の目的とモデルの概要

解析の目的は、人の入退出による収蔵室内の温湿度変化、カビや虫の生育に大きく関係する壁体内温湿度を解析により明らかにし、学術調査時の入退室および保存・公開時の環境調整方法の提案を行うことである。図1に示すような解析モデルを考え、外気と収蔵室の周りの室を境界条件としており、小屋裏と収蔵室の空気を1質点で代表させ、収蔵室空気と壁画との間での熱湿気移動を考慮する。

4.2. 解析方法、解析結果と考察

壁体内は以下の多孔質材料内における熱水分同時移動方程式[2]を用い、収蔵室内および小屋裏内の空気は、1質点の熱水分収支式を用いる。物性値は、地盤・割栗石は版築の物性値[3]を用い、大壁は土壁の物性値[4]を用い、その他の壁はコンクリート[5]の物性値を用いた。また、換気回数は、測定結果を元に、ここでは屋外と収蔵室、収蔵室と小屋裏については収蔵室の容積基準で換気回数0.04[1/h]を、小屋裏と屋外では、小屋裏の容積基準で換気回数0.04[1/h]を与える。解析結果は、温度も絶対湿度も実測値と概ね一致しているが、温度はやや高く、変動が大きく、絶対湿度は変動が大きい（図省略）。小屋裏の温湿度の挙動や焼損した柱梁の熱湿気の容量の影響が考えられ、これらを適切に考慮したモデルの改良が必要である。

5. 結論

本報告では法隆寺金堂焼損部収蔵庫の現状の温湿度環境の分析などを行った。得られた主な結果は、以下の通りである。1) 収蔵室の温度は、年間を通じて、外気より約2℃高い値で推移し、夏季は2℃程度上下分布が生じる。2) 収蔵室の相対湿度は、年間を通じて55%より高い値で安定しており、夏季には70%近くに達する。3) 収蔵室の温湿度の挙動はこれまでの所、経年で大きな変化はない。4) 2F東室、2F西室、2F収蔵室回廊（北西）の相対湿度は安定しており、壁に加えそれぞれの部屋の中の収蔵物が部屋の空気を調湿していると考えられる。5) 解析モデルは、実測値と概ね一致しているが、やや高く、変動が大きい。小屋裏と収蔵室の間の換気や焼損した柱梁の熱湿気の容量を適切に考慮する必要があると考えられる。

謝辞 実測調査にあたり、法隆寺金堂壁画保存活用委員会事務局の法隆寺、朝日新聞社、文化庁のご協力を賜り、京都大学小椋研究室の謝氏、高取氏、福井氏にも協力を頂きました。記して厚くお礼申し上げます。

参考文献 1)文化庁(2016)『法隆寺金堂壁画保存活用委員会について』、古墳壁画の保存活用に関する検討会（第19回）資料, 2)松本徹(1984)『新建築学体系 10 環境物理 3．湿気』彰国社, 3)李永輝ら(2010)『高松塚古墳の発掘前後の石室内温湿度環境変化と応急保存対策の効果の解析』日本建築学会環境系論文集第75巻第685号, 4)高田暁ら(2013)『土壁の吸放湿特性に関する研究－平衡含水率曲線の測定と居室の温湿度解析－』平成25年度日本建築学会近畿支部研究発表会 pp.177-180, 5)小椋大輔(2000)『地下構造物の熱・湿気性状に関する研究』神戸大学博士論文, 6)気象庁－過去の気象データ：http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php

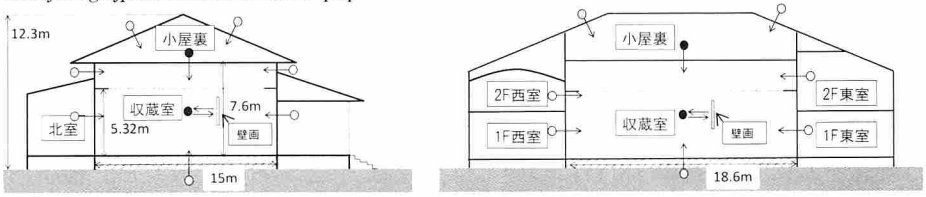


図1（左）南北断面図（右）東西断面図 ○：境界条件の質点、●：解析で求める質点

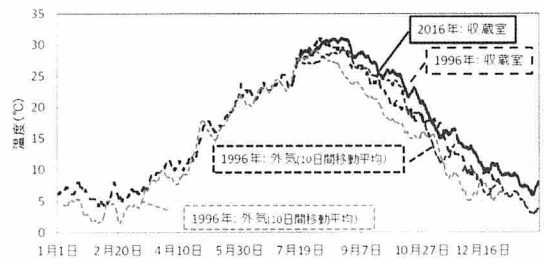


図2 1996年と2016年の収蔵室の温度の比較

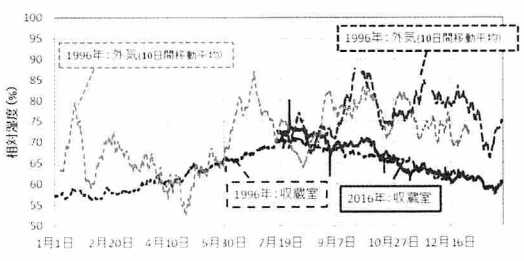


図3 1996年と2016年の収蔵室の相対湿度の比較

元町石仏における覆屋内温湿度調整による塩類風化抑制に関する研究
—数値解析による覆屋の塩類風化抑制効果の評価—

Study on suppressing salt damage by controlling the sheltered environment at a stone Buddha carved into a cliff at Motomachi

-Evaluation of the depression effect of salt damage under the shelter by numerical analysis-

○高取伸光（京都大学）、小椋大輔（京都大学）、脇谷草一郎（奈良文化財研究所）、
安福勝（近畿大学）、桐山京子（京都大学）、高妻洋成（奈良文化財研究所）

○Nobumitsu Takatori(Kyoto University), Daisuke Ogura(Kyoto University), Soichiro Wakiya(Nara National Research Institute for Cultural Properties), Masaru Abuku(Kindai University), Kyoko Kiriyama(Kyoto University), Yohsei Kohdzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに　元町石仏は昭和9年に国指定史跡となった大分市を代表する磨崖仏の一つである。元町石仏では岩盤を通じた熱の影響や地下水の浸透の影響により、これまで主に塩類風化による劣化が特に懸念されてきた。そのため元町石仏では覆屋の設置・改修、地下水を排水する機構の設置など様々な保存修理事業が行われ劣化抑制が図られてきた。しかしながら、覆屋内環境と石仏の劣化に関してはこれまで評価がなされていなかったため、既報[1]では2013年度における覆屋内温湿度環境が元町石仏の塩類風化に与える影響について石仏内部の熱水分性状の数値解析の点から検討を行った。本報では元町石仏における塩類風化を抑制する覆屋内環境の調整方法を明らかにすることを目的とし、覆屋内環境の形成を、覆屋および地盤環境を含めた熱水分挙動の数値解析により明らかにする。ここで得られた結果と既報までの覆屋内環境と石仏の劣化に関する検討結果を基に、塩類風化を抑制する覆屋内環境の調整方法について検討を行う。

2. 覆屋内及び周辺環境調査による現状把握　2014年から継続して石仏覆屋内の環境調査を実施している。測定項目は覆屋内外の温湿度、石仏表面温度、日射量、ドアの開閉時間である。図1に2015年3月1日から2016年11月27日における覆屋内外の温度変動を、図2に相対湿度変動を示す。測定にはOnset社UX90-001を用い測定間隔は10分である。覆屋の改修に伴い覆屋内の温度の日変動が減少し、相対湿度が常に高い値を維持するようになったのが分かる。また2016年10月3日から4日にかけて行った覆屋内外のCO_2濃度の測定値から算出した換気量は扉・窓閉鎖時で0.21回/h、窓解放時で9.9回/hであった。

3. 解析概要　解析対象は石仏の2次元モデル及びその覆屋を含めた連成モデルとする。解析には熱水分同時移動方程式[2]を用い、覆屋は北東面、南東面、南西面の3方位に配置した。物性値に関しては既報を基にし、覆屋の材料については文献値[3][4]を参考に作成した。覆屋内側と外気

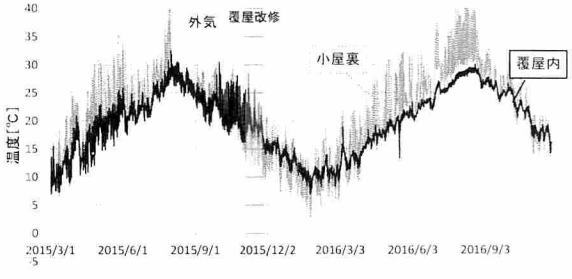


図1 覆屋内外の温度変動

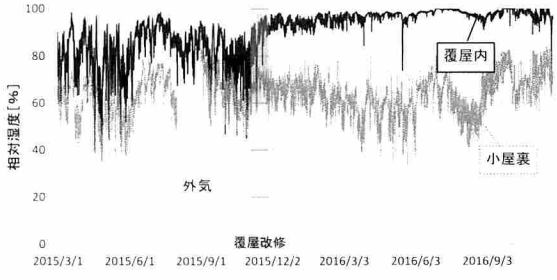


図2 覆屋内外の相対湿度変動

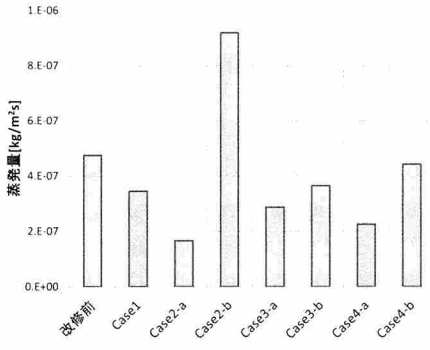


図 3 石仏表面からの年平均蒸発量

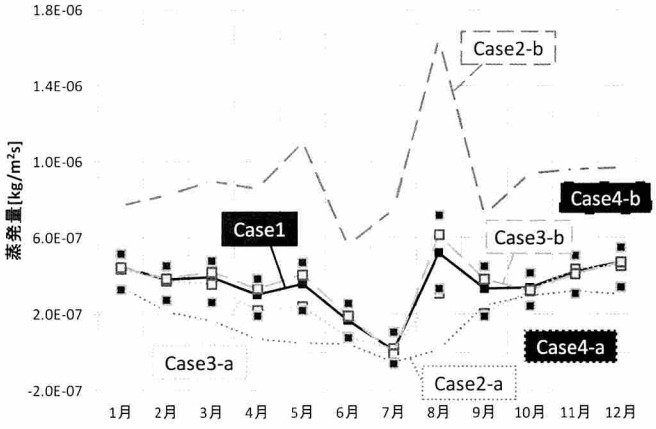


図 4 石仏表面からの月平均水分流(蒸発量)

側の総合熱伝達率はそれぞれ 9.3W/m²K、23.3 W/m²K 一定とし、対流熱伝達率はそれぞれ 4.0W/m²、16.0W/m² とする。湿気伝達率は対流熱伝達率からルイス関係を用いて求める。境界条件は 2016 年度の大分地方気象台の外気温湿度及び降水量、日射量[5]を使用し、解析パターンは Case1 を実測値の再現モデルとして、室内外の換気量を 0.2 回/h、小屋裏外気-間を 0.1 回/h、窓の日射透過率を 60%とし、室内外の換気回数を 0.0 回/h とした場合(Case2-a)と 10.0 回/h とした場合(Case2-b)、側壁を全て断熱壁とした場合(Case3-a)と板張りとした場合(Case3-b)、窓の日射透過率を 0%とした場合(Case4-a)と 100%とした場合(Case4-b)の 7 条件とした。

4. 解析結果と考察 測定値と解析値の比較の結果より、覆屋内温湿度の年変動に関して温湿度ともによく一致しており、覆屋内環境を概ね再現することができた（図省略)。次に石仏内部における塩の析出量の変化について検討を行う。ここでは塩の析出は水分蒸発量に比例すると仮定し、石仏表面から覆屋へと流入する水分流は石仏内部における蒸発量であることから、その量から条件の違いによる塩の析出量の比較を行った。図 3 に覆屋改修前と、各条件における石仏表面からの年間水分蒸発量の結果を、図 4 に月平均水分蒸発量の結果を示す。気密性能に着目すると換気回数の減少が蒸発量の低減に大きく影響していることが分かる(Case2-a, Case2-b)。また換気回数を減らした場合、蒸発量は冬季に上昇する傾向にあるが、換気回数を増やした場合、夏季（特に 8 月）に多くなる。次に壁体の断熱性に着目すると (Case3-a, Case3-b)、高断熱の方が年間において蒸発量が少なくなり、特に春季から夏季、秋季にかけての蒸発量が少なくなることが分かる。最後に日射透過性の有無に着目すると(Case 4-a, Case4-b)、日射を遮った場合は日射を透過する場合に比べて蒸発量が約半分にまで減少することが分かる。

5. 結論 本研究では覆屋内温湿度と石仏内部の熱水分性状の連成の数値解析モデルを構築し、覆屋改修後の覆屋内温湿度を概ね再現できた。このモデルを用い、塩類風化抑制のために行われた覆屋改修後の環境評価を水分蒸発量が塩析出量に比例すると考えて検討を行った。気密性・断熱性の向上および、開口部の日射透過量の減少は塩析出量を低減させる効果があることがわかり、覆屋の改修により元町石仏における塩の析出量は大幅に抑制できていると考えられる。

謝辞 本研究の実施にあたり、大分市教育委員会河野史郎氏、永松正大氏には当時の記録，測定データの提供など多大なるご協力を頂いた。また本研究は石造文化財の保存研究会からの調査研究費の助成および，科学研究費補助金若手(A)（課題番号：26709043，研究代表者：安福勝）の助成を受けた。厚く御礼申し上げます。

参考文献 1) 高取伸光，小椋大輔，脇谷草一郎，安福勝，桐山京子：覆屋内温湿度変動が磨崖仏の塩類風化に及ぼす影響の数値解析―元町石仏の保存に関する研究 その 1―，日本建築学会環境系論文集，第 733 号，pp215-225，2017. 2)松本衛：新建築学大系 10 環境物理，第 3 章 湿気，彰国社刊，1984. 3) 日本建築学会：建築材料の熱・空気・湿気物性値，日本建築学会，2001. 4) Mavinkal K Kumaran : Thermal and Moisture Transport Property Database for Common Building and Insulating Materials, Final Report from ASHRAE Research Project 1018-RP, 2002. 5) 気象庁：過去の気象データ検索，http://www.data.jma.go.jp, 2017.1.6 日閲覧.

新池埴輪製作遺跡18号窯における館内の温熱環境が硫酸塩の挙動に与える影響

Effect of the thermal environment inside the shelter on the behavior of sulfate salts in open climbing kiln

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

Kyoko Kiriyama,○Sayuri Fujii(Kyoto University),Soichirou Wakiya ,Takayasu Koezuka, Yosei Kohdzuma(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

はじめに 新池埴輪製作遺跡は、史跡今城塚古墳との密接な関わりを証明した埴輪生産遺跡として国史跡に指定され、その保存が図られている。18号埴輪窯では、発掘直後の様子をそのまま伝えるため保護棟内で遺構の露出展示が行われているが、塩による遺構の破壊が顕著である。本報では塩析出による遺構の劣化の実態を把握し、その抑制方法を検討するため、現地において外気気象条件、保護棟内の温熱環境、および遺構の含水状態を把握するための実測調査を行なった。

1. 新池埴輪製作遺跡18号埴輪窯の概要 18号埴輪窯は緩斜面上に構築された、全長8.2m、最大幅2.5mの地下式窖窯で、焚口からつづく前庭部が付設されている。遺構面上部は粘質な地山形成土から成り、下部は操業時の土が何層にもわたって堆積している。窯体内の西側半分は床面まで掘り下げられ、東側半分は廃窯後の埋積土を除去するにとどめている[1]。東側の遺構上面には発掘された埴輪片が露出展示されている。開館時間中は、館内の遺構面は常に照明で照らされており、出入り口は常時開放されている。保護棟の天井部分には換気ガラリが設けられている。

2. 調査内容 2016年3月～2016年12月(現在)の間、劣化状態に関する目視調査および遺構の含水状態を把握するための実測調査を月毎に行なった。調査項目を表1に示す。

表1 測定項目

月毎の測定
遺構面と埴輪片の熱量
遺構面と埴輪片の吸光度(図2,●No.1-7)
連続測定
水分化学ポテンシャル(図2,▲Ch.1-2)
外界の気象観測
館内と遺構面の温湿度
埴輪片の表面温度

表2 吸光度測定結果(測定日:2016/12/27)

No.	吸光度
No.1	0.732
No.2	0.603
No.3	0.639
No.4	0.416
No.5	0.182
No.6-上	0.3184
No.6-下	0.4811
No.7-上	0.1542
No.7-下	0.384

3. 結果と考察 目視観察より、遺構上面の埴輪片や遺構面下部では冬期に塩の析出が顕著になり、塩による埴輪片や遺構面の粉状化が確認された。遺構下部側面下部(図2, No. 7-下)や遺構上部側面の埴輪片(図 2, No. 6)では複数回の調査時に塩類の析出が確認された。X線回折分析の結果、前者の塩は硫酸ナトリウム無水和物であり、後者の塩は硫酸カルシウム二水和物であることが確認された。硫酸カルシウムがX線回折法により現地において最初に確認されたのは2016年6月の調査時であるが、硫酸カルシウムが難溶性であるという特性を持つ[2]ことから、一度析出すると年間を通して析出した状態であると考えられる。

図1に水分化学ポテンシャルと雨量の測定結果を示す。遺構面上部と下部(図2, Ch. 1-2)ともに、降雨に対して水分化学ポテンシャルの速やかな応答が認められた。また、遺構は常に高い含水状態にあることが示唆された。表2に示した赤外線水分計による吸光度測定の結果から、遺構面上部(図2, No. 1)と遺構面上部埴輪片(図 2, No. 2-4)は高い含水状態であることが示唆された。特に冬期に硫酸ナトリウムの析出が顕著な遺構面下部や遺構面上部埴輪片は常に含水状態が高いことが示唆された。

図3に夏期と冬期における外気と館内の温湿度を示す。館内入り口付近では開館中は温度と絶対湿度ともに外気とほぼ同じ挙動を示した。これは開館中に開放している館内入口から外気が流入することによるものである。図3より、遺構面では絶対湿度が常に高いことから水分蒸発が起きていることが示され、冬期には換気によって遺構面からの水分蒸発が一層促進されていることが示唆された。一般に、硫酸ナトリウムは溶解度の温度依存性が高く、常温で無水和物(Thenardite)と十水和物(Mirabilite)の安定相をもつという特徴を有する。図3-1と図3-2より、冬期は夏期に比べて館内の温度の低下が認められるため、硫酸ナトリウムの溶解度の低下が析出を促進していると考えられる。また、遺構面温湿度を日平均値で硫酸ナトリウムの相図に示す(図 4)。この結果から、調査期間中の多くの日で温湿度は Thenardite の安定する領域で推移していることが示された。そのため、遺構面では Thenardite が溶解した場合、溶解度の低い Mirabilite の過飽和塩溶液となり、ついで、Mirabilite

が析出すると考えられる。この際の高い結晶圧により遺構の破壊が起こることが先行研究でも指摘されており[4]、18 号窯においても同様の劣化が起きていると考えられる。

図 3 に熱電対による埴輪片の表面温度の測定の結果を示す。開館時間中は埴輪片の温度が上昇し、閉館後に急激な温度低下が起こっていることが明らかとなった。加えて、赤外線水分計による吸光度測定の結果からも埴輪片(図 2, No. 2-4)が常に高含水状態であることが示唆された(表 2)。したがって、照明からの熱の供給により埴輪片の水分蒸発が促進され、硫酸ナトリウムの析出を引き起こしていると考えられる。

赤外線水分計による吸光度の測定結果(表 2)から、遺構面下部(図 2, No. 5)に比べて遺構面上部(図 2, No. 1)は高い含水状態を示し、遺構側面の鉛直方向では、上部(図 2, No. 6-上, 7-上)に比べて下部(図 2, No. 6-下, 7-下)の含水状態が高いことが示された。したがって、硫酸カルシウムは遺構側面の埴輪片や側面下部など高含水状態の箇所に選択的に析出していることが明らかとなった。一般に、硫酸カルシウムは難溶性の塩とされる。遺構土壌と埴輪片の透水性状については現時点で実測していないため推測の域を出ないものの、埴輪片は透水性状が高いと考えられることに加え、赤外線水分計の結果(表 2)から、埴輪片周辺(図 2, No. 1-4, No. 6)は他の遺構面に比べて高含水状態にあることから、埴輪片表面では積算の水分蒸発量が他の遺構面と比較して多く、その結果硫酸カルシウムが選択的に析出したと考えられる。

今後の課題 硫酸ナトリウムの析出が特に顕著な冬期において、温度と湿度の低下を防ぐことで硫酸ナトリウムによる遺構の劣化を抑制し得る環境へ移行すると考えられる一方で、硫酸カルシウムが遺構表面に析出する環境に移行すると考えられるため環境制御の最適化について更なる検討を要する。

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

【参考文献】1) 高槻市教育委員会, ハニワ工場公園 新池埴輪製作遺跡整備事業報告書(1995) 2) A.Elena Charola,Josef Puhringer,Michael Steiger, Gypsum:a review of its role in the deterioration of building materials, Environ Geol,52:339-352(2007) 3) Robert J.Flatt, Salt damage in porous materials : how high supersaturations are generated, Journal of Crystal Growth 242:435-454(2002) 4)Nicholas Tsui,Robert,J.Flatt,George,W.Scherer, Crystallization damage by sodium sulfate, Journal of Cultural Heritage, 4:109-115(2003)

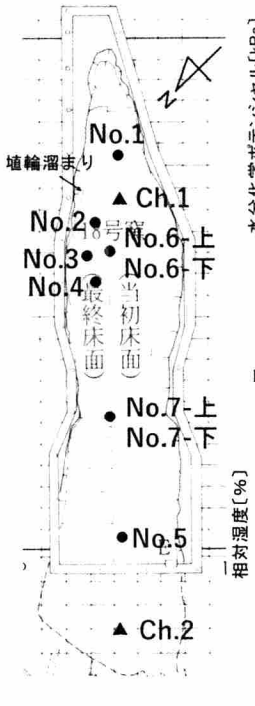


図 2 水分化学ポテンシャルと吸光度測定箇所

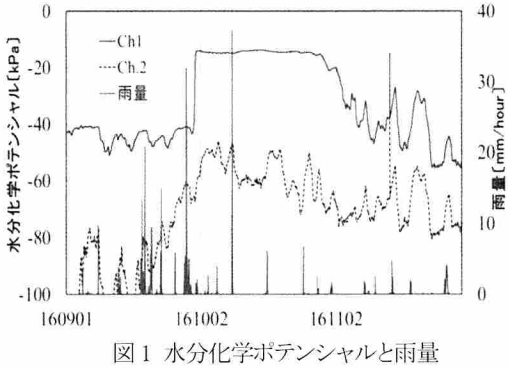


図 1 水分化学ポテンシャルと雨量

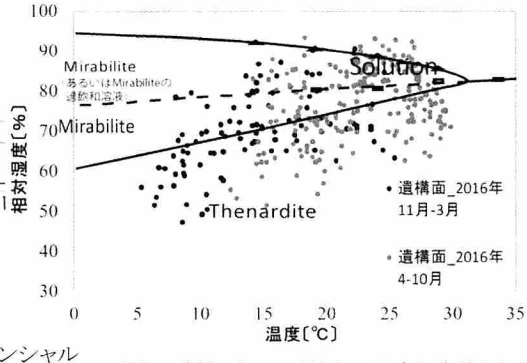


図 4 遺構面の日平均と温湿度と硫酸ナトリウムの相図(Flatt 2002[3]に筆者が加筆)

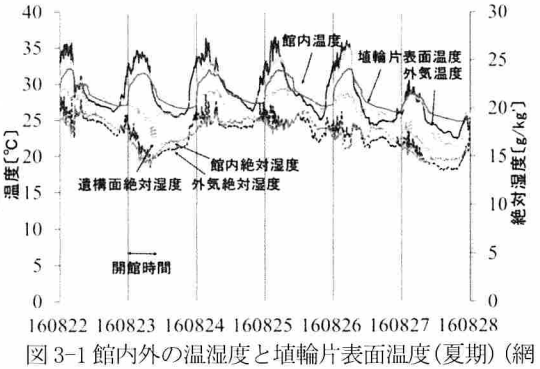


図 3-1 館内外の温湿度と埴輪片表面温度(夏期)(網かけ部は開館時間)

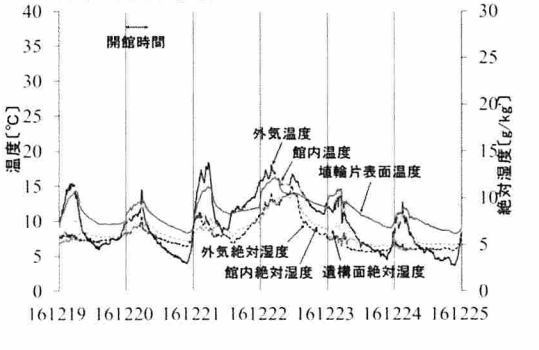


図 3-2 館内外の温湿度と埴輪片表面温度(冬期)(網かけ部は開館時間)

建造物塗装の劣化に関する研究 -塗膜および木材中の水分について-

The research about the deterioration of paintings on building
-Focusing on the moisture contained in painting layers and wood-

○長﨑 紀子（京都大学）、脇谷 草一郎（奈良文化財研究所）、髙妻 洋成（同左）
○Noriko Nagasaki(Kyoto University), Soichiro Wakiya, Yohsei Kohdzuma (Nara National Research Institute for Cultural Properties),

1. はじめに 建造物塗装の劣化には、材料中の熱水分移動や照度の変化などが複雑に影響しており、現在、その理解は定性的なものにとどまっている。建造物の塗装に生じる劣化を抑制するためには、周辺環境が塗装の劣化におよぼす影響を定量的に評価する必要があるが、伝統的な材料および技法によって塗装が施された古社寺等の歴史的建造物は、現在に至るまでに当初の材料、仕様、修理の有無といった情報が失われてしまっている。そのため、劣化による状態の変化量や変化速度の評価が困難となっている。本研究では塗装の材料および技法に関する情報が明らかな復原建造物である平城宮跡第一次大極殿を対象として、気象条件の実測調査とあわせて塗装に生じる劣化の経時変化の調査、ならびに室内実験による劣化促進実験をおこない、周辺環境が劣化の発生におよぼす影響について定量的な検討を加え、塗装の劣化を抑制する環境の制御と改善の方法について提案することを目的としている。本報では、劣化要因のひとつと考えられる材料中の水分移動や、それが引き起こす劣化の様態について検討した。

2. 平城宮跡第一次大極殿の環境調査

2-1. 大極殿の塗装劣化について 既報では、平城宮跡第一次大極殿の塗装劣化には、おもに亀裂、剥離、剥落、変色、褪色がみられると述べた。特に、外部南面の側柱では、基材であるヒノキの繊維方向に細かく亀裂が生じ、亀裂に沿った変色、剥離、剥落が南方向で顕著にみられた。亀裂に沿った変色は、分光測色計ならびに赤外線水分計を用いた調査により、周辺の色より暗色化するとともにくすみを帯び、水分量が高いことが示唆された[1]。

2-2. 環境調査の概要 上記の劣化は大極殿の周辺環境が大きく関係していると考えられ、平成28年8月より大極殿内外で周辺環境の実測調査を開始した。調査項目は、建物内外の温湿度測定、外部側柱ならびに内部柱における各方位の表面温度の測定、日射計ならびに紫外線日射センサー、照度センサーによる日射量と紫外線量、照度の測定である（図1）。

2-3. 調査結果 外部側柱では南面を中心として秋冬季の夜間から朝方にかけ表面温度が露点温度を下回り、結露が生じている可能性が示された（図2）。さらに、外部側柱南面には、太陽高度が低くなる秋分以降直達日射があたっており、表面温度計を設置している約2メートルの高さに直達日射があたる平成28年10月16日以降は、表面温度も顕著に上昇している。

以上のことから、秋冬季の外部側柱では結露が生じている可能性から木材と塗膜は湿潤な状態となり、また、特に南面において秋分以降春分までに直達日射があたることで木材内部と塗膜からの水分の蒸発が促進されている可能性が示された。したがって、柱南面では1日のうちに水分の吸収と蒸発が繰り返され、塗装の亀裂や剥落等の劣化現象に関係していると推察された。

3. 実験について

3-1. 実験の方法 環境調査を受けて、塗装木材と無塗装木材の透湿抵抗の差異について、また、塗装木材の塗膜表面での水分の付着が引き起こす状態について検討するための透湿実験をおこなった。実験はカップ法[2]により、表1の試料条件とした。蒸留水を入れたカップの上部に塗装木材を蓋として、塗装面を下向きに設置し、周囲をシールしたのち、シリカゲルを入れたデシケータ内に静置した。湿気はカップの内部から塗装木材を透過するため、カップの重量を秤量し、その減量から、塗装木材を透過した湿気量を測定した。また、結露や雨水による濡れが塗装木材に対しておよぼす影響を評価するため、表面結露や雨水を想定した水の滴下実験ならびに接触角の測定をおこなった（測定機器：協和界面化学株式会社製 接触角計 PCA-1、測定条件：5回測定平均、測定待ち時間 1000 ミリ秒、滴下液量 2 μL）。塗装木材と無塗装木材を用意し、木材の割れを想定した切れ込みを平行に2本入れ（表1）、片側一方に蒸留水を数滴滴下した。その後、塩化マグネシウムで調湿したデシケータ内(20℃、33%RH)で24時間静置したのちに硝酸カリウムで調湿したデシケータ内(20℃、95%RH)で24時間静置した。接触角の測定は、塗装木材と無塗装木材の表面状態の違いを評価するためにおこなった。接触角が大きいほど表面は撥水性で

あり、小さいほど親水性を示す。さらに、それらの試料に対し観察および分光測色計による測色をおこなった（測定機器：ミノルタ社製 CM-2022、測定条件：光源 D_{65}、SCE、視野 10°、3 回平均）。

3-2. 結果と考察 透湿実験の結果得られた透湿係数は、塗装木材が 1.28×10^{-9}[kg/(㎡・s・Pa)]、無塗装木材が 1.56×10^{-9}[kg/(㎡・s・Pa)]であり、既知の針葉樹材と比較すると[3]ごく近い値を示したが、塗装の有無に関わらず、それぞれの値に大きな差異はみられなかった。すなわち、今回の実験では塗装の有無が湿気の透過量を左右するとは言い難く、外気と木材内部間を移動している湿気は塗膜を介しても同様の挙動を示すと考えられる。水滴下実験の結果、無塗装木材が水の浸透に時間がかかるのに対し、塗装木材は滴下してすぐに水分が塗膜面に対し水平方向に広がり、次いで木材と接する垂直方向に浸透していくことが明らかとなった。濡れ性を示す接触角の測定からも、無塗装木材は接触角 65°、塗装木材は 18.4° となり、塗膜によって表面が親水性となることが読み取れた。さらに、塗装木材試料は水滴下後に乾燥、湿潤状態を経たのちも、水の染み跡周辺の変色は消えなかった。これは水平方向に広がった水分が運んだ膠着成分の凝集であると考えられる。測色の結果、実験前の試料と透湿実験ならびに水滴下実験後の色差は、透湿実験後 $\Delta E^*ab=3.96$、水滴下実験後 $\Delta E^*ab=3.90$ で、いずれも L*値（明度）が低下、a*値と b*値も低下するという暗色化、彩色化がみられた（図 3）。この傾向は、既報で述べた大極殿での変色部分と同様である。

4. まとめ 以上のことから、建造物塗装において水分は塗装の有無によらず外気と木材内部間を移動し、木材の膨潤と収縮に寄与していることが示された。さらに塗装木材においては、結露水や雨水などが塗膜表面に付着した場合、水分は塗膜面と平行方向に移動したのち、直交方向に移動し、亀裂周辺に膠着成分を凝集させ、変色につながることが示唆された。膠着成分が周辺へ拡散したのち凝集することで、中心部の膠着成分は薄くなり、剥離や剥落に至っていることも考えられるが、成分分析をおこなうなど、今後さらなる検討が必要である。木材の吸放湿による膨潤と収縮は、性質上避けようのないものであるが、今後は、その挙動に追従する塗膜が、亀裂や剥離、剥落を起こしはじめる閾値をあきらかにし、さらに膠着剤や顔料等材料による挙動の差異を明らかにする必要がある。また、膠着成分の凝集による変色をおさえるためには、結露の発生を抑制し、雨水などの水が直接付着するのを防止する必要がある。

【謝辞】本調査にあたり、文化庁文化財部記念物課に多大なるご協力をいただきました。ここに記して感謝申し上げます。

【参考文献】1）長﨑紀子・脇谷草一郎・髙妻洋成（2016）特別史跡平城宮跡第一次大極殿正殿の塗装の現状について、文化財保存修復学会第 38 回大会研究発表要旨集 pp242-243、2)JIS A 1324:1995「建築材料の透湿性測定方法」、3）田中俊六ら『最新建築環境工学[改訂 4 版]』、井上書院（2014）pp250

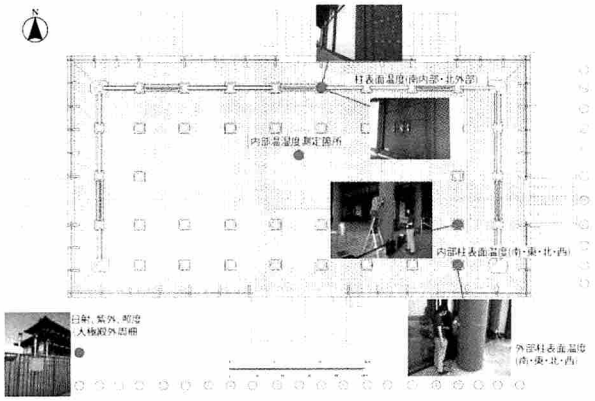


図 1 大極殿環境調査箇所

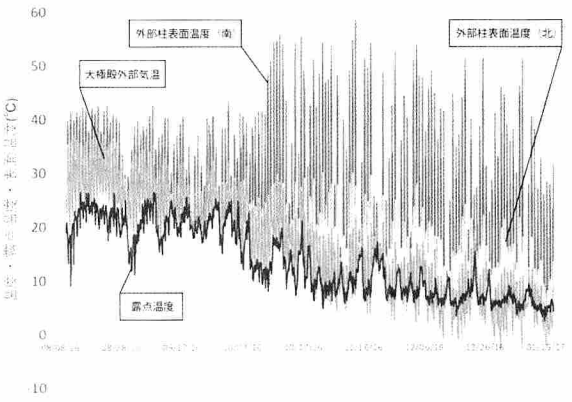


図 2 大極殿外部気温、露点温度、外部柱表面温度グラフ

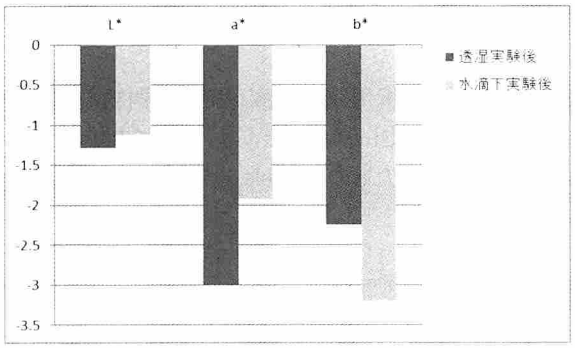
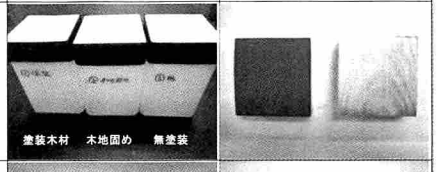
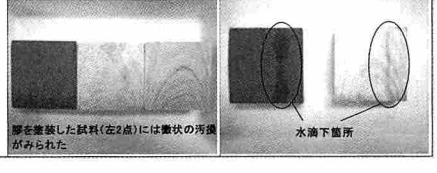


図 3 実験後の色変化

表 1. 実験試料の条件

実験試料		
材料	ヒノキ（板目）、膠、酸化鉄系赤色顔料	
仕様	木地固め、塗3回仕上げ	
実験内容	透湿実験	水滴下実験（接触角実験も同様）
寸法（mm）	55×55×20 （透湿面積は50×50）	50×50×20
実験前		
実験後		

保存処理済み出土木製品の現状調査とPEG低分子化因子の検討

Condition Survey on Conserved Waterlogged Wood and Examination of PEG Low Molecular Weight Factor

○米村祥央(東北芸術工科大学)
○YONEMURA Sachio (Tohoku University of Art and Design)

1. はじめに

出土木製品の本格的な保存処理が我が国で実施されるようになって既に半世紀が過ぎた．多くの場合全国的な開発に伴う緊急発掘調査によって出土した木製品の保存処理が進み，それに伴って処理の技術も向上してきた．樹種などによる難題に対しても異なる処理法が開発され，現在はトレハロースが新たな薬剤として処理事例が広がっている．保存処理は，処理後に収蔵庫レベルの環境で保管されることが前提としてなされているが，現実的には環境が整えられていない空間に置かれている例が多い．想定されていない環境の下では問題が発生することが考えられ，伊藤らの調査によって全国各地で発生した事例が報告されている．

発表者は，出土木製品の保存処理に継続的に利用されているポリエチレングリコール（PEG）の分子量分布変動に伴う物性変化について研究を続けてきた．これまでの研究では，問題発生事例を報告するとともに，酸素の過剰供給や融点を大きく超えた温度での加熱，低濃度時の問題について報告してきた．今回，新たな調査によって，割れや崩壊，薬剤の染み出し等，PEG処理以外でも問題が発生していることが明確になった．さらに，PEGの低分子化に関して，新たに要因因子を検討し，金属の陽イオンや塩分等との関係性について実験しいくつかの結果が得られたため，保存処理現場と保管環境の状況を想定した中で対策を検討したい．本研究は問題事例と処理法，環境とが関連したものであり，処理法に関してはより適した方法，保管に関しては環境改善につながる情報となることが期待される．

2. 研究方法

2－1. 遺物調査

出土木製品を保管している施設において遺物の状態を調査し，問題発生の有無や状態を確認した．さらに，問題が発生していた木製品表面より，溶出後に固化したと考えられるPEGを採取した．採取したサンプルの1wt%水溶液をゲルパーミエーションクロマトグラフィー（GPC）で分析した．GPCの分析条件はTable 1に示した．

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	昭和電工株式会社製 Ohpak SB-806M HQ
カラム温度	40℃
送液速度	1mL/min

2－2. 実験

ポリエチレングリコール#4000 試薬（関東化学株式会社製）50.0gに分析用鉄標準液（関東化学株式会社製，1.00mg Fe/mL）を添加し（1，3，5mL），65℃と80℃の恒温オーブン内に静置した．14日毎に少量のサンプルを採取した．サンプルを固化させた後に粉砕し，1wt%の水溶液にしたものをTable 1の条件でGPC分析した．

3. 結果と考察

3－1. 遺物調査

多くの機関と同様，調査した施設は一部の遺物を除いて空調のない収蔵設備で保管されており，いくつかの問題を確認することができた．これまでの報告同様，薬剤が溶出した痕跡，割れ，補填材の劣化を確認した．また，ラクチトール使用の遺物で複数に割れた例を確認した．

Fig.1 は薬剤の溶出痕跡がある遺物の表面である．薬剤は繊維方向に移動しやすいため木口面に溶出すると予想できるが，板目面に確認できる．この現象は他の調査例にも確認でき，メカニズムの検討を要している．Fig.2 はラクチトールで処理された履歴のある遺物である．PEG で処理された遺物と比較して明るく乾いた印象のある表面であるが，全体が内側から割れている様子がわかる．保存処理が終了し保管されている間に発生したこの現象については原因が保管環境に原因があるのか，処理の方法や技術にあるのか現段階で明らかではない．ラクチトールでの保存処理は現在実施されていないが，原因を明らかにし処理後にこうした問題が発生する可能性があるということを知ることで，保管環境の改善を図ることができる．

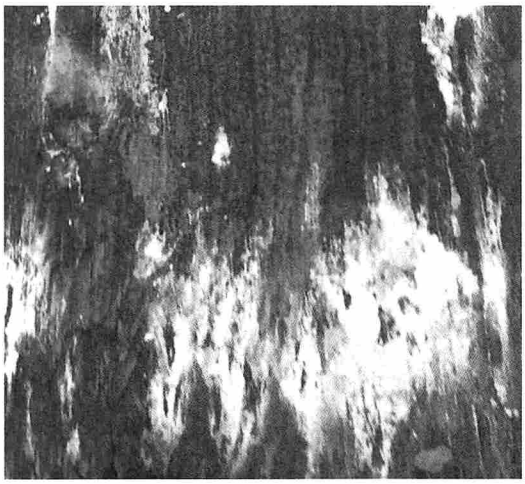


Fig.1 PEG 溶出後固化した表面

Fig.2 遺物全体が割れた事例

3－2. 実験結果

先の研究結果でも示しているように，65℃と80℃の温度差では，PEG の低分子化速度は大きく異なる．14 日間の加熱では常温下で固まらなくなる程には低分子化しないが，低分子化は進んだ．鉄標準液を添加させた液には酸化鉄の沈殿が生じ，添加していない PEG より固化温度が低くなると同時に，固化過程の様子が異なるものとなった．これは PEG の低分子化と鉄分の存在による PEG の凝固点降下が合いまった現象と考えられる．

実際に出土木製品を保存処理していると，木胎に含まれた鉄分が液中で酸化鉄の沈殿となっている現象を確認することが多い．かねてから，この鉄分が低分子化に関与していると考えられていたが，今後の研究展開で，その詳細を明らかにすることができると考えている．保存処理後に発生した問題については，原因が保管環境にあるのか，処理の技術等にあるのかを明確にすることが難しいが，要因と考えられる因子を実験的に検討することによって問題発生を抑制することができる．今後も実地調査と実験室的な検討の両面から研究を進め，保存処理と収蔵保管をより高いレベルで進めるための情報としたい．

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:「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」，日本文化財科学第 26 回大会要旨集(2009)
3) Jeans Glastrup et al, Macromal. Symp. 2006, 238, 22-29

ハギア・ソフィア大聖堂の壁体内蓄積塩と周辺大気降下物中のイオン成分分析

Chemical analysis of contaminated salts within the walls and surrounding atmospheric deposition in Hagia Sophia, Istanbul

○水谷悦子(京都大学)、小椋大輔(京都大学)、石崎武志(東北芸術工科大学)、安福勝(近畿大学)、佐々木淑美(東北芸術工科大学)

○Etsuko Mizutani(Kyoto University), Daisuke Ogura(Kyoto University), Takeshi Ishizaki (Tohoku University of Art And Design), Masaru Abuku(Kindai University), Juni Sasaki (Tohoku University of Art And Design)

1 はじめに　ハギア・ソフィア大聖堂では硫酸ナトリウムや硝酸ナトリウムをはじめとした複数種の塩析出と内装材剥落が確認されている[1]が塩の供給源は明らかになっていない。本報では、大聖堂において劣化が最も顕著な第 2 コーニスの北西部壁面の室内外で剥落した材料中に含まれる塩をイオンクロマトグラフ分析により把握する。さらに、大聖堂敷地内で採取した大気降下物に含まれる成分を分析し、外部環境から供給される塩と壁体内蓄積塩との関係を検討する。

2.材料中に含まれる溶存イオンの分析　第 2 コーニス(図 1)の北西部の外壁の屋外側(2011 年～2012 年に採取)および屋内側(2015 年採取)で剥落した内外仕上げ材、レンガ、目地モルタル(図 2)および 2013 年の西側外壁の修復に使用されたレンガ、仕上げモルタル、下塗りモルタル中に含まれる溶存イオン成分をイオンクロマト分析の結果から分析する。なお剥落した材料の曝露年数は不明である。分析には粉状化した資料を水と質量比 1:4 で混合し、超音波洗浄機で 1 時間攪拌し十分静置した後、ろ過した溶液を使用した。図 3 に分析結果を示す。これらの溶存イオン成分は既報[1]で報じられている第 2 コーニス北西部の主な析出塩である硫酸ナトリウム(Na_2SO_4)、硝酸ナトリウム($NaNO_3$)、硫酸カルシウム($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)と概ね対応するが、塩化物イオン(Cl^-)を含む塩類は北西壁面において今までのところ確認されていない。大聖堂は海から 1km 圏内に立地し、塩化物イオン(Cl^-)は海水に由来している可能性が高い。北西部において海水の主成分である塩化ナトリウム(NaCl)は析出塩として確認されておらず劣化に直接的に影響している可能性は低いが、その含有量は陰イオンの総量の 50%以上も占めることから塩溶液の移動特性や析出塩の Na の供給に対して影響を及ぼしているものと考えられる。また室内外のイオン成分量を比較すると室内側で採取した材料に含まれるイオン成分量が多くなる傾向が見られた。今回得られた材料中の塩蓄積量の分布の形成要因を明らかにするためには、これらのイオンの供給源と壁体内での溶液の移動と蒸発を総合的に考慮した検討が必要であり、そのための数値解析モデルの開発を現在進めている。

3. 周辺大気降下物中に含まれるイオンの分析　材料中の溶存イオンの供給源は材料由来のものと外部環境から供給されるものが挙げられる。第 2 コーニスにおいては地下水の影響は小さいと

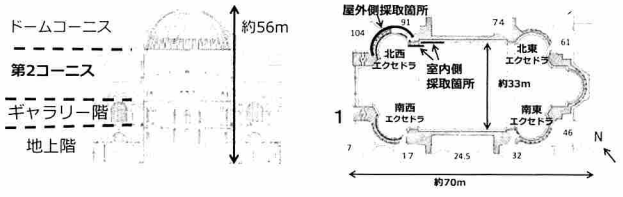


図 1 サンプリング箇所 (左:立面図、右:第 2 コーニス平面図)

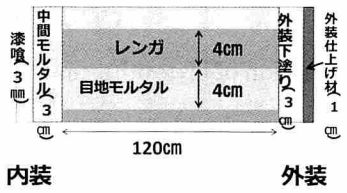


図 2 第 2 コーニスの主な壁体構成

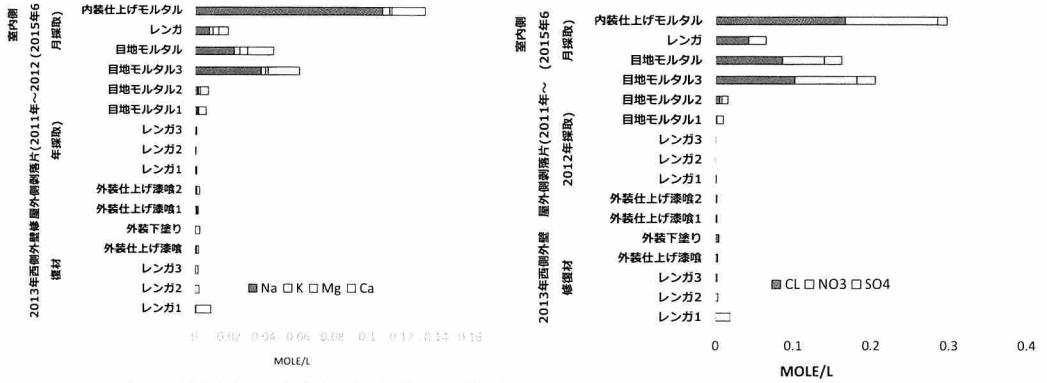


図 3 材料中に含まれるイオンの分析結果(左:陽イオン、右:陰イオン)

考えられることから、外部環境からの供給としては飛来海塩粒子を含む大気降下物の付着、浸透が挙げられる。本報では 2016 年 11 月に大聖堂敷地内(地上)の北西および南東の 2 箇所において採取した大気降下物をイオンクロマトグラフにより分析した結果を示す。大気降下物はプラスチックケースを 1 測定点あたり 3 個設置し 24 時間静置することで捕集した。分析により、大気降下物中のイオンの種類と材料内に蓄積されたイオンには相関が見られた(図 4、陽イオンは図省略)。降雨のあった 3 日と 4 日の降下物量には増加が見られ、壁面への雨水浸透が塩の供給に大きな影響を与えている可能性が高い。また硫酸イオンのうち海由来と考えられるものは 2%以下であり、大半が人間の活動に起因する。イスタンブールでは産業や交通といった人間の活動由来の SO_2 排出量が 1980~90 年の 10 年間で 3.7 倍となっており[2]、近年特に変化が大きいものと考えらえる。

4.まとめ 大聖堂の材料中に含まれる成分の大半は析出塩の組成と一致したが、析出塩の成分として確認されていない塩化物イオンも多量に含まれていることが明らかになった。また、大気降下物中のイオンの種類と材料内に蓄積されたイオンには相関が見られた。今後大気降下物の付着と浸透が塩の蓄積、生成にどの程度影響を与えるのか検討が必要である。大気降下物の組成に対してはイスタンブールの交通や産業活動が大きく影響している可能性が示唆された。

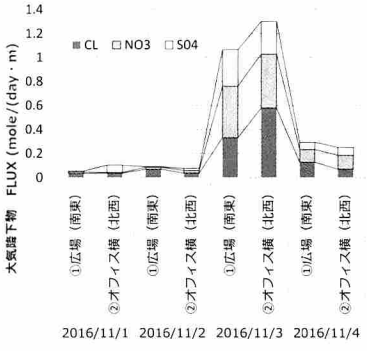


図 4 大気降下物中の陰イオンの分析結果

参考文献 1) 佐々木淑美ら,ハギア・ソフィア大聖堂内壁の析出塩類の調査, 保存科学, 51, pp.303-312, 2012 2) R. Friedrich, S. Reis, Emissions of Air Pollutants Measurements, Calculations and Uncertainties, Springer, pp.318-320, 2004

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

キトラ古墳壁画搬送時の熱・水分環境評価

Evaluation of Hygrothermal Conditions during Transport of Mural Paintings of Kitora Tumulus

○脇谷草一郎[1)]、高妻洋成[1)]、柳田明進[1)]、金旻貞[1)]、和田浩[2)]、宇田川滋正[3)]、建石徹[3)]
[1)] 奈良文化財研究所、[2)] 東京国立博物館、[3)] 文化庁
Soichiro Wakiya [1)], Yohsei Kohdzuma [1)], Akinobu Yanagida [1)], Min-jung KIM [1)], Hiroshi Wada [2)], Shigemasa Udagawa [3)], Toru Tateishi [3)]
[1)] Nara National Research Institute for Cultural Properties, [2)] Tokyo National Museum, [3)] Agency for Cultural Affairs, Japan

1. はじめに

2016年8月および同年12月に、修理を終えたキトラ古墳壁画を2回に分けて展示保管施設まで輸送した。本報では壁画搬送時における壁画輸送ケース内の温湿度データについて報告する。

2. 調査方法

温湿度の測定は搬送ケース外枠とケース内側に固定した温湿度計で実施した。ケース内側の測定には無線通信できるものを使用し（TandD社製）、ケース外側ではOnset社製のものを使用した。搬送に先立ち、これらの計器の機器差の有無について、飽和塩法によって調湿した密閉容器内で確認したところ、TandD社製の計器はOnset社製のものと比較して相対湿度の測定値が約10%低い値を記録した。一方、温度については両者に差異は認められなかった。これらの結果から、相対湿度の確度が高いケース外の温湿度測定結果から環境の露点温度を算出し、温度については相応に確度が高いと考えられるケース内の温湿度計の温度との比較から搬送時における壁画の結露発生リスク評価をおこなった。

3. 結果と考察

3．1　第1回目搬送時（2016年8月24日、西壁、南壁、天井、図1）

温度、相対湿度変化（図1上）（南壁、天井参照、西壁はケース外のデータが欠測）　壁画搬送時、ケース外の相対湿度は急激に増加したが、南壁ケース内では相対湿度は一定値を示し、西壁と天井では3%程度の増加が認められた。いずれの壁画においてもケース内の温度は上昇していることから外気からケース内へ湿気の流入が若干生じたと考えられる。しかし、相対湿度変化はわずかなものであったことから、壁画の含水状態変化については非常に軽微であったと推察される。

温度、絶対湿度変化（図1中）　上述の通り、西壁、天井では搬送中にケース内において絶対湿度の増加が認められた。壁画保管室に搬入後は一定値を示し続けたことから、搬送中に外気由来の湿気がケース内に侵入したものの、絶対湿度量は壁画保管室とおおむね同程度にあり、湿度変化の頻度は最小限度に抑えられたと考えられる。なお、ケース内の相対湿度測定値は誤差大のため、ケース内外の両者の絶対湿度は実際には一致していないと考えられる。

露点温度（図1下）　夏期は外気の絶対湿度が高いことから、高松塚古墳壁画修理施設から搬出された際がもっとも結露発生の危険性が高いと考えられる。実際、ケース外の測定結果から算出された露点温度は、搬出時に急激に上昇している様子が認められた。しかし、ケース内部の温度がわずかに露点温度を上回っており、結露の発生には至っていないと考えられる。

3．1　第2回目搬送時（2016年12月07日、北壁、東壁、図2）

温度、相対湿度変化（図2上）　ケース内においては温度、相対湿度ともに搬送の前後、および搬送中も顕著な変化は認められず、概ね一定値を示した。したがって、壁画の含水状態は搬送作業を通して概ね一定であったと考えられ、壁画に対して環境がおよぼす影響は殆どなかったものと推察される。一方、ケース外では修理施設からの搬出時、および保存管理施設への搬入時における温度変化が緩慢であった。これは、ケースの熱容量の影響を受けていると考えられ、したがって、相対湿度は搬出直後、および搬入直後はそれぞれ大きく低下、および増加しており、ケース近傍の空気は急激に相対湿度が変化したと考えられる。なお、これらの傾向は北壁と東壁において共通であった。（以下の結果も同様）

温度、絶対湿度変化（図2中）　ケース内の温度と相対湿度が概ね一定であったことから明らかなように、ケース内の絶対湿度は搬送作業を通して概ね一定値を示した。ただし、ケース内相対湿度の測定値の確度は低いことから、絶対湿度の絶対値については大きな誤差を含むと考えられる。また、搬送前後の絶対湿度も変化しなかったことから、修理施設と保存管理施設の両施設において、絶対湿度は

概ね同等であったと考えられる。

露点温度（図２下）　冬期では外気の絶対湿度が低く、搬送時に壁画の温度低下が生じる可能性があることから、保存管理施設への搬入時に壁画の結露発生の危険性が高いと考えられる。しかし、先述の通り、両施設の絶対湿度が概ね同等であることから、両施設内空気の露点温度は概ね等しく、かつ壁画搬送時においてケース内の温度低下を抑制し得たことから、搬送作業を通して結露は一切発生しなかったと考えられ、水分環境として極めて安定していたと考えられる。

4. まとめ

キトラ古墳壁画搬送時の温湿度計測をおこない、１）８月の壁画搬送時、南壁ケース内では相対湿度は一定値を示し、西壁と天井では３％程度の僅かな増加が認められた。また、２）１２月の壁画搬送時では、ケース内においては温度、相対湿度ともに搬送の前後、および搬送中も顕著な変化は認められず、概ね一定値を示したことから、壁画の含水状態は搬送作業を通して概ね一定であったと考えられた。以上の結果から、３）キトラ古墳壁画の輸送時において、壁画が描かれた漆喰の含水状態は安定した状態にあったことが裏づけられた。

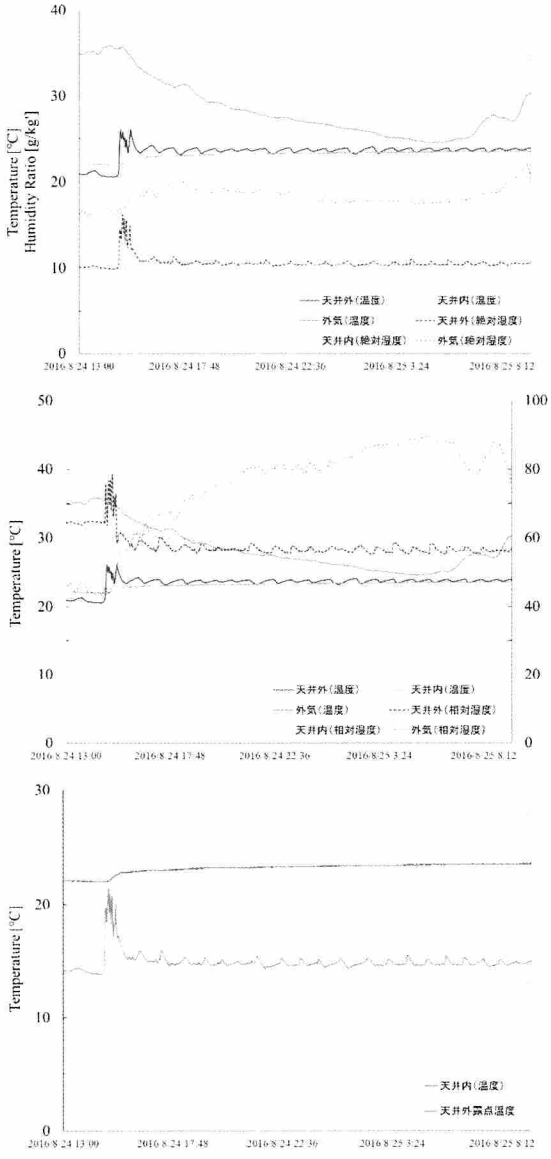


図１　第１回搬送時（天井壁）の温度、相対湿度、絶対湿度、露天の変化（上図は温度、相対湿度、中図は温度と絶対湿度、下図は温度と露点を示す。）

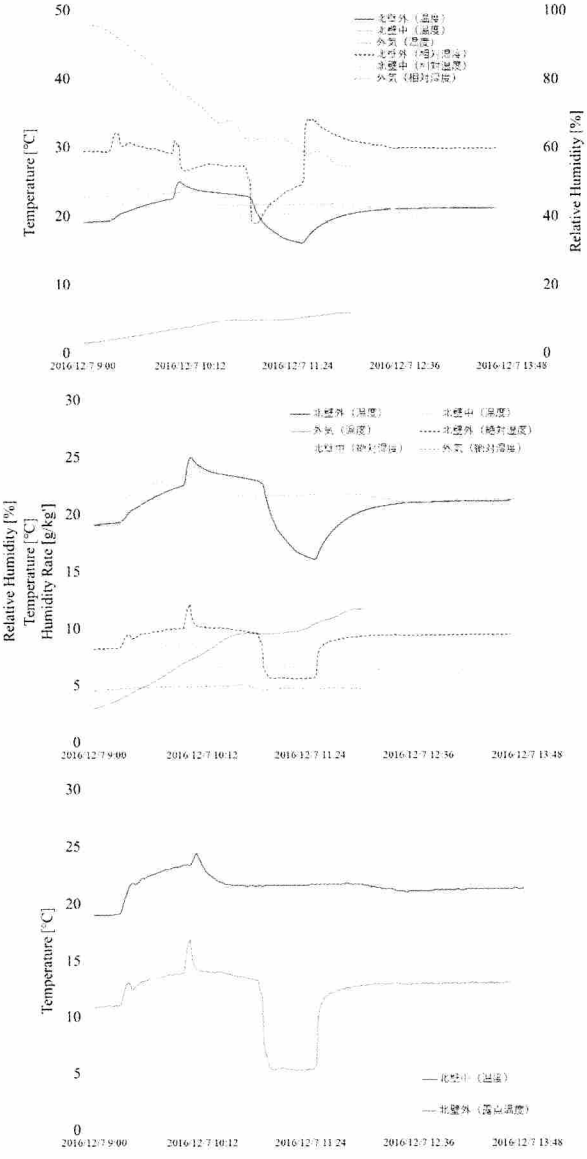


図２　第２回搬送時（北壁）の温度、相対湿度、絶対湿度、露天の変化（上図は温度、相対湿度、中図は温度と絶対湿度、下図は温度と露点を示す。）

遺跡出土の編みかごの保存処理方法の研究

The study of Method preservation processing a basket excavated from ruins

○金原裕美子（一般社団法人文化財科学研究センター）、田中友貴恵（一般社団法人文化財科学研究センター）

○Kanehara Yumiko (Cultural assets scientific research center), Tanaka Yukie (Cultural assets scientific research center)

1．研究目的

編みかごが出土する遺跡は、低湿地であることや海や河川の近くであること、またよく湿った状態の粘土によって包含された状態であったことなどのとても良い保存条件下であることが多い。また、編みかごの出土は縄文時代から弥生時代からであることが多い。編みかごは脆弱であるため取上げる場合には編みかごが出土した土壌ごとブロック状に切り取り、遺跡から持ち出される。本研究では、遺跡から土壌ごと持ち出された編みかごから土壌を取り除き単体で形状を保つことを可能にするための保存処理方法を行うことを目的としており、本発表はその初段階である。

2．編みかごの保存処理

土壌ごと切り取られた編みかごの保存処理を行うには編みかごの表面を洗浄し、編みかごの下面に残った土壌とともに樹脂や溶剤で固める方法が主流である。この方法は編みかごの出土状況を保ち、土坑に編みかごがある場合などは遺構との相関から後世の研究に利用出来る利点がある。しかし遺構との相関関係がない編みかごの場合であっても編みかごの脆弱さから土壌ごとの保存を行わざる得ない例が多い。

土壌ごと保存処理を行うことの問題は、土壌に含まれる菌類によってカビや異臭が発生する点、土壌に含まれる水分のために保存処理を行った土壌や編みかご表面が白色変化を起こす点、土壌が割れることで編みかごもともに割れてしまう点などがあげられる。なお、編みかごの表面に白色変化が見られる点は原因として土壌中の水分が残っており、時間が経過すると水分が蒸発するために上部に上がってきて、編みかごや土壌に含浸した樹脂や溶剤が湿気によって変色した可能性や、海の近くから出土している場合粒子の細かい土壌が水分の上昇とともにきわめて表面に近い土壌から表面に進出してきた可能性が考えられる。また、土壌ごとの保存処理を行うことによって土壌にも樹脂や溶剤が含浸されるので重量が増し、運搬が容易でなくなることがある。土壌が割れてしまう点に関しては土壌の周囲をエポキシ樹脂などで固めるなどの対処方法があるが、それによってより重量が増してしまう。

これらの問題点は編みかごが脆弱であることと、ともに保存処理を行う土壌に含まれる菌類と水分が悪影響を及ぼすことに起因していると考えられる。

3．問題点の解決案

編みかごの保存処理で問題となる土壌を完全に取り除くためには、編みかごの上部を洗浄したのちにひっくり返して下面に残る土壌を洗浄することがよいが、そのためには編みかごに一定の強度が必要とされる。解決案としては土壌ごと編みかごの保存処理を行いそののちに下面の土壌を取り除く方法と、土壌ごと取上げた編みかごを表面的に強化したのち下面の土壌を取り除きながら編みかごの保存処理を行う方法が考えられ、前者は現在進行中である。

土壌ごと編みかごの保存処理することはこれまで行われてきたため、編みかごに強度を与えることは可能だが、土壌に対しても保存処理を行うので土壌も強化されてしまい、土壌を取り除くのは可逆性のある樹脂や溶剤であり、遺物に負担を与えず遺物から必要以上に樹脂や溶剤を抜いてしまわない方法である必要がある。編みかごを表面的に強化したのち下面の土壌を取り除く方法は表面的な強化

で土壌の除去のストレスに遺物が耐えられるのかどうかが課題となる。

４．研究経過

現在試料をトレハロース含浸法で土壌ごとの保存処理を行っており、以下はその方法である。

１）土壌の下部と側面に石膏包帯を巻き強化する。

２）静かに水を塗布しながら、筆や竹串などで表面の砂粒や汚れを落とす。

３）20％トレハロース水溶液に浸漬し、温度をかけながら２週間ごとに10％ずつ濃度を上昇させる。含浸期間は９月２日から12月２日までの約３ヶ月で最高濃度70％である。なお、試料の形状が変化する可能性が高いため完全にトレハロース水溶液には浸漬させず、試料にトレハロース水溶液が届くか届かないか程度の水深で含浸を行い、試料表面にはトレハロース水溶液で湿らせた不織布をかぶせ、毎日朝昼夕に不織布の上からトレハロース水溶液を滴下した。試料は密閉できるタッパーに入れた状態で乾燥を防ぐために含浸槽内で湯煎状態で加温した。

４）含浸の様子をみながら糖液よりあげ、表面に70％トレハロース水溶液を塗布する。

５）風乾し結晶化を促す。

６）上部にPPシートを敷いたのち布や綿で養生し、平らにしたらアクリル板で抑えてひっくり返す。

７）土壌側面の石膏包帯は残して底部の石膏包帯を取り除き、土壌の除去を半田コテとホットエアを利用しトレハロースを溶かしながら行う。

８）試料に到達したらスチーミーと半田コテを利用しながら土壌の除去および余分な砂糖の除去を行う。側面の石膏包帯は土壌の層厚に合わせて取り除いていく。

９）砂糖の除去と同時に形状が崩れそうな部分は接着剤で固定する。

10）ひっくり返し上部の砂糖を半田コテを利用しながら取り除く。形状が崩れそうな部分は接着剤でその都度固定する。

なお、現在この方法の５）まで行っており、進行中である。

５．今後の予定

まず、土壌ごと保存処理を行ってから土壌を取り除く方法を最後まで行う。そしてもう一つの解決案である試料部分の強化をまず行う方法では作業としてはトレハロース水溶液を噴霧や滴下による含浸を行い風乾して試料部分の強化を行うが土壌ごとの保存処理と強化の差なども比較検討を行っていきたい。

また、含浸処理を行う前の試料が湿った状態のときに破損部などの接合・重点が必要になってくる場合があるが、木質試料が湿った状態で接合が可能なのか、また処理中や表面処理後に接着剤や接着剤がしみ込んだ部分が白色変化を示すなどの影響があるのではないかと考えているため、接着剤の評価検討を行う予定である。

奈良国立博物館所蔵　地蔵菩薩坐像・竜樹菩薩坐像のX線CT調査

X-Ray CT investigation of the Jizobosatsuzazou, Ryujyubosatsuzazou, collected in Nara National Museum

○鳥越　俊行、楠井　隆志、赤田　昌倫、岩田　茂樹、岩井　共二、山口　隆介、大江　克己、今津　節生
○Torigoe Toshiyuki, Kusui Takashi, Akada Masanori, Iwata Shigeki, Iwai Tomoji, Yamaguchi Ryuusuke, Ohe Katsuki, Imazu Setsuo

1．はじめに

奈良国立博物館（以下奈良博）所蔵の地蔵菩薩坐像と竜樹菩薩坐像は、愛媛県の保安寺に安置される阿弥陀如来および観音・勢至両菩薩像と、もと一具のものと考えられるものである。本像については、九州国立博物館（以下九博）で平成19年春に開催された特別展に出陳され、その際にX線CTにて調査が行われた。木取りや虫損、過去の修理歴など多くの情報が調査で得られていたが、これまで報告されることがなかった。

奈良博では、平成29年4月末に等身大の木彫像を測定可能な大型文化財用X線CT装置が導入されることになっており、当館所蔵の地蔵・竜樹菩薩坐像を再度測定する予定である。九博で調査した平成19年頃は、PCの処理能力ならびに解析ソフトの限界から、詳細な測定や解析が困難であった。現在は、PCの処理能力が大幅に向上するとともに、解析ソフトも機能が大幅に強化されたことから、より詳細な解析が可能となってきた。本発表では、九博でかつて測定した結果と、10年後に奈良博で再測定した結果を比較し、会場ポスターにて解説する。

本要旨では、これまで未報告であった九博でのCT調査の結果について報告するとともに、奈良博へ導入する装置の概要も付記する。

2．調査資料と調査方法

調査した地蔵・竜樹菩薩坐像は平安時代（十二世紀）のもので、像高は75cm前後である。九博のCT装置―Y.CT Modular 320 FPD (YXLON International 社製) を用いて測定した。測定条件は320kV、2mA、焦点寸法1.9mm、1回転あたり約6分の測定時間で行い、0.6mmの空間分解能にて計測した。上下方向は四分割して測定し、全体の測定には約1時間を要した。

なお、測定データの解析は Volume Graphics 社製 VGStudio MAX を用いた。

3．調査結果

両像は下から内部を観察できるため、おおよその構造は判明していた。CT調査では年輪を観察できることから、両像の木取りが明らかとなった。また、著しい虫損の程度や過去の修理箇所に関する具体的な情報が得られた。

4．まとめ

約10年前に測定したCTの測定データでもX線透過撮影よりは短時間で多くの情報が得られており、CTの優位性は明らかである。測定時間は最新のCT装置でもあまり変わらないが、焦点寸法が小さくなっており、より鮮明な画像を得られるようになった。データの処理についても、PCの処理能力が向上し、測定終了とほぼ同時にデータの確認ができるようになった。解析ソフトも機能が強化され、虫損部分などの空洞部を抽出する機能など修理に有用なソフトとなっている。

CTはハード・ソフトともにこれからも機能が強化されると考えられるため、文化財に関わる多くの方々が各国立博物館などで文化財の調査に関わり、文化財の調査に必要に機能を要望しより使いやすい装置にすることが必要であろう。

図１　地蔵菩薩坐像

図２　竜樹菩薩坐像

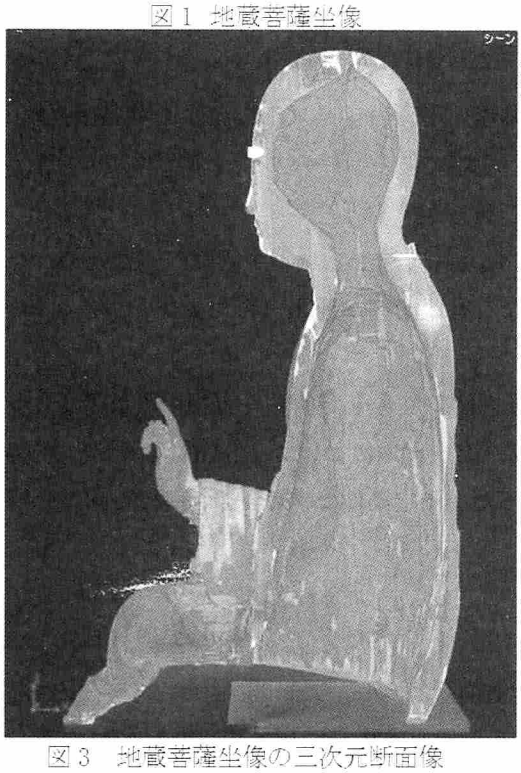


図３　地蔵菩薩坐像の三次元断面像

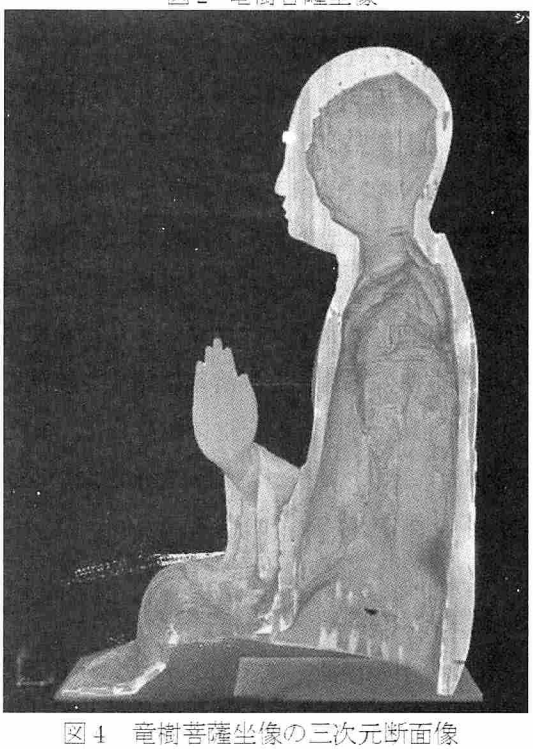


図４　竜樹菩薩坐像の三次元断面像

表１　奈良博に導入されるＸ線ＣＴの概要

最大Ｘ線出力	320kV，2.5mA	焦点寸法 0.4mm
検出器(FPD)	2048x2048pixel	200μmピッチ(約40cm角)
測定可能範囲	回転台上から高さ2.3m	最大φ60cm
測定可能最大重量	100kg	

出土琥珀の保存処理に用いる溶剤の再検討

Reconsideration of the solvent used for conservation treatment of Amber

○安木由美(奈良大学)、今津節生(同左)
○Yumi YASUKI,Setsuo IMAZU(Nara University)

1. はじめに

出土琥珀は脆弱である場合、保存処理が行われることがある。パラロイドB-72等のアクリル系の合成樹脂を用いて保存処理を行う場合には溶媒としてキシレンを使用することが多い。これは過去に行われた出土琥珀の有機溶剤への溶解度試験でキシレンに琥珀は溶解しないという結果が出ているからである[註1]。その一方、琥珀の保存処理に有機溶剤を用いるという点について、琥珀は樹脂が化石化した有機化合物であるから溶解するのではないかという疑念もある。

そこで、本発表では、琥珀の保存処理に用いる有機溶剤の適正について再検討した。

2. 資料および実験方法

実験に使用した試料は、4種類の琥珀原石（岩手県赤川産、岩手県米田浜産、千葉県産長崎橋下産、千葉県波止山産）と完全に化石化していない樹脂であるコーパル（マダガスカル産）、出土琥珀（和歌山県下遺跡出土琥珀破片）の6種類である。

資料の調製についてコーパル以外は、試料の大きさや脆さの都合上、調整が困難だったため、それぞれ形状は不揃いである。有機溶剤は、極性の異なる有機溶剤5種類（キシレン、トルエン、酢酸エチル、アセトン、エタノール）を使用した。

実験方法は試料を有機溶剤に室温で浸漬し、その後自然乾燥させたものを目視、顕微鏡（セルミック社製）で前後の変化を観察した。また、浸漬後の出土琥珀についてFT-IR（堀場製作所製FT-730）を用いて分子構造の変化がないか分析を行った。測定条件はスキャン回数50回、分解能8^{-cm}、測定ゲイン1である。

3. 結果および考察

有機溶剤の浸漬実験では、岩手県米田浜産の原石は酢酸エチル、アセトン、エタノールに浸漬させた試料の表面の一部が粉状化、亀裂が生じた。千葉県長崎橋産の原石でトルエンに浸漬した試料は表面の一部がわずかに粉状化した。千葉県波止山産の原石は変化が現れなかった。コーパルは5種類の有機溶剤全てで浸漬前と比べて表面に光沢が出たため、溶解があったと思われる。酢酸エチルに浸漬した試料は溶解して変形した痕跡が見られた。アセトン、エタノールに浸漬させた試料は表面の一部が粉状化した。また、エタノールに浸漬させた試料は浸漬直後から表面の溶解が始まり、溶剤に濁りが生じた。出土試料はアセトン、エタノールに浸漬させた試料の表面

に亀裂が生じた。

なお、岩手県赤川産の原石は全ての試料に亀裂が生じた。過去にほぼ同様の実験をした際には起こらなかった現象であるため現在検討を行っている。

出土琥珀の FT-IR 分析では、各スペクトルを比較するとほぼ差は見られなかった。琥珀は酸化（劣化）すると水酸基や、カルボニル基など官能基の強度が強くなる[註2]。このスペクトルを見る限り、水酸基やカルボニル基の赤外線吸収強度が増大したものは無く、今回の結果では試料に生じた亀裂の原因が何であるのか言及することができない。

他の試料についても FT-IR で分析比較、また亀裂の原因や浸漬実験で例外が発生した原因の検討を引き続き行う。

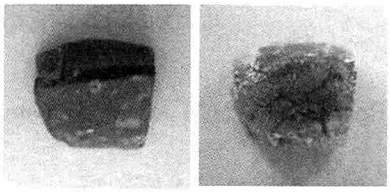


写真 1 出土試料アセトン浸漬 前/後

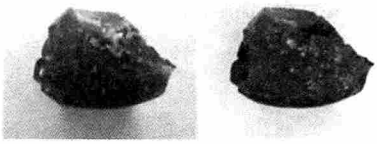


写真 2 出土試料キシレン浸漬 前/後

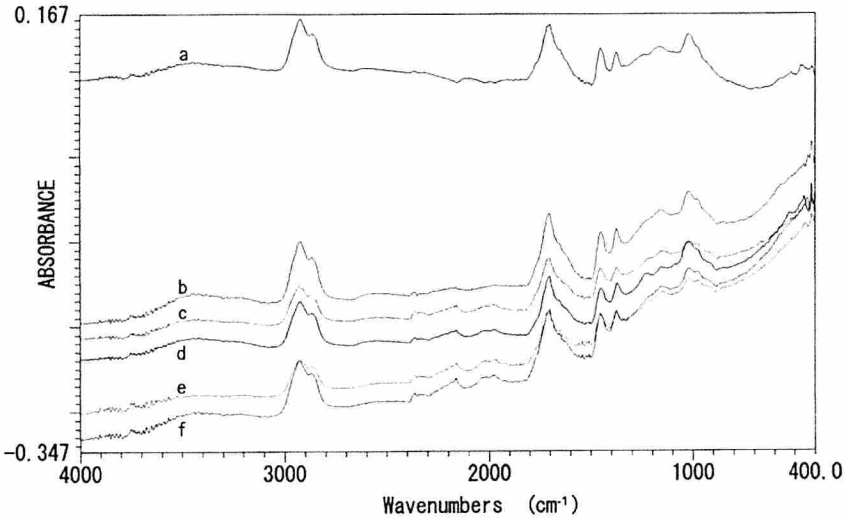


図 出土試料 FT-IR 分析結果

a:未浸漬、b:酢酸エチル浸漬、c:キシレン浸漬、d:アセトン浸漬、
e:エタノール浸漬、f:トルエン浸漬

謝辞:本研究を行うにあたり、(公財)元興寺文化財研究所の植田直見氏、和歌山県教育委員会の清水梨代氏にご協力いただきました。心より感謝申し上げます。本発表は平成28年度律宗戒学院特別奨励金に係る研究成果の一部です。

註

1)植田直見「出土琥珀の保存処理における諸問題-性質および劣化を中心にして-」『元興寺文化財研究所創立三十周年記念誌』p151-156（公財）元興寺文化財研究所（1997）

2)植田直見「琥珀の劣化」『こはく』第3号 p7-11 日本琥珀研究会(2001)

遺物変色特性評価のための LED 加速老化実験研究

Research on LED accelerated aging experiment for evaluating relics discoloration characteristics

○Daiill KANG(Korea National University of Cultural Heritage), Jiwon KIM(Graduate School of Convergence Cultural Heritage, Korea National University of Cultural Heritage), Hwasoo LEE(Chungbuk National University), Minjung Park, Yujeong Lee(Korea National University of Cultural Heritage) Jaehyoung RYU, Jinhwan LEE (Korea Institute of Lighting Technology)

Ⅰ. Introduction

Recently, at the museum, efforts are constantly being made to try improvement measures to overcome the limitations of existing lighting and application of new light sources, and research on LEDs, which are next generation illumination light sources, is on the rise is there. In this study, accelerated deterioration test with LED light source was conducted for fiber which is the original material of relics and Blue Wool Standard for objective evaluation, and for the experiment of deterioration for two different types of LED lighting and confirmed the tendency of discoloration.

Ⅱ. Experimental Method

1. Accelerated degradation test piece

Representatively among the substances that make up the relics, degradation experiments were conducted on two types of LED illumination light sources with different characteristics, by selecting papers and textiles which are sensitive materials for lighting. Dye stability experiments were conducted on silk dyeing test specimens. The papers are used classifying the other two types of Korean paper for basis weight, and the textiles are used flesh silk, silk, hemp. Also, for objective evaluation, Blue Wool Standard was attached to each place for each experimental condition and reference was made to the Korean Industry Standard KS K ISO 105 - B 02.

2. Experiment and Evaluation

The light source used the accelerated aging system independently developed for the two types of lighting, daylight color LED and LED-Blue which amplified short wavelength band, and conducted experiments at a distance of 175 mm. After completion of the accelerated deterioration test, color difference values corresponding to the results before and after were measured, and the degree of discoloration of each test piece was evaluated. With respect to the chromaticity, 5 points were measured with reference to KS M ISO 5631-1 with a spectral color difference meter (CR-400, MINOLT, Japan).

Table 1. Analysis of dayglow LED and LED-Blue

		Total luminous flux [lm]	CRI	Total radiation flux [mW]	CCT	Electric power [W]
Attribute	LED	919.61	81.57	2962.31	2546.63	11.77
	LED-Blue	113.29	-	3237.01	-	10.67

Ⅲ. Experiment Result and Discussion

In the case of Korean paper, the absorption rate in the blue region where the energy per photon is high is high, the absorption rate is displayed lower as going to the red region. The light source with high light energy in the blue region where the paper absorption rate is high is Blue-LED, which shows that the deterioration caused by this is higher. It is judged that it was due to the thickness that showed the difference in degree of deterioration according to the basis weight of Korean paper. The basis weight 35g thickness is 97.8 ㎛, 60g thickness is 1.56 ㎛ on average, about 1.6 times the difference.

The discoloration reaction of fresh silk and silk is judged to be attributed to photodegradation. Silk fabrics are composed of

amino acids such as phenylalanine, tryptophan, tyrosine, etc. It is said that this is susceptible to photooxidation. Photodegradation will destroy peptide (--CONH--) bonds in fibroin or induce crosslinking between polymer chains. Therefore, it is considered that the degree of discoloration of silk appeared more greatly when comparing silk fabric composed of fibroin, most of the components of the fresh silk containing fabric containing sericin.

In the silk dyed specimen, the chromaticity change value of the daylight color LED among the light sources of both conditions showed a tendency to be displayed large. In this experiment, the L^* value of CIE $L^*a^*b^*$ in which the value of ΔL^* which is different from the other test piece appeared greatly means the glossiness, and as the deterioration advances, the glossiness decreases can do. Moreover, it is considered that the reason for not seeing the difference in light source depending on the color of the dyeing test piece is that the difference in light resistance depending on the fastness degree inherent to the dye is largely due to the cause of deterioration. In this regard, it is considered that studies targeting dyes of various colors are necessary in view of future fastness.

From the both light sources after the accelerated aging test, the discolored surface of the Blue Wool Standard showed contrasting results. Initially, daylight color LED showed three steps of discoloration, whereas the LED-Blue which amplified the blue region short wavelength zone ended in step 1. This is the opposite result to experiments for tributaries and fabrics, and the Blue Wool Standard in the accelerated aging experiment reflected the wavelength of the Blue region base.

Results The influence of the light source which affects the aging of the object in the accelerated deterioration test is not due to the total light flux (lm) presented, but it was mainly caused by the previous copy (㎽) can see. In the case of a light source, the energy per one photon (blue side) is higher as the wavelength is shorter according to Q = hc / lambda (wavelenghth), which indicates that aging progresses. Therefore, it is judged that the wavelength of the light source mainly acts according to each color which is a main feature of the material constituting the relics.

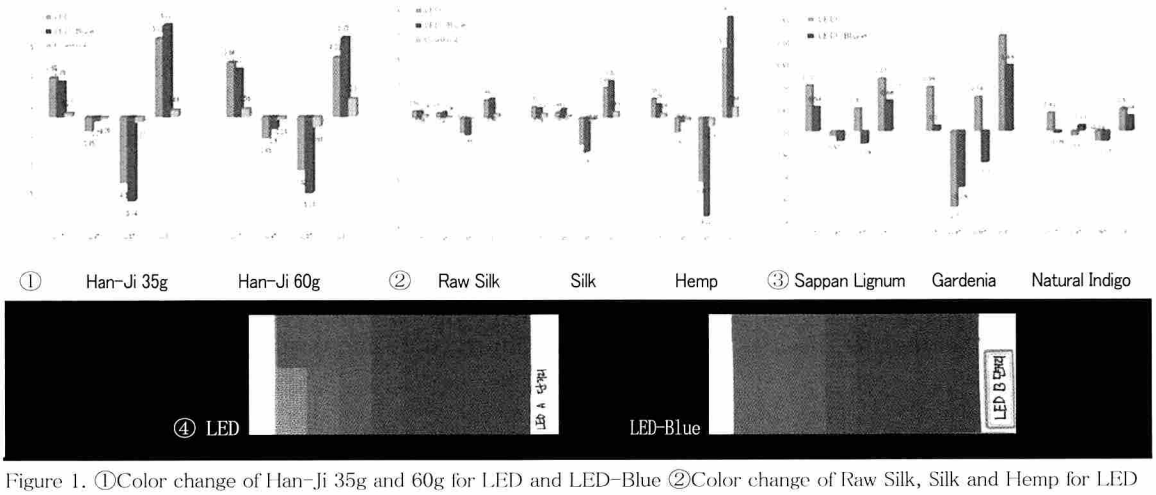


Figure 1. ①Color change of Han-Ji 35g and 60g for LED and LED-Blue ②Color change of Raw Silk, Silk and Hemp for LED and LED-Blue ③Color change of dyed specimens for LED and LED-Blue ④Macroscopy of Blue Wool Standards for LED and LED-Blue.

Ⅳ. Conclusion

Accelerated aging experiment was carried out in order to grasp the influence of two LED lights with different wavelength characteristics on relics composed of various materials and the following results were obtained.

As a result of accelerated aging experiment, the degree of discoloration varies depending on the color of the test specimen. This is because the reflection of light and the absorption wavelength band are different. This means that the light source that affects degradation mainly acts in the copies (㎽) than the front light flux (lm), suggesting the possibility of discoloration of exhibited artifacts according to the color rendition of the illumination doing.

Materials used in this experiment are limited to organic matter and concrete experimental verification under more various conditions is necessary. However, I hope that it will be used as important information in studies related to change / discoloration, which could grasp the influence of light source condition of the material of relics.

Physical-chemical Characterization of the Five-storied Tower Building in Unheung-dong, Korea

○李相沃 (韓國傳統文化大學校 保存科學研究所), 鄭光龍 (韓國傳統文化大學校 保存科學研究所),
裵고운 (韓國傳統文化大學校 保存科學研究所), 南宮勳 (韓國傳統文化大學校 保存科學研究所),
白智宣 (韓國傳統文化大學校 保存科學研究所)
○Sang Ok, Lee (Institute of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage)
Kwang Yong, Chung (Institute of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage)
Go Woon, Bae (Institute of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage)
Hun, Namgung (Institute of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage)
Jesun, Baek (Institute of Conservation Science, Korea National University of Cultural Heritage)

1. Introdoction

The purpose of this study is to analyze the physical-chemical characteristics of the members in the five-storied tower building of Unheung-dong by conducting surveys on the various bricks, roof tiles and other sorts that have been repaired several times beyond the records. Based on the results of the analysis, we intend to understand the characteristics of the original material and provide basic data for conservation treatment.

2. Experimental Part

Specimens were surveyed by different methods. Stereoscopic microscope observation, measuring absorption, porosity, bulk specific gravity, color measurement, magnetic susceptibility values, x-ray diffractometry, TG-DTA, compressive strength and bending breaking load test, WD-XRF were conducted.

2.1. Used materials

In the five-storied tower building of Unheung-dong, there were various bricks, roof tiles and other sorts. In this study, we collected and analyzed specimens which were necessary to change because of the weathering. Besides, brick-tower was analyzed by non-destructive analysis.

3. Results

For brick, it can be classified by color but for roof tile, it was hard to classify because of variety of manufacturing techniques. Grey bricks and black bricks have similar chemical composition, different component composition and strength. The distribution aspect of black and grey bricks' magnetic susceptibility is alike so that it is presumed that these two bricks were produced by similar process. Yellow bricks have great strength unlike the others have low strength. Analyzing component composition ratio, ratio of body composition of bricks and roof tiles are assorted more than 5 sorts and it seems that it was produced and repaired by several methods. It is presumed that the degree of firing temperature is between 1000~1100℃, yellow bricks are made in low degree than blacks. Also, yellow brick's chromaticity, absorption, porosity and bulk specific gravity were similar to roof tile of unified Silla and Joseon dynasty. The other sorts such as mortar, soft-rock, aggregate have different lime content ratio respectively.

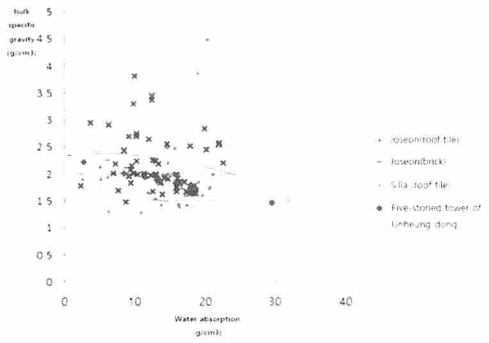


Figure 1. The distribution of periodic absorption / bulk specific gravity

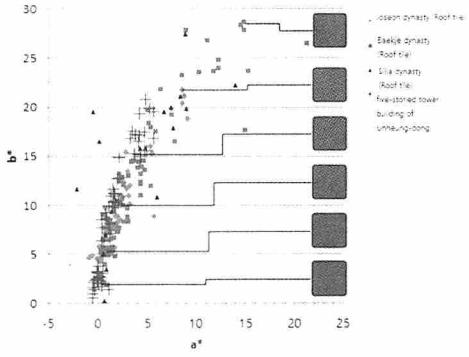


Figure 1. Chromaticity of periodic roof tiles and five-storied tower building of Unheung-dong's brick

Table 1. Results of compressive strength and bending breaking load

No.	Division		Compressive strength		Bending breaking load	
			MPa	kgf/cm²	N	kgf
1	WJ-2	Brick	5	50.9		
2	WJ-3		12	122.3		
3	WJ-4		15	152.9		
4	WJ-5		20	203.9		
5	WJ-6		19	193.7		
6	WG-6	Roof tile			1360	138.7
7	WG-11				1406	143.4
8	WG-12				1080	110.2

4. Conclusion

From this study, we can figure out the character of the tower's material and basic data for restoration. Grey and black brick of five-storied tower building of Unheung-dong's character is similar to seven-storied tower of Bubheungsaji which was built in unified silla. Therefore, it was repaired by similar method of Bubheungsaji's. Also, bricks for restoration should have same or less strength to prevent the tower from getting damage.

奈良絵本で用いられている銅系顔料のX線光電子およびオージェ電子スペクトル

X-ray Photoelectron and Auger Spectra of Copper-based Pigments Used on "Nara-ehon"

○藤原　学[1]・高橋瑞紀[1]・松中岩男[1]・永瀬源太[2]・堀田歩未[2]
○Manabu Fujiwara, Mizuki Takahashi, Iwao Matsunaka, Genta Nagase, Ayumi Horita
[1]龍谷大学理工学部・古典籍デジタルアーカイブ研究センター，[2]龍谷大学理工学部学生

1．緒言　龍谷大学は、数多くの貴重な古典書・考古資料が保管されており、これらを整理・保存・研究する施設として、古典籍デジタルアーカイブセンターが設置されている。そこでは、貴重な資料をデジタル画像保存するとともに、使用された材料の科学分析も行っている。科学分析には、資料ごとに適切な基準物質をそろえることが必要であるが、考古資料ではそれが非常に困難である。そこで、我々はまず考古資料についての基礎的なデータを蓄積することを目的として、江戸期初期に製作された奈良絵本の断片について種々の科学分析を行った。本研究では、光学顕微鏡による観察、紫外-可視反射率測定とX線分析顕微鏡を用いた蛍光X線(XRF)スペクトル測定により、奈良絵本に使用された顔料の一般的な科学分析を行った。それとともに、資料表面から極少量の顔料を採取し、X 線光電子(XPS)スペクトル、オージェ電子(AES)スペクトルを測定した。さらに、基準物質としての銅系顔料（アズライトとマラカイト）のラマンスペクトルも測定した。

2．実験　奈良絵本資料として、思文閣出版（京都）より購入した断片８枚を選択した。それらは、由来と画風より江戸初期の元禄（1688～1704 年）か宝永（1704～1711 年）時代に製作されたと考えられている。いずれも数人の人物が描かれており、多くの種類の顔料が使用され、比較的豪華である（Photo 1 の左と中央）。思文閣出版によると、購入以前に民家の襖絵や軸として使用されていた時期があり、裏面に文字の描かれた補強用の和紙が当てられている。それらは、「伊勢物語」（４点）と「竹取物語」（４点）断片と判断できた。これらの絵の緑色と青色彩色部分、粒子サイズの異なる青色岩絵具（天然岩群青、新岩群

Photo 1　奈良絵本挿絵（「伊勢物語」断片、「竹取物語」断片、「竹取物語」冊子体

青）と緑色系岩絵具（天然松葉緑青、新岩松葉緑青）、水酸化銅(II) $Cu(OH)_2$ および炭酸銅(II) カリウム $CuCO_3 \cdot K_2CO_3$ などを測定対象として選択した。なお、龍谷大学大宮図書館が所蔵している冊子体の「竹取物語」（Photo 1 の右）については、XRF 分析のみを行った。

3．結果と考察　「伊勢物語」と「竹取物語」断片の畳部分の彩色に用いられた緑色顔料の XRF スペクトル(測定時間：100 s)と反射スペクトルの測定を行った。いずれの XRF スペクトルにも Cu Kα および Kβ 線のピークのみが明瞭に現れたことから、Cu を主成分とする顔料（松葉緑青、$Cu_2(OH)_2(CO_3)$）が用いられていることが確認できた。しかし、Cu Kα (8.04 keV)線のピーク強度は、「伊勢物語」と「竹取物語」の断片でかなり異なっており、これは絵の表面から松葉緑青が剥落したことが原因であると考えられる。一方、それぞれの奈良絵本断片の緑色彩色部分の反射スペクトルの測定も行ったところ、「伊勢物語」、「竹取物語」断片双方ともに 540 nm 付近にほぼ同強度の反射スペクトルピークが認められた。これより、粒子サイズが近いほぼ同種の松葉緑青が使用されていると判断できる。断片双方の青色部分では、ともに染料が使用されていることがわかった。一方、「竹取物語」冊子体の青色部分では Cu を主成分とする顔料（岩群青、$Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$）で彩色されており、これら作品の品位がかなり異なることが明らかとなった。これら銅系顔料の Cu(2p), C(1s), VB XPS スペクトルでは、ピークの位置と形状においてほとんど違いが認められなかったが、Cu LMM AES スペクトルでは銅系顔料の種類による違いが現れた。さらに、「伊勢物語」断片において金彩色部分について XRF および XPS スペクトルを測定した。XRF スペクトルでは Au Lα および Lβ 線のピークが明瞭に現れるとともに、S Kα のピークが認められた（質量濃度：1-2%）。面分析においても、金 Au と硫黄 S の分布はよく対応していることより、金泥で塗布されている可能性が高いと判断できる。XPS スペクトル測定において、その検出感度が高いため XRF スペクトルでは確認できなかった銀 Ag が存在していることが明らかとなった。なお、銅 Cu の存在は確認できなかった。Au(4f), Ag(3d) XPS スペクトルを Fig. 1 に示す。基準物質である金箔および銀箔に比べ、いずれもピークが低エネルギー側にシフトしている。用いられた金が銀との合金であり、ピークシフトより膠中の硫黄との強い相互作用が考えられ、今後さらなる検討を行う予定である。

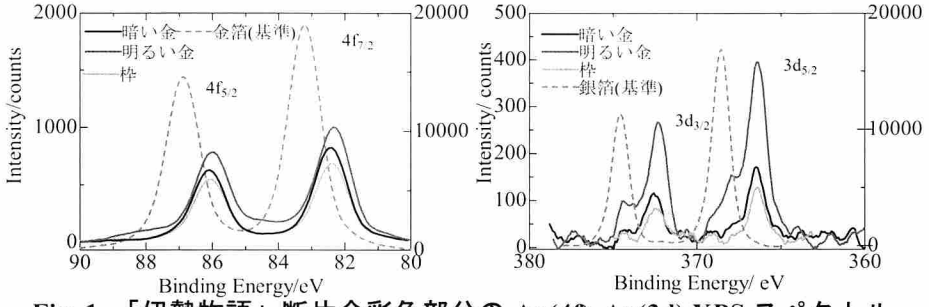


Fig. 1 「伊勢物語」断片金彩色部分の Au(4f), Ag(3d) XPS スペクトル

装飾古墳におけるSfMの活用

Case study of SfM in Decorated Tumulus

○福田匡朗（熊本県教育委員会），木村龍生（熊本県教育委員会）
○Masaaki Fukuda (Kumamoto Board of Education),
Ryusei Kimura (Kumamoto Board of Education)

1. はじめに

文化財を三次元化する技術には、レーザー光を利用したもの、SfM を利用したものがある。本稿でいう文化財を三次元化する技術とは、SfM（Structure from Motion）を示す。三次元計測には大まかにレーザー光を利用するもの、写真を利用するSfMに区分できる。

装飾古墳にSfMを用いた研究は、現在、進行形であるが、既に、作成した三次元モデルは、熊本県立装飾古墳館において活用ツールの素材として利用されている。

2. 活用の方法と一例

SfMはデジタル画像を合成し、二次元の形状からカメラ位置や三次元形状を特定する手法である。本研究では、デジタル画像の解析にAGIsoft社のソフト、PhotoScan（Standerd版）をWindows環境で使用している。

なお、熊本県立装飾古墳館では、所蔵する装飾古墳レプリカから作成した三次元モデルをweb上にて無料で利用できる3Dviewer「Sketchfab」にて公開、そのリンク先をQRコード化し、装飾古墳館の装飾古墳室で展示している（図1）。来館者は、自分のスマートフォンやタブレットを使用すれば、装飾古墳の魅力を手のひらで体感できる。

図1

3. 上天草上天草市・大戸鼻古墳群のSfMの活用

上天草市・大戸鼻古墳群は、5世紀から6世紀にかけて築造された3基の古墳群であるが、熊本地震によって、装飾古墳である北・南古墳（図2・3　画像は地震前）が復元整備時の保護施設等にき損を生じている。

図2

図3

4．解析結果

図 4　SfM を用いた大戸鼻北古墳の石障奥　（縮尺任意）

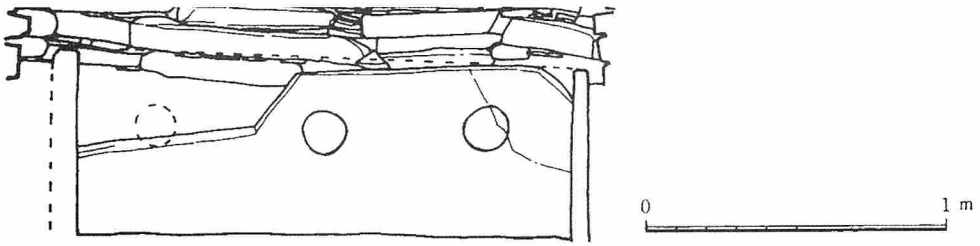


図 5　大戸鼻北古墳の石障奥（熊本県編 1984）を改編引用

5．おわりに

本研究によって、研究者だけでなく、誰でも何処でも装飾古墳の世界を体感できるようになり、文化財保護の啓発にも繋がるものと考える。また、研究者レベルにおいては労力・時間短縮に繋がり、機材への初期投資が安価で済む為、個人での活用にも寄与できる。

さらには、建造物や仏像など他の文化財についても、今後、考古学の基礎ともいえる型式論の手法により、学問の垣根を越えた学際的な研究が一層、進展することが見込まれる。今後、埋蔵以外の文化財にも導入及び展開が想定できる。

謝辞

装飾古墳における SfM の活用に際し、ご協力いただいた上天草市教育委員会、九州文化財計測支援集団の各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

熊本県教育委員会編 1984『熊本県装飾古墳総合調査報告書』熊本県文化財調査報告第 68 集

永見秀徳 2016「石造文化財への SfM の活用と可能性」『文化財写真研究 vol. 7』，文化財写真研究会

西山光照寺跡名号石碑の三次元計測

3D measurement of stone monuments

○岡本篤志（大手前大学史学研究所）
藤田若菜、熊谷透（福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館）
○Atsushi Okamoto (Otemae University Institute of History)
Wakana Fujita, Toru Kumagai (Fukui prefectural history museum of Ichijodani Asakura family site)

1. 初めに

一乗谷朝倉氏遺跡西山光照寺跡名号石碑の三次元計測を行い、石碑の現状記録を行った。今回の三次元計測では、SfM写真計測、ハンディスキャナ、固定型レーザ計測機を併用し、石碑全体を各計測機の持つ利点を生かした三次元計測を行っている。

通常、こうした計測では、単体の計測機・計測方法を用いることが多いが、今回は、細部記録の必要な箇所と、石碑全体の形状を記録するのに、解像度の異なるデータを取得し、合成処理を行うことによって大型対象物における、効率的な三次元計測を試みる。また、SfM写真計測の文化財計測における有効性の確認と、固定型レーザ計測で計測できなかった入組んだ形状箇所の計測補完や、高品位なカラーテクスチャーを他の計測方法を用いることで、詳細な記録が可能になったことを報告する。

2. 西山光照寺跡名号石碑

計測対象の石碑は、高さ約230 cm、幅約110 cm、奥行約100 cmの石碑である。石碑銘文には、「南無阿弥陀仏」名号を中心に刻み左右には、「名号施主宇野三郎五郎名乗職近」「戒名真玄 永禄三庚申十二月吉日」と刻まれている。

名号石碑オルソ写真

3. 使用機器

SfM写真計測ソフト:PhotoScan
一眼レフカメラ:Nikon D500
レーザ計測機:コニカミノルタ Range7
ハンディー計測器:Artec3D Artec Eva

4. 三次元計測

今回の計測では、SfM写真計測、ハンディスキャナ、固定型レーザ計測機を併用した形状記録を行っている。三次元計測は、2015、2016年の2回に分けて実施している。

2015年では、SfM写真計測を用い石碑周辺の形状も併せて計測するため、伸縮ポールを用いた高所撮影と接写撮影を行った。石碑本体は詳細に計測するため、マクロレンズを用いた接写詳細撮影を行った。721枚の画像から、三次元データを得た。SfM写真計測単体での計測結果において非常に良好なデータを取得することができた。2016年には、SfM写真計測のデータを基準として、ハンディスキャナArtec Evaを用いて、石碑全体の計測と、Renge7による細部計測を行った。各計測とも、パターンやレーザを照射して対象物との距離を算出するため、直射日光の下では計測できず基本的に野外での計測には不向きである。今回の計測では、テントを設置し外光が入らない状態で計測を行った。

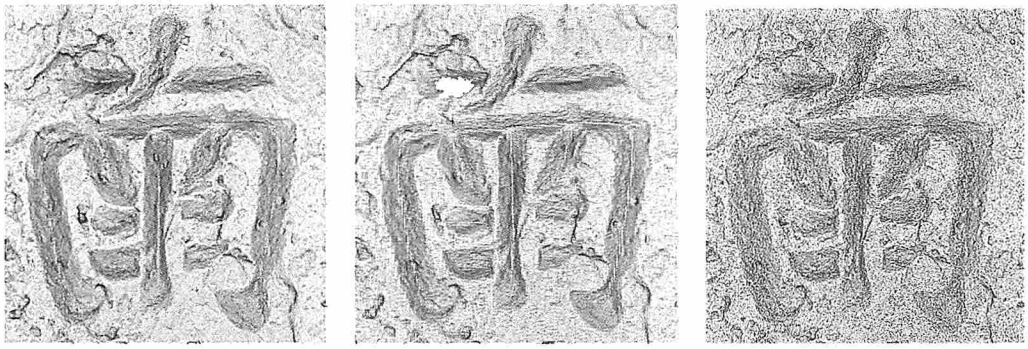
5. 各計測データの合成と比較

各計測データは、SfM 写真計測のデータを合成基準にして位置合わせを行った。計測データのシャープ差や計測間隔は、Renge7→Artec3D→SfM 写真計測と荒くなっていく。SfM 写真計測は、画像視差を利用した形状形成であり、凹凸の形状が甘くなる傾向がある。（パッシブ計測）一方、Renge7 や Artec3D は、物体までの距離をレーザやパターンを投影して距離を直接測る（アクティブ計測）であるため、形状がシャープになる。今回の計測では、Artec3D と SfM 写真計測の計測間隔は近似しているが、形状がシャープな Artec3D を優先した。その後、最も詳細な計測データである Renge7 を優先して合成・結合を行うことによって、形状データが、荒いデータに引っ張られて形状を損なうことを防いだ。

合成には、ICP（Iterative Closest Point）アルゴリズムを用い、特徴形状から各計測データの位置合わせを行い、各データの合成・結合（マージ）では、異なる計測データの境界部分を滑らかにするブレンド処理を行い接合部分に違和感がないようにした。

合成形状データには、カラーテクスチャー情報がない。SfM 写真計測は高解像度の写真データを用いているため、色調補正された高品位のカラー画像を得ることができる。このカラーテクスチャー情報を合成データに組み合わせることによって、高品位のカラー情報を載せた三次元データを作成している。

計測データ合成結果



各計測データの比較（部分拡大）
左：PhotoScan 中：Artec Eva 右：Range7

6. おわりに

今回は、複数の計測方法を用いて石碑の三次元計測を行ったが、目的に応じて、計測方法を選択併用する必要がある。微細形状の記録では、やはりレーザ計測が有効である。しかし、今回の石碑において全てをレーザ計測することは、膨大なデータになり処理できない可能性や計測欠損部分も多く現実的ではない。SfM 写真計測では、撮影条件が整っていれば、ハンディスキャナに近い計測結果を得ることができる。双方の欠点を補うことで大型対象の場合、計測方法を変え効率的かつ詳細な形状記録が行えることが確認できた。

SfM 写真計測単独では、レーザ計測のように微細の凹凸を記録することは困難であるが、ある程度の形状を取得することができ、現場において導入しやすい計測方法かもしれない。特に、石造文化財では良好なデータを得ることができた。現在、SfM 写真計測は、クラウドシステムによるデータ処理方法があり、高性能な PC が無くてもデータ処理が行える。日常的に調査現場において、簡便に実測図の補助や形状確認のツールとして三次元計測を導入することが期待できるのではないだろうか。

熊本地震前後の装飾古墳の石室環境

The environment of the stone chamber in Decorated Tumulus before and after Kumamoto earthquaqe

○福田匡朗（熊本県教育委員会），坂口圭太郎（熊本県立装飾古墳館），
小椋大輔（京都大学），脇谷草一郎（奈良文化財研究所）

○Masaaki Fukuda (Kumamoto Board of Education), Keitarou Sakaguchi (Kumamoto prefectural Decorated Tumulus Museum), Daisuke Ogura (Kyoto University), Soichiro Wakiya (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1．はじめに

熊本県内においては、県及び市町教育委員会が連携し、秋と春の装飾古墳の一斉公開を実施している。平成 28 年 4 月に発生した熊本地震は、貴重な人命や家屋だけではなく、一斉公開していた装飾古墳も含め、多くの文化財にも被害を与えた。

2．熊本地震でき損した装飾古墳の類型化

熊本地震では 4 月 14 日の前震、 16 日の本震以降も余震が継続している。本稿では、き損した装飾古墳を 3 類型に区分したい。概ね古墳築造時の部材がき損した古墳①、復元整備時の擬石や保護施設等の部材がき損した古墳②の 2 種類に区分する。現在も余震が継続しており、今後、古墳築造時、復元整備時の部材、双方がき損した古墳③が確認されることが懸念される。

①については、玉名市・永安寺東古墳の前室（図1)、熊本市・石之室古墳の石棺（図2)があり、②については、上天草市・長砂連古墳の風防室の天井（図 3 ）などがある。

図 1

図 2

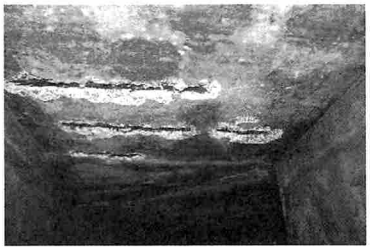


図 3

3．熊本地震前後の温湿度変異

前章で類型化した古墳①については永安寺東古墳（図4)、石之室古墳（図5)、古墳②については長砂連古墳（図6)の温湿度変異に着眼した。環境調査では 1 時間間隔での温湿度計測を実施し、石室、石棺や石障の保存施設室等に設置するデータロガーはOnset 社 HOBOprov-2U23-001 を使用した。

なお、年間を通じて、永安寺東古墳の装飾のある石室は約 12 ℃、石之室古墳の石棺のある保存室は約 8 ℃変化するということが明らかになっている（福田 2017）。

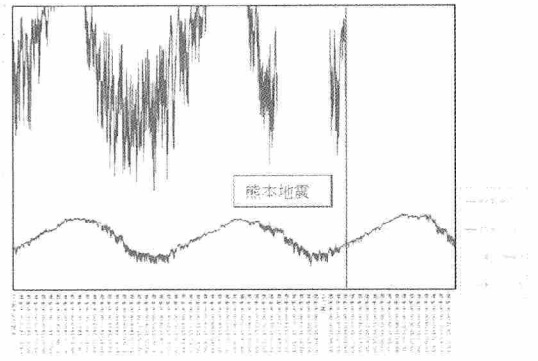


図 4

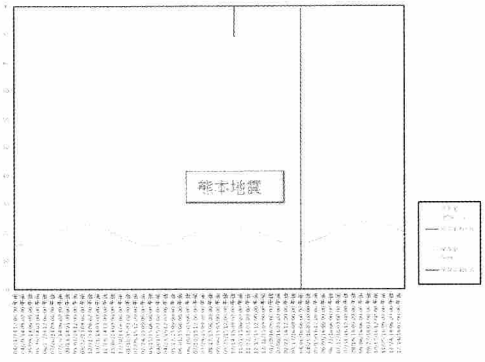


図 5

4．解析結果

地震後の永安寺東古墳は、例年と同様に 10 月中旬ごろ、石室の温度はピークに達した。また、湿度は 100% を維持している。地震後も石之室古墳は、湿度は 100% を維持している。他方、見学室の温度は年々、上昇傾向にあり、保存室と見学室の温度差が地震後にやや広がっている。

地震後の長砂連古墳は、例年と同様に 8 月下旬ごろ、石室の温度がピークに達した。また、湿度は 100% を維持している。

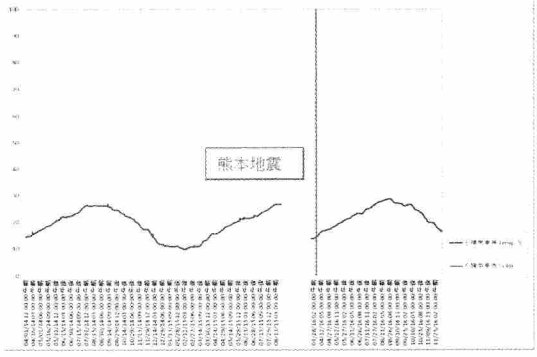


図 6

5．おわりに

解析結果からは、石之室古墳のように、保存室と見学室の温度差が地震後にやや広がった古墳もある。ただし、現状では、地震により保存施設の環境が、激的に変化したとは言い難く、今後も保存施設の観察を継続する必要がある。

余震が収まったとは断言できない現状、今回、提示したような装飾古墳モニタリングデータの解析を引き続き、継続することで、温湿度変化がないかどうかを注視しておく必要があると考えられる。

謝辞

装飾古墳館の環境調査に際し、ご協力いただいた上天草市教育委員会、玉名市教育委員会、熊本市役所、熊本市塚原歴史民俗資料館の各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

福田匡朗　2017「装飾古墳の石室環境と公開時期についてⅡ」『熊本県立装飾古墳館研究紀要』13　熊本県立装飾古墳館編，　pp.17 － 22

3Dスキャナー及び3Dプリンターの文化財分野での活用についての検証
－七宝山神恵院観音寺所蔵扁額のレプリカ制作をとおして－

Utilization of 3D scanner and 3D printer for replica making of wooden panel owned by Jinne-in Kannon-ji temple -application in the field of cultural properties-

○河村友佳子、橋本沙知((公財)元興寺文化財研究所)、日髙真吾、園田直子、寺村裕史
末森薫(国立民族学博物館)、和髙智美(合同会社文化創造巧芸)
○Yukako Kawamura, Sachi Hashimoto (Gangoji Institute for Research of Cultural Property), Shingo Hidaka, Naoko Sonoda, Hirofumi Teramura,Kaoru Suemori(National Museum of Ethnology), Tomomi Wadaka(LLC Bunkasozokougei)

1. はじめに

3D スキャナーや 3D プリンターは主に製造業などの分野で使用されてきた。小型の可般型で非接触測定が可能なスキャナーや、多様な造形方式や素材に対応したプリンターの普及を受け、文化財分野でも、これらの機材を活用したレプリカ制作などの例が報告されるようになった。

しかし、既に確立している伝統的な文化財レプリカの制作技術に対して、3D データを元にした文化財レプリカの制作方法や活用には試行錯誤の余地がある。本発表では、七宝山神恵院観音寺所蔵扁額(以下、扁額)のレプリカ制作にあたり、3D スキャナー及び 3D プリンター(表 1)を活用した検証結果を報告する。

表 1 使用機材

	機種	特徴など
ハンディ型 3Dスキャナー	Artec :Eva 3Dscanner	測定方法 :フラッシュバルブ(パターン光投影方式)
固定式 3Dレーザースキャナー	NextEngine : 3D Scanner HD	測定方法 :マルチストライプレーザー三角測量方式
3Dプリンター	3D Systems :ProJet® 460Plus	造形方式 :石膏積層方式(レイヤー厚／0.1 mm)

2. 3D データの取得と編集

扁額の 3D データは、はじめに、ハンディ型 3D スキャナー(以下、ハンディスキャナー)を用いて表面、裏面、側面など複数に分割して扁額全体の形状データを取得した。

これらの 3D データをハンディスキャナー付属のデータ編集用ソフト Artec Studio を用いて結合し、点群を結んだメッシュデータを作成した。ハンディスキャナーで取得したデータは解像度(点群データの点間隔)を 0.5 ㎜としたが、扁額の細かな彫刻部分は不鮮明であったため、この部分のみ固定式 3D レーザースキャナーで解像度 0.127 ㎜のデータを取得し、全体の形状データと結合した。

次に市販ソフト(Geomagic 社 Freeform®)を用いて 3D プリンターでの制作のために必要となる 3D データの編集をおこなった。具体的には扁額の寸法が上辺 1068 ㎜×左辺 412 ㎜に対して、3D プリンターで打ち出し可能な大きさは 254 ㎜(縦)×203 ㎜(横)であるため、全体データの短辺(縦)を 2 分割、長辺(横)を 6 分割の計 12 パーツに分割した。また、3D プリンターは石膏積層方式であるため、レプリカの軽量化を図り、各パーツの厚みを外周部の 5 ㎜を残して中空にした。なお、このとき、ボクセル(3D データを構成する立方体)のサイズは 0.3 ㎜とした。

最後に 3D プリンターで読み取ることが可能な STL 形式に変換した 3D データを元に、3D プリンターでレプリカの石膏パーツを制作した。

3. レプリカの制作と精度

3D プリンターで制作した石膏パーツはエポキシ樹脂系接着剤を用いて接着した。接着箇所の隙間は、エポキシ樹脂系補填剤を充填して違和感がないように加工した。接着・補填後に、アクリル絵具を用いて、実物に合わせて彩色をおこなった。次に、レプリカの精度を確認するため、扁額とレプリカの実測値を比較した。測定は扁額とレプリカの表面で上下左右の 4 辺の長さを測ると共に、任意の 14 カ所(図 1 参照)でキャリパーゲージを用いて厚みを測定した。

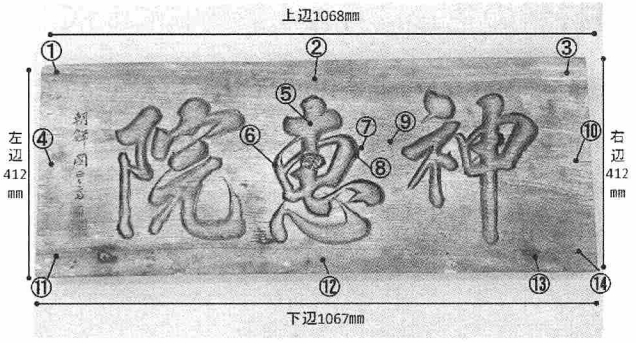


図 1　扁額(実物)の寸法と厚みの測定箇所

表 2　扁額とレプリカの厚み比較(mm)

測定箇所	扁額	レプリカ	誤差
①	36.2	33.9	−2.3
②	36.6	33.8	−2.8
③	34.8	34.4	−0.4
④	36.8	34.5	−2.3
⑤	37.6	34.9	−2.7
⑥	32.2	30.2	−2
⑦	37.4	35.8	−1.6
⑧	30.1	28.7	−1.4
⑨	37.6	36.6	−1
⑩	33.4	35.3	1.9
⑪	36.2	33	−3.2
⑫	35.8	35.7	−0.1
⑬	33.2	37.2	4
⑭	32.3	36.6	4.3

長さの測定結果は、扁額表面のサイズ、上辺 1068 ㎜、下辺 1067 ㎜、左辺 412 ㎜、右辺 412 ㎜に対して、レプリカは上辺 1072 ㎜(＋4 ㎜)、下辺 1066 ㎜(－1 ㎜)、左辺 414 ㎜(＋2 ㎜)、右辺 414 ㎜(＋2 ㎜)であり、最大で 4 ㎜の誤差が生じた。厚みの測定結果は最小が－0.1 ㎜、最大が 4.3 ㎜であった(表 2)。このことから、長さ、厚みともに最大で約 4 ㎜の差が生じたことが分かる。

この原因は、12 個のパーツを接着した影響に加え、使用したハンディスキャナーの 3D 距離精度が 0.03%（対象物 100 ㎝以上の場合)であり、1m 以上の対象物をスキャンすると最小でも±3 ㎜程度の誤差が生じる。また、パターン光投影式スキャナーの特徴として、スキャン対象物の地色が暗い部分や、陰になる箇所はスキャニングのためのパターン光がスキャナーに戻らず、形状の座標データが十分に得られずに欠落する。そのためデータ編集の段階で周囲の座標データを元に穴埋めをおこなったことで、誤差が生じた可能性がある。

4. 彩色再現レプリカの作成

3D データを変形、加工することは実物大レプリカを加工・複製するよりは容易である。そこで、今回は扁額の 3D データを元にして、別途、彩色再現レプリカの作成も試みた。扁額の目視観察では文字部分に墨で着色された痕跡が見られるが、そのほかに目視で確認が出来ない顔料などの使用について、蛍光X線(Thermo NITON XL3t-950(リガク)／測定条件:測定モード Mining(Cu/ Zn)、照射計 φ3 ㎜)による分析を実施した。この結果、明らかに顔料に由来すると思われる元素は検出されなかった。この分析結果をもとに、扁額の形状データを縮小し、墨の痕跡が確認された文字部分のみ彩色を再現したレプリカを作成した。

5. 3D スキャナー及び 3D プリンターの文化財分野での活用における課題と展望

本研究の結果から、3D スキャナー及び 3D プリンターを活用したレプリカ制作の課題として、実測値の誤差の点では伝統的な文化財レプリカの完成度に近づけるために、3D スキャナーではデータを取得しづらい場合の特徴を理解した上で、可能な限りこれを補うデータの取得技術が必要となることが明らかになった。また、今回のように対象物が大型の場合は複数パーツを接着することで、接着部分による形状の誤差が発生することに加え、重量による限界があることが確認された。

一方で木目の凹凸などはややエッジが緩いながらも触覚で確認出来る程度に造形できている。木の質感や色調は手彩色を施すことで、目視では違和感なく再現された。

以上のことから、文化財分野においての 3D スキャナーや 3D プリンター活用は、レプリカの制作については形状データの取得にある程度の習熟は必要となるものの、伝統的な文化財レプリカ制作のために必要となる技術に比べると遙かに習得しやすい。また一度 3D データを取得するとその加工は比較的簡単であり、複数のレプリカ制作や、縮小、拡大、あるいは、彩色再現レプリカなど変形を加えた制作が容易となるため、資料が持っている情報をより有効に再現する一助となると考える。

※本研究は人間文化研究機構基幹研究「日本列島における地域文化の再発見とその表象システムの構築」
(代表:日髙真吾)による成果の一部である。

白色 LED 光が蛍光性文化財材料の色彩に与える影響について

Study of the effect on observed colors of fluorescent materials illuminated by white LEDs

○吉田 直人、石井 恭子(東京文化財研究所)

○ Naoto Yoshida and Kyoko Ishii

(Tokyo National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

青色 LED をベースとした白色 LED は、青色光、およびこれによって励起された蛍光体からの緑色～赤色光の混色によって白色光を実現している。従って、白色 LED 光には大きく2つの発光帯が存在し、その間には発光量の少ない「谷間」ともいえる波長帯が存在する。我々は、青色光によって励起され、特にこの「谷間」で蛍光を発する性質のある文化財材料では、その影響が視覚的に感知される色彩に影響を与える可能性を想定し、検証を行っている。本報告では、いくつかの蛍光性文化財材料に対し、色温度、青色光の発光量が異なる白色 LED、またハロゲンランプの光を照射し、その際に発する蛍光検出と色彩への影響について議論を行うものである。

2. 検証実験、結果

今回の検証には、相関色温度(実測値)がそれぞれ、2,651K、3,748K、4,609K の白色 LED スポットライト、2,785K、4,166K のダイクロハロゲンスポットライトを照射光源として用いた。白色 LED の波長特性は、青色 LED ベースとして典型的なものである(Fig. 1)。共通して、450 nm 付近をピークとする青色 LED からの狭い発光帯と、580～600 nm 付近をピークとする蛍光体からのブロードな発光帯からなり、両者のバランスによって色温度が決まる。ハロゲンランプの特性も同種のものとして典型的である(Fig. 2)。

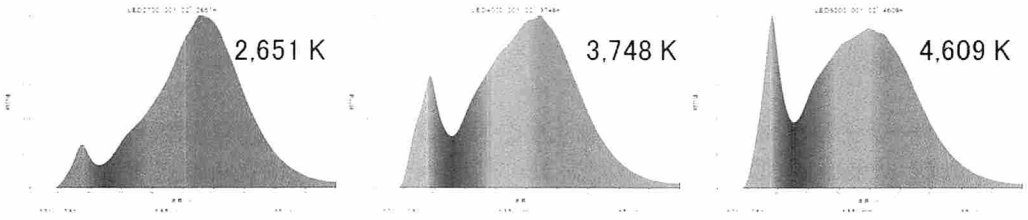


Fig. 1 白色 LED の発光特性 (SEKONIC C-7000 による実測)

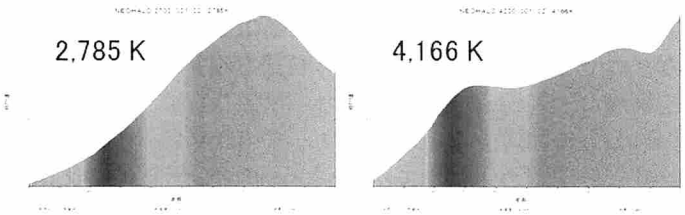


Fig. 2 ハロゲンランプの発光特性 (SEKONIC C-7000 による実測)

蛍光性の文化財材料は有機化合物に多いが、そのうち、青色 LED の発光帯に相当する波長域で励起され、「谷間」付近で蛍光を発するものとして、染料であるきはだ、やまももを絹布に、六葉茜を木綿布

に、それぞれ染色したサンプルの三次元蛍光スペクトルを Fig. 3 に示す。

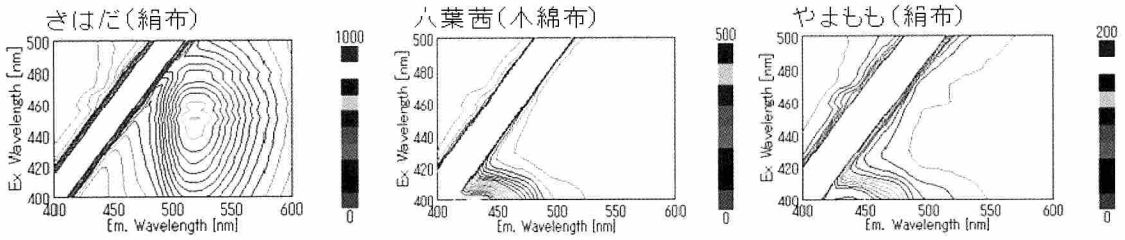


Fig. 3 染色サンプルの三次元蛍光スペクトル (JASCO FP-6500 による測定)

450 nm バンドパスフィルター (Fujifilm BPB-45)によって、4,609K 白色 LED の青色 LED からの放射光のみを照射した各サンプルからの蛍光スペクトルを Fig. 4 に示す。特にきはだのサンプルからは 475 nm より長波長側に強い蛍光が検出され、目視でも明瞭に認識された。

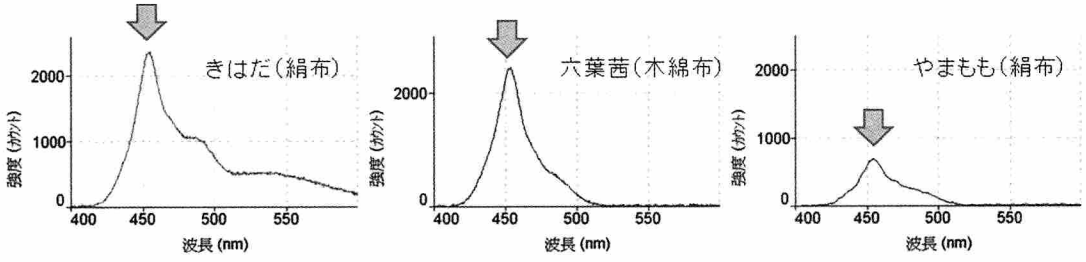


Fig. 4 4,609K 白色 LED の青色 LED 光を照射した際の各染色サンプルからの蛍光スペクトル(Oceanoptiics Flame-S による測定)。矢印は反射した青色 LED 光を示すものである。

最も強い蛍光を検出したきはだ染色サンプルに対して、各光源光照射時の反射スペクトルを測定、比較した (Fig. 5)。その結果、白色 LED では。色温度が高いほど蛍光波長に相当する 475 nm 以上での反射率が大きい傾向がみられた。これは、各白色 LED における青色光の発光量との相関が示唆されるものである。また、同等の色温度の白色 LED とハロゲンランプの間では、前者の反射率が若干高く、これも蛍光の影響が考えられる。

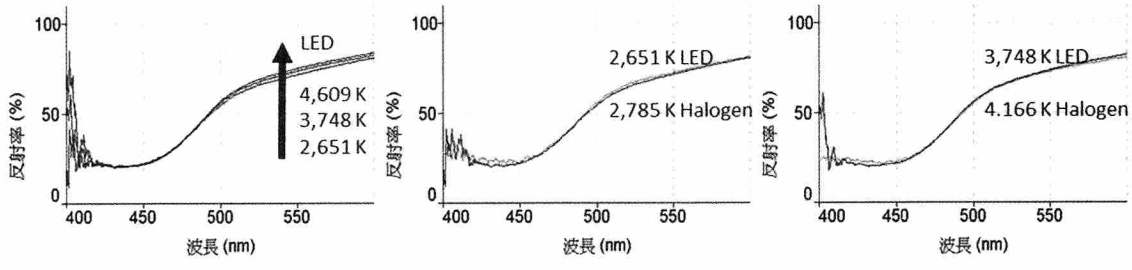


Fig.5 きはだ染色サンプルへの各光源光照射時の反射スペクトルの比較(Oceanoptiics Flame-S による測定)
(左)色温度の異なる白色 LED 間での比較、(中、右)同等の色温度の白色 LED とハロゲンランプでの比較

蛍光の発生が視覚的に認識される色彩に影響することを示唆する今回の知見は、白色 LED 導入の際に、その影響を考慮した色温度や波長特性の選択が必要であることを示すものである。

東北地方北部の弥生時代における土器付着物を用いた食性分析

Analyzing food habits using charred remains on pottery from the Yayoi period in the Northern Tohoku region

○國木田大(東京大学)、根岸洋(国際教養大学)、井上雅孝(滝沢市埋蔵文化財センター)、
武田嘉彦(田舎館村教育委員会)、東海林心(弘前市教育委員会)、五十嵐祐介(男鹿市教育委員会)、
西村広経(八戸市埋蔵文化財センター)、松崎浩之(東京大学)

○Dai Kunikita (The University of Tokyo), Yo Negishi (Akita International University), Masataka Inoue (Takizawa City Board of Education), Yoshihiko Takeda (Inakadate Village Board of Education), Kokoro Shoji (Hirosaki City Board of Education), Yusuke Igarashi (Oga City Board of Education), Hirotsune Nishimura (Hachinohe City Board of Education), Hiroyuki Matsuzaki (The University of Tokyo)

1. 研究の背景

本発表では、東北北部における弥生時代の食性に関して、土器付着炭化物の炭素・窒素同位体比、C/N比を用いて検討してみたい。対象地域は、青森・岩手・秋田3県の行政区に含まれる地域を取り扱う。当該地域の生業研究は山内清男や伊東信雄の業績を嚆矢とし、その研究の歴史は長い。最近では、植物利用に関して圧痕レプリカ法が実施され、成果を挙げている(高瀬 2012, 滝沢市教育員会・滝沢市埋蔵文化財センター2016 等)。東北北部では、今のところ、縄文時代に遡るイネの圧痕は皆無であり、弥生時代前期から確実な例が出現してくる。弥生時代中期からは多くの地域でイネ圧痕が検出されるが、遺跡の立地と周囲の地形を背景として、稲作に重点をおく小地域とそうではない小地域が混在する状況になる。また、検出される種子がイネに集中しており、アワ・キビといった雑穀やダイズ等のマメ科植物もほとんど見つかっていない。アワ・キビの利用に関しては、八幡遺跡(八戸市)の植物遺体、湯舟沢遺跡(滝沢市)の圧痕が確認されるのみで、弥生時代の東北北部にはほとんど波及していない可能性が高い。

土器付着炭化物の同位体分析も、圧痕レプリカ法と同じく近年盛んに実施され、先史時代における食性復元に貢献している。分析方法や日本での研究史は國木田(2013)等をご参照頂きたい。弥生時代に関しては、国立歴史博物館チームによる「弥生農耕の起源と東アジア－炭素年代測定による高精度編年体系の構築－」において、土器付着炭化物の同位体比が検討されている(例えば坂本 2007)。この成果によると、東北や北海道では海生生物を示す試料の割合が増えることが指摘されている。また、雑穀類等の C_4 植物も確認されているが、その事例は非常に稀であり、東北北部での報告例はない。土器付着物を用いて C_4 植物判定の有効性が示された事例として、竜ケ崎A遺跡(近江八幡市)等の報告が著名である。また、小林(2013)では、馬見塚遺跡(一宮市)の試料で、$\delta^{13}C$ 値が海生生物の影響ではなく高くなっている点に着目し、雑穀利用の可能性について言及している。

炭素・窒素同位体分析法はその性質上、C_4 植物以外の陸域動植物を分けることができない。そのため、本研究の食性復元では、海生生物と C_4 植物の寄与が主な論点となる。上述の圧痕レプリカ法では実際に食した内容物については議論できないため、当該分析との比較検討は重要と考えられる。

2. 分析試料

現状での分析試料は、梨ノ木平遺跡(7点)、江豚沢遺跡(5点)、宿野部遺跡(1点)、田向冷水遺跡(5点)、砂沢遺跡(6点)、垂柳遺跡(12点)、湯舟沢遺跡(12点)、仏沢Ⅲ遺跡(2点)、大石渡Ⅴ遺跡(1点)、三十刈Ⅰ遺跡(3点)、横長根A遺跡(7点)である。西本(2009)から金附遺跡等9点を引用し、計70点を図1・2に図示している。紙面の都合上、試料の詳細は割愛させて頂く。試料は全て内面付着物で、弥生時代前期(一部縄文時代晩期終末を含む)～後期の時期である。炭素・窒素同位体、C/N比測定は、AAA処理済試料を主にSIサイエンス株式会社に依頼している。

3. 測定結果と考察

全ての試料は、草食動物・C_3 植物領域および、そこから海生生物領域との間に分布している。今回のデータでは、梨ノ木平遺跡(5 点)、江豚沢遺跡(3 点)、砂沢遺跡(2 点)、三十刈 I 遺跡(1 点)、横長根 A 遺跡(2 点)の計 13 点で、海生生物起源の内容物が混入していると考えられる。炭化米の分布範囲は、草食動物・C_3 植物領域と重なるため、残念ながら本研究では稲の利用に関しては議論できない。ちなみに、炭化米自体の安定同位体比は、$\delta^{13}C$ 値(約-26.5～-22.5‰)、$\delta^{15}N$ 値(約 0～8‰)に幅広く分布し、その分散する要因は生育時の水環境等が影響しているとされる(米田・山崎 2014)。今回、草食動物・C_3 植物領域に目立つのは、垂柳遺跡(炭素含有率が低いため参考値ではあるが)、田向冷水遺跡、湯舟沢遺跡、金附遺跡等である。C_4 植物に関しては、今のところ確実視できる試料はない。

本研究の結果から、下北半島(梨ノ木平・江豚沢等)の弥生時代前期では海洋資源(遡上性のサケ・マスも考慮)に強く依存した食性が復元される。また、八郎潟周辺(三十刈 I ・横長根 A)の弥生時代中期でも海生生物の影響がみられた。同遺跡ではイネの証拠が、植物遺体や圧痕レプリカ法で確認されているため、稲作と併用して漁撈活動がおこなわれていた可能性が高い。砂沢遺跡でも一部の試料で海生生物の影響が想定される。同遺跡ではスズキやサケ科の魚骨が出土しており、その点では今回の結果と矛盾はしない。圧痕レプリカ法で、アワ・キビが検出された湯舟沢遺跡の弥生時代後期資料も含めて分析をおこなったが、今のところ C_4 植物の影響は確認できていない。

本発表の結果は研究の途中経過であり、今後もデータを追加して検討する予定である。また、当該地域の古墳時代以降に関しても分析を実施し、通時的な食性復元を議論していきたい。

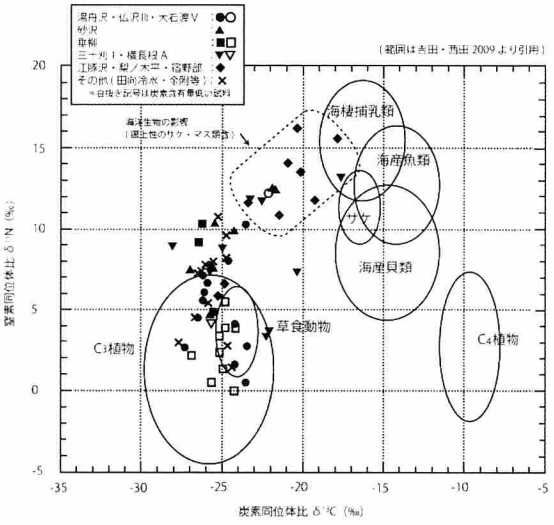


図 1 炭素・窒素同位体比

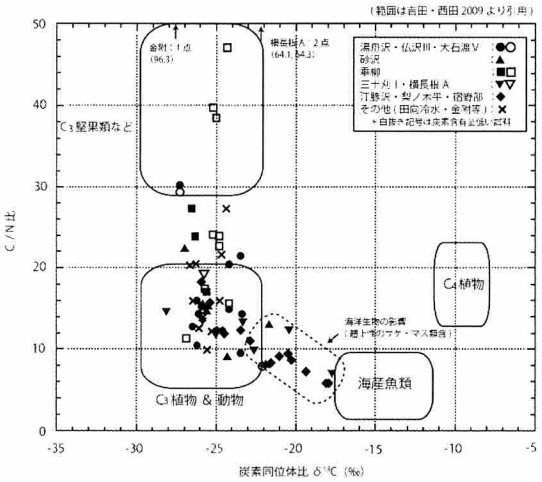


図 2 炭素同位体比と C/N 比

参考文献

國木田大 2013「近年の考古学における ^{14}C 年代研究」『月刊地球』35-9, 529-536

小林青樹 2013「馬見塚遺跡と私」『縄文から弥生へ～馬見塚遺跡の時代』64-65

坂本稔 2007「安定同位体比に基づく土器付着物の分析」『国立歴史民俗博物館研究報告』137, 305-315

高瀬克範 2012「レプリカ法による植物種子圧痕の研究」『発掘 富沢！！－30 年のあゆみ－』58-63

滝沢市教育委員会・滝沢市埋蔵文化財センター 2016『弥生のムラ 湯舟沢』滝沢市埋蔵文化財センター

西本豊弘 2009『弥生農耕の起源と東アジア－炭素年代測定による高精度編年体系の構築－』
(平成 16～20 年度科学研究費補助金(学術創成研究)研究成果報告書)

米田穣・山崎孔平 2014「炭化米の同位体分析結果」『大おにぎり展』41

伝統的修復部材である「ガンゼキ」を用いた装飾古墳の修復の試み
～熊本県山鹿市所在・国史跡オブサン古墳における使用例

『Research on tha restoration materials for decorated tumulus Ⅲ —「The trial of GANZEKI」 ～ The use example Practice at the Obusan tnmulusin Yamaga City ～」

○坂口圭太郎（熊本県立装飾古墳館）・福田匡朗（熊本県教育委員会）・**脇谷草一郎**（奈良文化財研究所）
○Keitaro Sakaguchi（Kumamoto Prefectural Decorated Tumulus Museum）、Masao Fukuda（Kumamoto Prefectural Board of Education）、Soichiro Wakiya（National Research Institute for Cultural Properties Nara）

1研究に至る経緯

2016（平成28）年に熊本県を襲った未曾有の熊本地震は、かつて経験したことない甚大な被害を熊本県にもたらした。装飾古墳をはじめとする文化財も例にもれず、墳丘の割れや石室内の積石の孕みや亀裂が生じている。また前震、本震後に続く余震は数千回にも及び、ダメージの蓄積は確実に文化財に及んでいる。そのような状況の下、熊本県立装飾古墳館（以下、古墳館とする）では、2007年1月から、装飾古墳モニタリングを実施してきた（池田・菊川・朽津2009）。今回の研究は熊本地震により発生した石室内積石の緩みによる土砂の流失を応急的に止める試みである。対象とした古墳は、熊本県で整備した肥後古代森山鹿地区にあるオブサン古墳である。今回の地震で、石室や羨道及び入口付近の石積みが「揺れ」により緩み、本来は石材の間に充填してあった粘質の高い土砂が流出し、空隙が生じている。

オブサン古墳

2予備調査と「ガンゼキ」写真②充填下の問題点

古墳館では、本古墳を管理する山鹿市教育員会の立会でオブサン古墳の状態把握を実施した。オブサン古墳は、古墳館で石棺の空隙を「ガンゼキ」で充填した保存室を持つ「大戸鼻南古墳」とは異なり、玄室前に鉄柵を取り付け保護している密閉されていない空間を持つ古墳である。これまでの研究で「がんぜき」は高湿度で硬化する性質を持っており、実際に乾燥した室内に放置した場合、表面が白華した[注1)]。

このことは、湿度が安定しない外気に近い状態では硬化に影響を与える可能性があると考えた。また、今回の充填が7月であることも、「ガンゼキ」中の水分が急速に蒸発し、脆くなる事も懸念された。

3「ガンゼキ」の製作と留意した点

今回の「ガンゼキ」製作にあたって留意した点がある。それは、夏季の製作であり、「ガンゼキ」の特性[2)]から硬化までの時間を長めにするために、やや「粘り」を強くしてもらった。また、作製を依頼した轟泉簡易水道組合の松川氏の助言から松の葉を煮詰めた煮汁を別に用意し、充填作業中に硬化が急速に進む場合には加える事とした。

ガンゼキ

4「ガンゼキ」の製作と充填作業

平成28年7月7日に「ガンゼキ」製作とオブサン古墳への充填作業を実施した。宇土市にある作業場で作製した「ガンゼキ」をビニール袋で密閉した状態で搬送した。製作から1時間後にオブサン古墳に到着し作業を始めた。当日の天気は快晴で、日中の気温は30度を

超えた。当初の想定通り、ビニール袋から取り出した「ガンゼキ」は急速硬化が進むため要な量を、密閉したビニール袋から少量ずつ取り出し出しゴルフボール大に丸めて使用した。

今回の地震による「揺れ」で生じた羨門・羨道部の空隙は比較的狭いため、丸めた塊をひも状に伸ばした「ガンゼキ」を指や棒状工具で押し込みながら充填した。充填後は表面の均すに留め、不必要な圧力を掛けないよう配慮した。

一方、前室と玄室ではやや広い空隙が生じている。そこで「ガンゼキ」を軟式ボール大に大きく作り変えて空隙に充填した。

5　「ガンゼキ」充填後のモニタリング結果

オブサン古墳において、各箇所で充填した「ガンゼキ」のモニタリングに必要な機材としてOnset社のデータロガーのHOBO・PRO　V2・U23-001を選定し、1時間間隔で記録することとした。また目視と触診により経過観察を行った。下のグラフは各箇所で計測した温湿度データである。まず湿度から見ると外気温に近い羨門・羨道部では、約50%から100%まで大きく振れている。しかしながら、前室では約75%から100%と振れ幅が狭くなり、さらに玄室では70%まで下がる事は稀で、ほぼ90%以上の高湿度を保っている。次に、温度を見ると、羨門・羨道部では、約31℃から約2℃まで大きく振れている。しかしながら、前室では振れ幅が狭くなり、さらに玄室でも振れ幅が小さい。このことは先行研究である「大村横穴群第27号墓の温湿度計測について　ひとよし歴史研究第19号福田匡朗・手芝友美子」で指摘されており、今回の計測でも同様の結果が出ている。このことは、解放された空間であっても、外気の影響が大きい入口付近から奥の玄室まで、ある程度の距離があり、かつ石室内に空隙などが生じて外気流入が無い場合等では、一定の温湿度が保たれる傾向にあることが推測される。次に観察結果を述べる。まず、「ガンゼキ」は夏季の高温下では、1時間足らずで表面が硬化し始める。特に入口に近い羨門・羨道部では、表面が過乾燥になり細かな亀裂が認められた。一方、前室と玄室においては、高湿度であるため、表面はなめらかであった。翌日の確認では、羨門・羨道部に充填した「ガンゼキ」の表面には細かな亀裂が認められたが、剥落は確認できなかった。また触診ではまだ柔らかさは残っていたが、指で押しても凹まなかった。一方、前室と玄室に充填した「ガンゼキ」の表面はなめらかであった。また指で押すとやや凹んだ。

12月11日のガンゼキ

約5ヶ月が経過した12月11日のモニタリングにおいて「ガンゼキ」は硬化し、空隙から脱落することなく填まっている。

6考察

今回の熊本地震では石室の石材が大きく動きズレが生じ、本来密着していなければならない面に空隙が生じたことで石材崩落が懸念される。このような状況下で流失した土砂の補てんとしての「ガンゼキ」には一定の効果があると考える。しかしながら応急的措置であり、石室の安定化には土木工学的措置が必要となる。また「ガンゼキ」自体が大量生産に向かないなどの課題はある。今後も継続して観察を続け、この研究が文化財保護の一助となるよう調査研究を続けていくものである。

註1）日本文化財科学会第28回大会研究発表『装飾古墳修復材料の研究-「がんぜき」1）を用いた試み」での結果による

民族・民俗資料を対象とした光学調査の応用事例 —チベット版木に刻まれた文字の可視化と 変退色した春日地蔵講所蔵絵馬の図案復元

Optical survey applied to ethnographic and folklore collections; Visualization of characters on Tibetan wooden print block and Visual-restoration of deteriorated votive paintings in Suita City, Osaka

○末森薫、園田直子、日髙真吾、長野泰彦(国立民族学博物館)、河村友佳子、橋本沙知((公財)元興寺文化財研究所)、和髙智美(合同会社文化創造巧芸)、藤井裕之(吹田市立博物館)
○Kaoru SUEMORI, Naoko SONODA, Shingo HIDAKA, Yasuhiko NAGANO (National Museum of Ethnology, Japan), Yukako KAWAMURA, Sachi HASHIMOTO (Gangoji Institute for Research of Cultural Property) Tomomi WADAKA (LLC Bunkasozokougei), Hiroyuki FUJII (Suita City Museum)

1. はじめに

光学調査は、光源や受光条件などを変えることにより、撮影対象が持つ様々な情報を可視化できる有用な方法として、絵画等の美術品や木簡・紙資料といった考古・歴史資料の調査・研究に多く用いられてきた。一方で、民族資料や民俗資料の調査・研究に用いられる事例は多くはない。本発表では、国立民族学博物館（民博）所蔵のチベットの版木、春日地蔵講所蔵の木板および銅板の絵馬を対象として実施した光学調査の応用事例を報告する。

2. 光学調査に用いた機器

光学調査には、センサーの赤外吸収フィルターを外したデジタルカメラ（受光域：約 350～1100nm）を使用し、レンズ先端に種々の光学フィルター（可視光吸収赤外透過フィルター、紫外吸収可視光透過フィルター、円偏光フィルター等）を装着することで、受光する光の特性や受光域を制御した。また、光源には、光を特定の方向に振動させた偏光白色 LED 光源（偏光光源）、狭域帯の紫外 LED 光源（peak:375nm）・赤外 LED 光源（peak:850nm）などを使用した。

3. 国立民族学博物館所蔵チベット版木の光学調査

共同研究「チベット仏教古派及びボン教の護符に関する記述研究」（2015～2018 年度、研究代表者：長野泰彦）では、民博が 1979 年に購入した「チベット仏画コレクション」に含まれるチベット仏教古派及びボン教の護符・版木約千点を対象として、護符の図像・記述の解析が進められている。その中で、数十点の版木には、版画が付属しておらず、図像・文字を判読するために、新たに刷り直すことが検討された。その際、刷り直しにより新たなインクや墨が付着することで、資料自体が有する情報に変化が生じることや、資料の保存状態に影響を与えることが懸念された。そこで、版木に記された図像や文字を判読する方法として、光学調査を実施した。

版木表面は、彫刻によって凹凸がつくられており、画像・文字は凸部にあたる。

図 1　チベット版木 1（左：通常撮影、右：反射光撮影・反転加工）

そこで、偏光光源を資料に照射し、受光部に偏光フィルターを装着して、資料表面からの反射光を最大限受光する撮影条件によって、資料表面の凹凸を階調として区別した画像を取得した。さらに、版画と同様の状態に可視化するために、画像の左右および階調を反転する加工を施した（図1）。その結果、画像・文字を支障なく判読でき、版画では表現されにくい凹部の彫刻痕など、版木が有する付加的な情報を得ることができた。また、図2の資料では、資料表面の反射光を受光しないよう制御した撮影条件によって、版画時に黒色色料が施された箇所など、版木がどのように用いられてきたかを推測する手がかりを得ることができた。

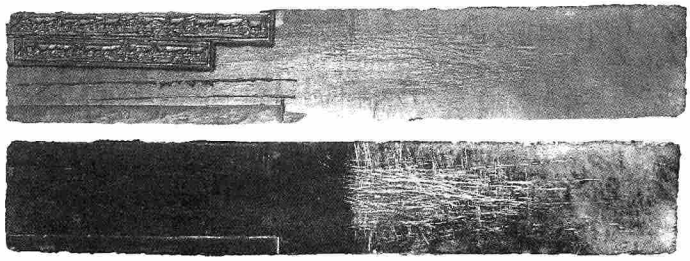


図2　チベット版木2（上：反射光受光、下：反射光制御）

4. 春日地蔵講所蔵絵馬の光学調査

大阪府吹田市にある春日地蔵講は、嘉永二年（1849年）に水田より発見された六体の地現地蔵を祀る小祠である。小祠に飾られた銅板や木板の絵馬3点は、長年露出した環境に置かれていたため、文字や絵が判別できない箇所が散見された。そこで、各種光源を用いた光学調査を実施した結果、墨書の文字や彫刻、彩色が施された木板絵馬には、赤外域を受光した撮影法や偏光光源の反射光を制御した撮影法により、目視では見えにくい図像や文字が可視化され、製作者の名前や住所、製作年代、崖の上に建つ家の様子や、女性の人物像が確認できた（図3）。また、銅板絵馬には、紫外光源によって励起された蛍光の強度差を可視化する手法により、閻魔王や地蔵菩薩の背後に描かれた山々の様子や、石積みなどをする子供たちの様子が確認できた（図4）。

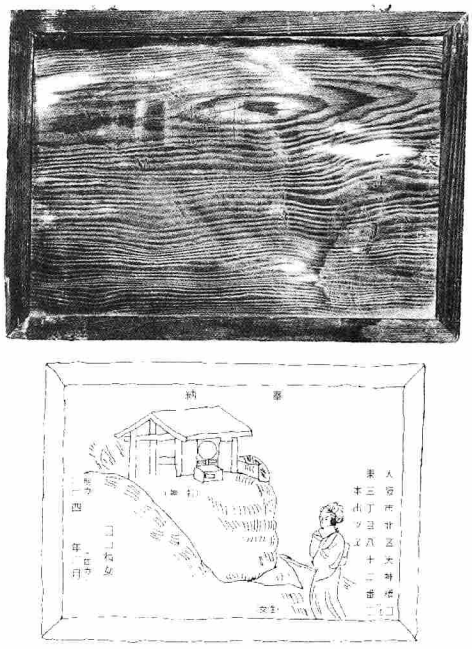


図3　春日地蔵講所蔵木板絵馬
（上：反射光制御　下：復元図（藤井裕之作成））

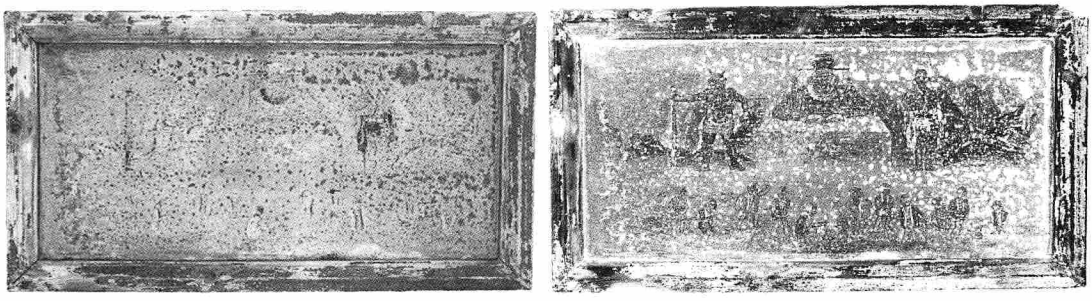


図4　春日地蔵講所蔵銅板絵馬（左：通常撮影　右：紫外光源・可視域受光）

5. おわりに

光学撮影法は、目的に応じて適切な撮影条件を設定することで、人の目では見ることが困難な情報を可視化することができる。本手法は、これまで事例の少ない民族資料や民俗資料の調査・研究にも有用な手法であり、今後も応用事例を増やしていきたいと考えている。

*本発表は、人間文化研究機構基幹研究「日本列島における地域文化の再発見とその表象システムの構築」（代表：日髙真吾）、JSPS科研費（JP16H05902）による研究成果の一部です。

非公開

遺跡周辺の湧水のフッ素濃度と火山との関連性

The Fluorine Density of Spring Water around the Remains and Relation with the Volcano

○青野友哉(伊達市噴火湾文化研究所)・米田穣(東京大学総合博物館)・澤田純明(新潟医療福祉大学)
○Tomoya Aono (Date City Institute of Funkawan Culture), Minoru Yoneda (The University Museum, The University of Tokyo), Junmei Sawada (Niigata University of Health and Welfare)

1. 本研究の目的

火山周辺の地下水は他の地域よりもフッ素濃度が高く(岡田・鈴木 1978)、また、飲用水中のフッ素濃度の違いは、それを飲んだ人の歯に含まれるフッ素量と相関関係にあるとの研究結果も示されている(八幡・広瀬他 2004)。

これらを踏まえ、本研究では古人骨の歯のエナメル質に含まれるフッ素量を分析し、人の移動や婚姻形態といった先史社会の復元に資する新たな考古学・人類学的な分析手法を確立することを目的としている。そのため我々は、「火山性フッ素の摂取濃度を用いた人間活動の復元手法の開発(JSPS 科研費 16K12811、挑戦的萌芽、2016～2018年度 代表者:青野)」に着手し、次の4項目の調査を実施することとした。

図1 水質サンプルの採取地点

a.北海道有珠山周辺の地下水と地盤のフッ素濃度調査、b.歯牙の古病理と火山周辺の湧水利用との関連性の解明(古人骨の齲歯データの収集・歯牙フッ素症を患った古人骨の特定)、c.古人骨を用いた歯のエナメル質中のフッ素濃度測定法の確立、d.人類学・考古学的なモデル研究の実施。

これらの実施により、火山周辺で生まれ育ち、フッ素濃度の高い飲料水を飲んでいた人と、他地域から移住した人を判別することで、例えば縄文時代における婚姻関係の把握や、続縄文期の有珠モシリ遺跡出土の南海産貝製品を運んだ人物の特定などを行いたいと考えている。

本発表では、上記の実施項目のうち、aの分析結果について報告する。

2. 分析方法と結果

高濃度のフッ素を含有する地下水の分布範囲と遺跡との位置関係を把握すべく、北海道南西部の有珠山周辺の湧水・地下水・河川水・井戸水を採取し、イオンクロマトグラフ法(IC 法)及び連続流れ分析(Continuous Flow Analysis : CFA 法、

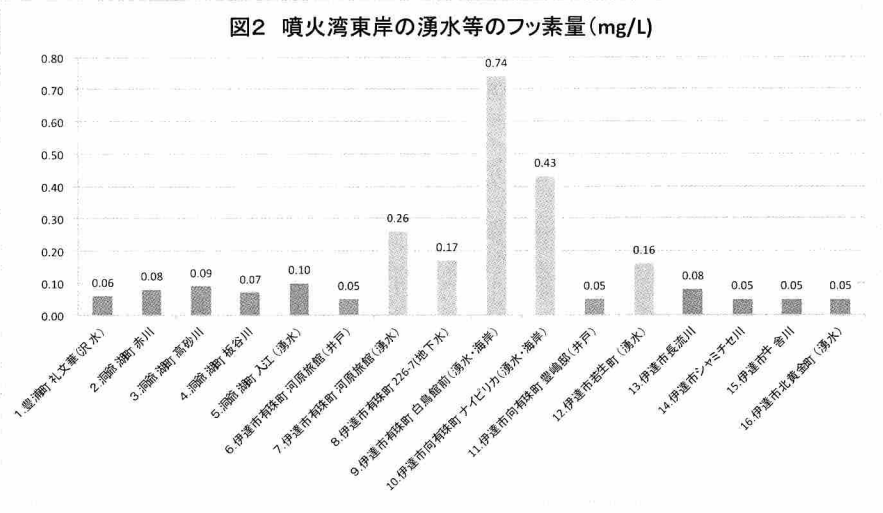
表1 遺跡周辺の湧水等のフッ素量

No.	試料名	周辺の遺跡	種類	フッ素量(mg/L)		分析法	採取年月日
1	豊浦町礼文華	礼文華遺跡	沢水	0.06		イオンクロマトグラフ法	20016年10月29日
2	洞爺湖町赤川	高砂貝塚	河川	0.08		イオンクロマトグラフ法	20016年10月29日
3	洞爺湖町高砂川	高砂貝塚	河川	0.09		イオンクロマトグラフ法	20016年10月29日
4	洞爺湖町板谷川	入江貝塚	河川	0.07		イオンクロマトグラフ法	20016年10月29日
5	洞爺湖町入江155		湧水	0.10		イオンクロマトグラフ法	20016年10月24日
6	伊達市有珠町河原旅館(井戸)	有珠善光寺遺跡	井戸	0.05	未満	イオンクロマトグラフ法	20016年11月29日
7	伊達市有珠町河原旅館(湧水	有珠善光寺遺跡	湧水	0.26		CFA法	20016年11月29日
8	伊達市有珠町226-7		地下水	0.17		イオンクロマトグラフ法	20017年3月9日
9	伊達市有珠町白鳥館前	有珠4遺跡	湧水	0.74		イオンクロマトグラフ法	20016年10月30日
10	伊達市向有珠町ナイビリカ	ホンマ遺跡	湧水	0.43		イオンクロマトグラフ法	20016年10月22日
11	伊達市向有珠町豊嶋邸	向有珠2遺跡	井戸	0.05	未満	イオンクロマトグラフ法	20016年12月4日
12	伊達市若生町	若生貝塚	湧水	0.16		イオンクロマトグラフ法	20016年10月30日
13	伊達市長流川		河川	0.08		イオンクロマトグラフ法	20016年10月30日
14	伊達市シャミチセ川	松ケ枝2遺跡	河川	0.05	未満	イオンクロマトグラフ法	20016年10月30日
15	伊達市牛舎川	南稀府5遺跡	河川	0.05	未満	イオンクロマトグラフ法	20016年10月30日
16	伊達市北黄金町	北黄金貝塚	湧水	0.05	未満	イオンクロマトグラフ法	20016年10月24日
17	洞爺火砕流堆積物	チャシコツ遺跡	火山灰	0.08	未満	CFA法	20016年10月21日
18	有珠山麓採取安山岩(赤色)		安山岩	0.08	未満	CFA法	20016年12月4日
19	有珠山麓採取安山岩(白色)		安山岩	0.08	未満	CFA法	20016年12月4日
20	有珠b火山灰	カムイタフコプ下遺跡	火山灰	0.60		CFA法	20016年10月31日
21	有珠湾内海水	有珠善光寺遺跡	海水	1.20		CFA法	20016年11月30日

※Continuous Flow Analysis(連続流れ分析:CFA、JIS K 0102 34.4)
※未満としたものは検出限界を下回ったもの

JIS K 0102 34.4) により測定した。

また、比較のために洞爺火砕流堆積物(約 11 万年前)起源の岩屑なだれ堆積物、有珠山起源の安山岩、1663 年降下の有珠 b 火山灰、有珠湾内の海水を測定している。試料の採取は青野が行い、測定は(株)第一岸本臨床検査センターに委託した。



結果は、有珠山から半径約 5 ㎞の範囲内の自然湧水のフッ素濃度は 0.16～0.74mg/L であり、それ以外の地域(0.05 未満～0.10 mg/L)と比べると平均で約 5 倍と高濃度であると判明した。同時に、半径 5 ㎞圏内であっても井戸水の場合はフッ素濃度が 0.05mg/L 未満と低かった。

3. 考察

フッ素濃度が高い湧水の分布は、8,000～7,000 年前(北海道防災会議 1973)あるいは約 20,000 年前(藤根他 2016)に起きたとされる有珠山の山体崩壊による岩屑なだれ堆積物の範囲と重なることから、湧水は堆積物の下を流れる伏流水と考えられる。伏流水はマグマ起源の熱水や火山ガスの流入によりフッ素濃度が高くなったと推定される。

ちなみに、山体崩壊により再堆積した洞爺火砕流堆積物(17)や有珠山麓採取の安山岩(18,19)中のフッ素濃度は 0.08mg/L 未満と低いことから、岩屑なだれ堆積物中にフッ素濃度を高める要因があるわけではない。また、有珠 b 火山灰(20)は 0.60mg/L と高濃度であるが、降灰域である北黄金貝塚の湧水(16)は 0.05mg/L と低いため、火山灰を透過した雨水が、地下水のフッ素濃度を高める主たる要因とは考えられない。

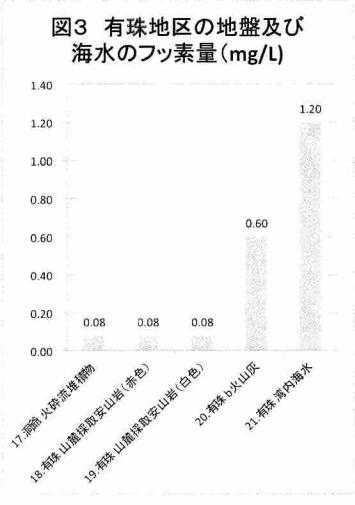
一方、岩屑なだれ堆積物の分布範囲内であっても人為的に掘られた井戸水は 2 か所(6,11)とも 0.05mg/L 未満と低く、井戸の深度、つまりは水脈・帯水層の違いによってフッ素濃度に差が出たと捉えられる。

なお、海岸に面した湧水 3 か所(7,9,10)のフッ素濃度が高いことについては、海水(1.20mg/L)が混入している可能性も排除できない。ただし、味は真水と変わらないため、縄文・続縄文期において、これらの湧水を人々が利用したことは十分に考えられる。

4. 結論と課題

縄文・続縄文期の遺跡周辺で採取できる自然湧水や河川水のフッ素濃度は、有珠山岩屑なだれ堆積物の分布範囲の内外で最低でも 1.6 倍、平均で 5 倍の有意な差が存在した。また、フッ素濃度が高くなる要因は 17 世紀に降下した火山灰よりも、伏流水が火山ガス等の影響を受けたためと考えられることから、有珠山の山体崩壊以後、つまり縄文時代から同様の有意差が存在したと考えられた。このことは、古人骨の歯のフッ素濃度を比較するうえでの大前提となる。

なお、フッ素濃度が極端に高い海岸線の湧水については、塩化物濃度の測定により海水の混入の有無を検証する必要がある。



■本研究は JSPS 科研費 16K12811 の助成を受けている。

環日本海沿岸の完新世海水面上昇期における土器の用途

Pottery Use in the Coastal Area of the Japan Sea during the Holocene Sea Level Rise

○庄田慎矢（奈文研・ヨーク大）、リュキャン・アレクサンドル（ヨーク大）、西田泰民（新潟県博）、安在皓（東国大）、黄喆周（三韓文化財研究院）、西田巖（佐賀市教委）、三原裕姫子（由利本荘市教委）、クレイグ・オリバー（ヨーク大）

○Shinya Shoda (Nara National Research Institute for Cultural Propertis; Univ. of York), Lucquin Alexandre (Univ. of York), Yastami Nishida (Niigata Prefectural Museum of History), Jae-ho Ahn (Dongguk Univ.), Chul-joo Hwang (The Samhan Institute of Cultural Properties),Iwao Nishida (Saga City Education Board), Yukiko Mihara (Yurihonjo City Education Board) and Oliver E. Craig (Univ. of York)

1　はじめに

残存脂質分析により、福井県鳥浜貝塚の縄文草創期から前期の土器が、水産物を主たる対象に用いられていたことが先行研究で示されている。本発表では、朝鮮半島にも土器が登場する完新世海水面上昇期（紀元前６千年紀前後）の環日本海沿岸地域の複数の遺跡において、上述と同様の傾向が見られるのか、あるいはその傾向が鳥浜貝塚に特有のものであるのかを検討する。

2　試料と方法

対象とするのは、福井県鳥浜貝塚、秋田県菖蒲崎貝塚、佐賀県東名貝塚、蔚山市細竹貝塚、蔚珍郡竹辺里遺跡の５遺跡から得られた土器胎土粉末試料143点、土器付着炭化物試料78点である。これらの試料について、GC-MSによる生物指標の同定やフィタン酸におけるSRRジアステレオマー比率の測定、GC-c-IRMSによる個別脂肪酸の安定炭素同位体比の測定を行った。

3　結果と考察

分析の結果、全ての遺跡において、水生生物に特有の生物指標（図１）や、フィタン酸における高いSRRジアステレオマー比率（図２）、海産物に対応する値の個別脂質安定炭素同位体比が確認された。今回の分析対象とした遺跡においては、共通して水産物を強く指向した土器による調理内容が復元され、この傾向が鳥浜貝塚だけに特殊なものではないことが明らかになった。

文献

Lucquin, A., Gibbs, K., Uchiyama, J., Saul, H., Ajimoto, M., Eley, Y., Radini, A., Heron, C., Shoda, S., Nishida, Y., Lundy, J., Jordan, P., Isaksson, S. & Craig, O.E., 2016. Ancient lipids document continuity in the use of early hunter–gatherer pottery through 9,000 years of Japanese prehistory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(15), pp.3991–3996.

Lucquin, A., Colonese, A.C., Farrell, T.F.G., & Craig, O.E., 2016. Utilising phytanic acid diastereomers for the characterisation of archaeological lipid residues in pottery samples. *Tetrahedron letters*, 57(6), pp.703–707.

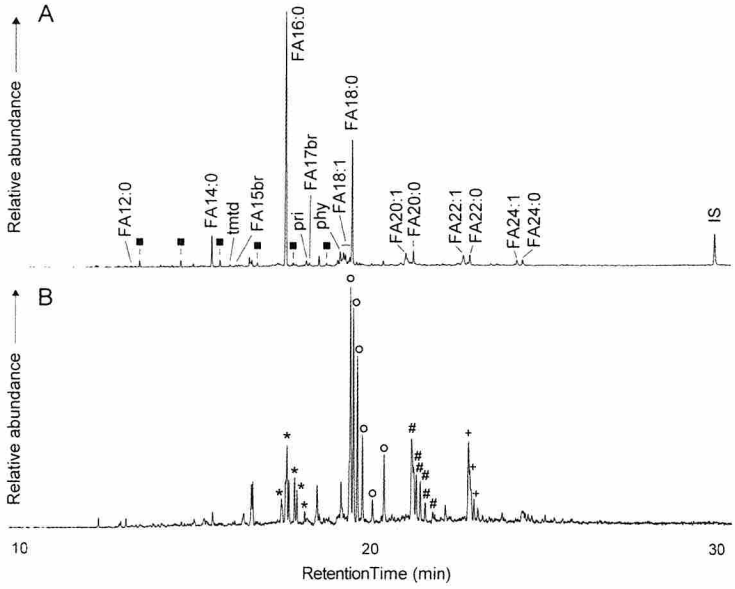


図１　A. 秋田県菖蒲崎貝塚出土土器試料（SBZ11）の部分クロマトグラム（メチル化後）。分解した水生生物由来の油に特有の中鎖および長鎖の飽和脂肪酸および１価不飽和脂肪酸、イソプレノイド脂肪酸であるプリスタン酸（pri）、フィタン酸（phy）、4,8,12-トリメチルトリデカン酸（4,8,12-TMTD）が見られる。また、炭素数 C8-C13 のα,ω-ジカルボン酸（■）は、淡水ないし海水由来の油に含まれる複雑な長鎖不飽和脂肪酸の酸化による生成物の可能性が高い。FAn:x は脂肪酸の炭素数ｎ、二重結合の数がｘであることを示す。br は分岐鎖脂肪酸、IS は内部標準の略。B. m/z91 および m/z105（質量電荷比）イオンクロマトグラムに示された炭素数 16（＊）、18（○）、20（#）、22（＋）のアルキルフェニルアルカン酸。特に後二者は C20 および C22 の不飽和脂肪酸が加熱されて生成されるものであり、この油が水生生物に由来することを示す。

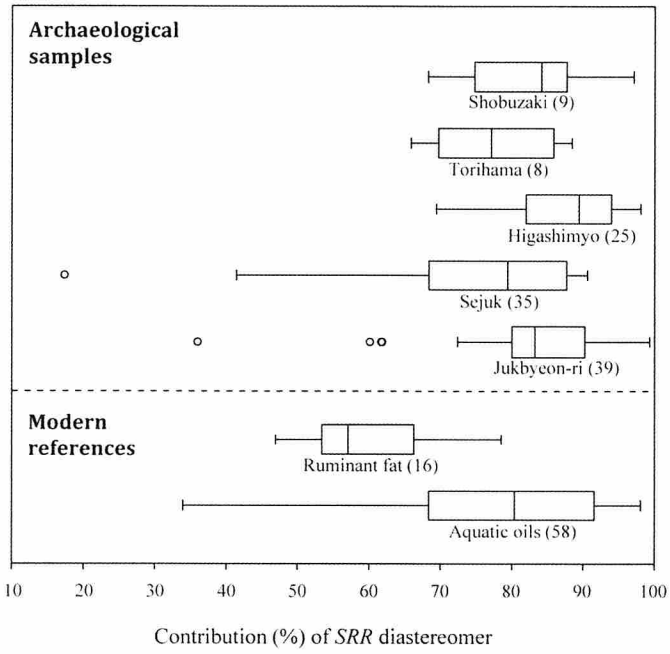


図２　遺跡ごとのフィタン酸における SRR ジアステレオマー比率と現生標本のそれとの比較のための箱ひげ図。現生標本のデータについては(Lucquin, Colonese, et al. 2016)を参照した。

蛍光X線分析を用いたアイヌ文化期の遺跡出土ガラスの考古化学的研究

Archaeometiric study of glass beads excavated from Ainu-culture period sites using X-ray fluorescence analysis

○新井沙季, 馬場慎介, 中村和之, 塚田直哉, 中井 泉

○Arai Saki, Baba Shinsuke, Nakamura Kazuyuki, Tsukada Naoya, Izumi Nakai

1. 研究背景・目的

紀元後7世紀に始まった国内でのガラス生産は紀元後9世紀までには一度衰退するが，10世紀後半になると中国から新たな組成であるカリ鉛ガラスが技術と共に流入することでカリ鉛ガラスが国内ガラス生産の中心になった[1]と言われている．中世以降(紀元後12世紀～)は，カリ鉛ガラス(K_2O-PbO-SiO_2)とカリ石灰ガラス(K_2O-CaO-SiO_2)の2つのタイプが流通していたが，本州では，中世になるとガラス流通が衰退したため，出土資料が少なくあまり研究が進んでいない．一方，同時期の北海道ではガラスの流通が続いていた．そこで本研究では，中世の北海道に着目した．中世本州と同時期の北海道では，独自の文化であるアイヌ文化が栄えていた．アイヌ文化期の遺跡からはガラス製品が多数出土しており，特にアイヌ玉と呼ばれている[2]．アイヌ玉の分析は先行研究でも行われているが．先行研究では出自が不明な民俗資料の分析がほとんどである[2]ため，本研究では出土年代が明らかな遺跡出土資料を化学分析し，道南地域の流通様相を明らかにすることを目的とした．次に，アイヌ文化期の北海道への物の搬入ルートは，大陸・樺太からのルートや本州からのルートが考えられているが，ガラスビーズの詳しい搬入経路は不明である．そこで本研究では，本州と北海道を繋ぐ重要拠点であった道南地域のガラスビーズを蛍光X線分析し，その分析結果と先行研究の本州・北方のデータと比較することで北海道への搬入経路を考察することを目的とした．

2. 分析資料・及び分析装置

分析資料は，北海道道南地域にある遺跡出土のガラスビーズ計309点である．いずれもアイヌ文化期の遺跡であり，せたな町(南川2遺跡，瀬田内チャシ跡)のガラス260点，上ノ国町(勝山館跡)のガラス48点，北斗市(矢不来館跡)のガラス1点である．

本研究で用いた分析装置は，可搬型蛍光X線分析装置2台(OURSTEX 100FA-Ⅱ，OURSTEX 100FA-Ⅳ)である。これらの装置は当研究室(東京理科大学)がOURSTEX(株)と共同開発したエネルギー分散型の分析装置である[3,4]。アルカリ系ガラス資料は検量線を用いて全22元素を定量し，高PbO含有量のガラス資料に対しては，補正検量線を用いた定量を行った．資料の密度を用いてPbO含有量を算出し，求めたPbO含有量を用いて補正検量線から全17元素を定量した[5-7]．

3. 結果と考察

分析したガラス資料全309点を，主成分組成により分類した結果，カリ鉛ガラス289点，カリ石灰ガラス20点に分類できた．道南地域においても北海道で一般的な化学組成を持つガラスビーズが流通していたことが明らかになった．

緑色透明カリ鉛ガラスについて，着色要因と考えられる元素(Cu，Fe，Zn)で特性化した．Fig. 1 に CuO / 4，Fe_2O_3 / 7，ZnO の含有量比が100%になるように規格化した三角ダイアグラムを示す．本州では Fe 着色と Cu 着色のガラスビーズが約1：1の割合で存在したが，先行研究[8]の北海道では2点を除いてすべて Cu 着色であった．道南地域の緑色カリ鉛ガラスについても，Fe 着色の領域には2点分類されたが，残りの96点は Cu 着色であった．道南地域においても緑色カリ鉛ガラスは，北海道で広く流通した緑色カリ鉛ガラスと同じ着色であることが判明し，北海道には本州とは異なる起源のガラスが搬入された可能性が示唆された．

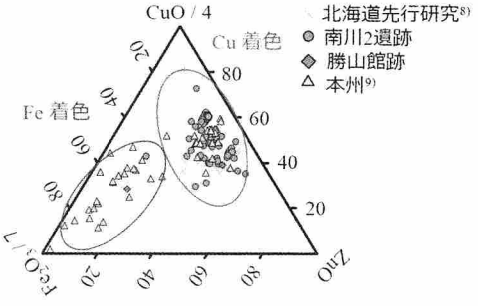


Fig. 1 緑色カリ鉛ガラスの特性化

乳濁カリ石灰ガラスについて，先行研究[2]では，粉末X線回折を用いた分析により，北海道の民俗資料は，鉛系ガラスの乳濁剤としてアンチモン酸化物，アルカリ系ガラスの乳濁剤として蛍石を用いていたことが報告されている．本研究で，乳濁したカリ石灰ガラスの蛍光X線スペクトルにアンチモン Sb のピークを検出した．Fig. 2 に蛍光X線分析によるスペクトルを示す．当研究室ではこれまでにも乳濁したガラス資料の分析をしているが，アイヌ文化期の北海道の乳濁資料で Sb の含有を検出したのは初めてである．本研究により，アルカリ系ガラスにおいてもアンチモン酸化物による乳濁を用いていた可能性が示唆された．

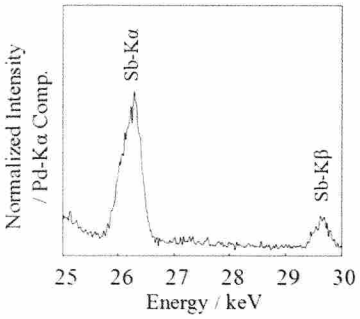


Fig. 2 蛍光X線スペクトル

以上本研究により，アイヌ文化期の道南地域におけるガラス流通が明らかになった．

【謝辞】

貴重な資料をご提供してくださった上ノ国町教育委員会の関係者各位のご協力に厚く御礼申し上げます．尚，本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B)26303006）の支援により実施されました．

【参考文献】

1) 降幡順子ほか：考古学と自然科学, 66,25-42 (2014). 2) 斎藤亜三子："アイヌ民族のガラス玉に関する考古化学的研究", 財団法人アイヌ民族博物館, (2003). 3) 菊川 匡ほか：X線分析の進歩, 40, 325-337 (2010). 4) K.Tantrakarn et al.：*X-Ray Spectrometry*, 38, 121-127 (2009). 5) 権代紘志ほか：X線分析の進歩, 42, 325-340 (2011). 6) 白瀧絢子：修士論文, 東京理科大学 (2012). 7) 馬場慎介：卒業論文, 東京理科大学 (2015) 8) 馬場慎介ほか：函館工業高等専門学校紀要, 51, 48-67 (2017). 9) 馬場慎介ほか：X線分析の進歩, 48, 1-24 (2017) (印刷中).

Sr 同位体比と科学的手法による近世漆器の材料と産地の推定

-螺鈿を対象とした-

Estimation of materials and provenance of modern lacquerwares by Sr isotopes ratio and scientific method –On the lacquerwares decorated with Raden–

○中川理夢(明治大学大学院)、本多貴之(明治大学)、
中井俊一(東京大学地震研究所)、宮里正子(浦添市美術館)
○Rika Nakagawa (Meiji University graduate school), Takayuki Honda (Meiji University),
Shun'ichi Nakai (E.R.I., The University of Tokyo), Masako Miyazato (Urasoe Art Museun)

1. 緒言

本研究では漆器に使用された材料および漆の産地を科学分析によって調査し、製作工程や交易経路を明らかにすることで文化財に関する考古学調査や保存修復に貢献することを目的としている。東アジアから東南アジアにかけて生息する漆のうち、漆器の製作に利用される漆として3つの樹種が確認されている (**Figure 1**)。漆の樹種の特定には熱分解ガスマトグラフィー質量分析計 (Py-GC/MS) が広く用いられている。しかし、日本産漆と中国・韓国産漆は同じ樹種であり、脂質主成分が同一構造であるため Py-GC/MS での識別ができないという問題点がある。そこでマルチコレクター型誘導結合プラズマ質量分析 (MC-ICP-MS) を用いた Sr 同位体比 ($^{87}Sr/^{86}Sr$) 測定による日本産漆、中国・韓国産漆の識別を進めている。漆に蓄積された $^{87}Sr/^{86}Sr$ は漆の生育していた地質基盤岩の年代により変動することが知られており、古い大陸ほど $^{87}Sr/^{86}Sr$ は高くなる (**Figure 2**)。現在、$^{87}Sr/^{86}Sr$: 0.711 [-] を境界値として日本産漆と中国・韓国産漆の識別が出来ると報告されている [1]。境界値よりも高い値を示せば地質基盤岩の年代が古い中国大陸産、境界値よりも低い値を示せば地質基盤岩の年代が新しい日本列島産であると識別できる。

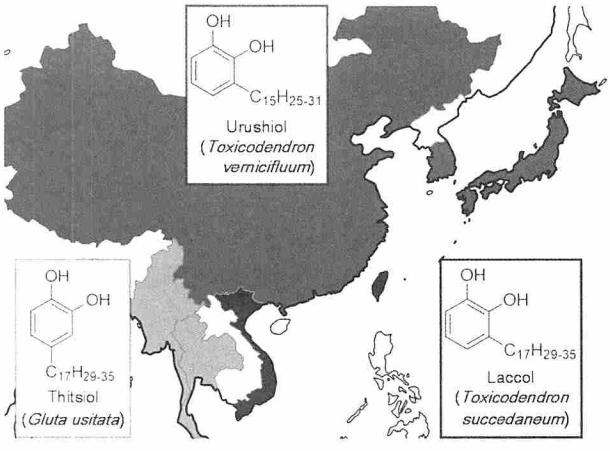


Figure 1 The distribution of lacquer

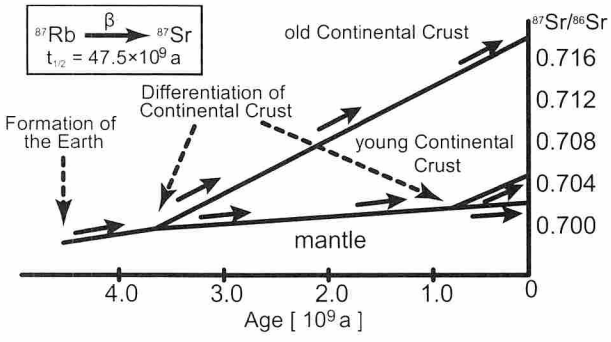


Figure 2 The evolution of Sr isotopes ratio by radioactive decay

本実験では螺鈿と呼ばれる貝殻を文様に切り、漆器の表面にはめ込むか、漆や膠などの接着剤を用いて貼り付けることで装飾する技法の施された漆器について分析結果を発表する。

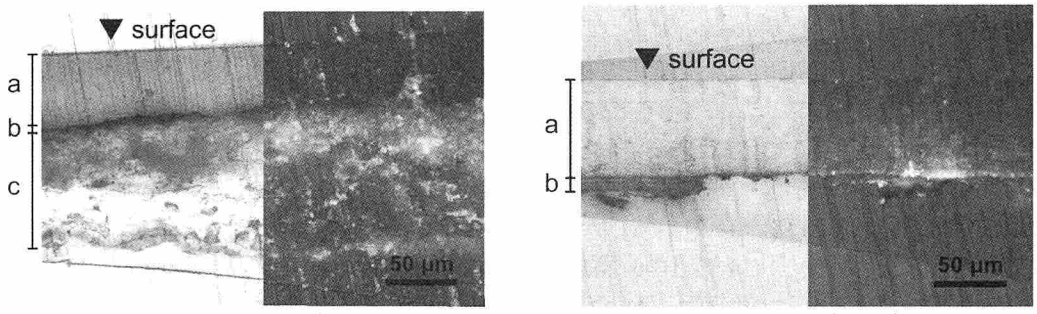
2. 実験

本実験では浦添市美術館の研究用資料である黒漆楼閣人物螺鈿軸盆と黒漆龍獅子螺鈿銅鑼掛の剥落片を用いた。試料に対してクロスセクション分析、Py-GC/MS 及び水酸化テトラメチルアンモニウムを用いた反応熱分解 (THM)-GC/MS、MC-ICP-MS による Sr 同位体比測定を行った。

3. 結果・考察

3.1. クロスセクション分析

層構造を観察するためにクロスセクション分析を行った (**Figure 3**) 。黒漆楼閣人物螺鈿軸盆は貝の接着していた塗膜の剥落片に対して分析を行い、褐色層。黒色層、下地層 (a–c) からなる 3 層構造であることが確認された。黒漆龍獅子螺鈿銅鑼掛は貝の剥落片に対して分析を行い、貝層、接着剤層 (a–b) からなることが確認された。



tray (×500)　　gongstand (×500)

Figure 3　Cut surfaces of samples　(Left: Transmitted light, Right: Polarized light)

3.2. Py-GC/MS 及び THM-GC/MS

使用された添加剤及び漆の樹種を特定するために黒漆楼閣人物螺鈿軸盆の塗膜を含む剥落片に対して Py-GC/MS、黒漆龍獅子螺鈿銅鑼掛の塗膜を含む剥落片に対して THM-GC/MS を行った。黒漆楼閣人物螺鈿軸盆の *m/z* 60 のイオンクロマト抽出より、パルミチン酸・ステアリン酸のピークが確認されたため、油脂が用いられたことが示唆された。黒漆龍獅子螺鈿銅鑼掛の *m/z* 74 のイオンクロマト抽出より、パルミチン酸・ステアリン酸由来のピークが確認されたため、油脂が用いられたことが示唆された。*m/z* 202 のイオンクロマト抽出より、両試料から Fluoranthene と Pyrene が検出されたため、煤が使用されていることが示唆された。黒漆楼閣人物螺鈿軸盆の *m/z* 108 のイオンクロマト抽出より (**Figure 4**)、P9 を中心とする山型のピーク群が確認されたため、使用された漆の樹種はベトナム産の漆である *Toxicodendron succedaneum* であると示唆された。黒漆龍獅子螺鈿銅鑼掛の *m/z* 151 のイオンクロマト抽出より (**Figure 5**)、V'8, V15 のピークが確認されたため、使用された漆の樹種は日本・中国・韓国産の漆である *Toxicodendron vernicifluum* と示唆された。

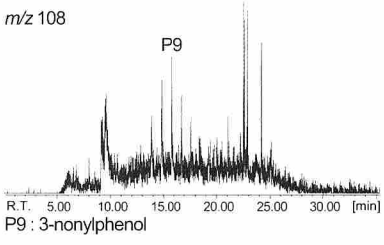


Figure 4　Ion Chromatogram of tray

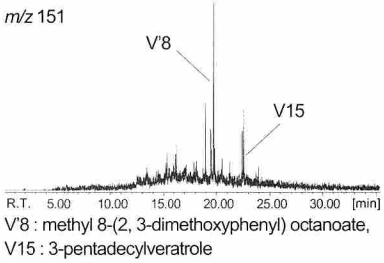


Figure 5　Ion Chromatogram of gongstand

3.3. Sr 同位体比測定

黒漆龍獅子螺鈿銅鑼掛の漆塗膜に対して MC-ICP-MS を用いた Sr 同位体比測定を行った。黒漆龍獅子螺鈿銅鑼掛の $^{87}Sr/^{86}Sr$ は 0.72244 を示し、日本産と中国・韓国産漆の境界値 0.711 よりも高かったため、中国・韓国産漆であることが示唆された。しかし現在までに報告されている中国・韓国産漆の $^{87}Sr/^{86}Sr$ が 0.712–0.718 であるのと比較して高い値である。そのため、高い $^{87}Sr/^{86}Sr$ を示すと予測されている中国南部で生育した漆の使用が考えられる。また、漆器は様々な有機無機材料の複合体であるため、他の材料による $^{87}Sr/^{86}Sr$ の上昇が考えられる。そのため、今後より詳細な検討が必要である。

【参考文献】

1) 安藤大輔,「熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析法と誘導結合プラズマ質量分析法による漆と歴史的な漆製品の産地推定に関わる研究」, 明治大学理工学研究科応用化学専攻修士論文(2015)

漆塗膜分析における人の表皮由来の油が与える影響の検討

Effects of human skin surface lipids on lacquer coating film analysis

○高橋槙一（明治大学大学院）、本多貴之（明治大学）
○Shinichi Takahashi (Meiji University graduate school), Takayuki Honda (Meiji university)

1. はじめに

漆の木から得られる漆液は自然環境下で硬化し優れた外観を持つ非常に強い塗膜を形成する。そのため漆には縄文時代より天然高分子として幅広い分野で利用されてきた。このような背景から出土遺物は、それぞれの時代の文化を反映しており、時代・遺跡ごとにおける材料や技術の特徴を把握するための重要な手がかりとなる。

漆は油が添加されることで塗膜の柔軟性があがるとされている。しかし発掘現場や試料を扱う際には素手で取り扱うこともあり、人の表皮由来の油が混入している可能性が考えられる。漆塗膜分析には熱分解ガスクロマトグラフィー質量分析（Py-GC/MS）が用いられる[1]。Py-GC/MS では微量な試料で分析が行えるという利点があるが、微量の分析になるほど、コンタミネーションの影響が大きくなる。そこで本研究では Py-GC/MS を用いた漆製品の油検出において人の表皮由来の油が影響するか検討した。また油混合漆塗膜を用いて塗膜内の油成分に影響を与えず、コンタミネーション由来の油を除去する前処理法を検討した。

2. 実験

人の表皮由来の油の影響を検討するため日本産漆塗膜に指を接触後、メスを用いて塗膜を採取した。試料に対して Py-GC/MS を用いて分析を行った。

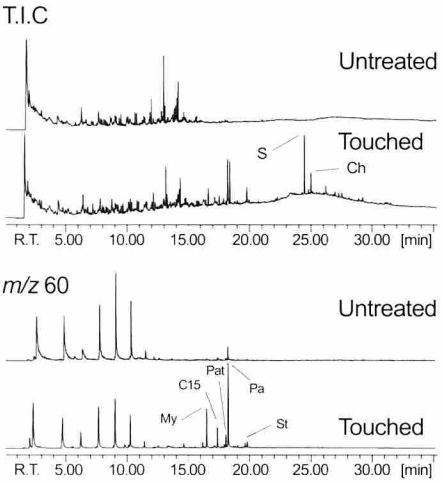
また前処理法の検討には油混合漆塗膜（桐油：漆 = 1：1）を用いた。油混合漆塗膜の表面に対して指で接触後メスを用いて漆塗膜を採取した。前処理としては綿棒を用いての洗浄、超音波洗浄器を用いての洗浄、ソックスレー抽出器を用いての洗浄を行った。綿棒を用いた洗浄では綿棒をクロロホルムで湿らせた後、塗膜表面を拭き洗浄を行った。超音波洗浄では塗膜をクロロホルムに浸漬後、超音波洗浄器を用いて洗浄した。洗浄時間は 10 分、20 分、30 分、60 分とした。ソックスレー抽出器を用いた洗浄法ではクロロホルムを用い分析を行った。それぞれの試料に対して Py-GC/MS を用いて分析を行った。

3. 結果・考察

3.1. 人の皮脂由来の油の影響の検討

漆塗膜に指を接触前および接触後 Py-GC/MS を用いて分析を行い、得られたトータルイオンクロマトグラム（T.I.C.）を **Figure 1** に示す。皮膚上の皮脂には大きくわけてトリグリセライド、遊離脂肪酸、スクアレン、ワックスエステル等の脂腺由来脂質とコレステロール、コレステロールエステル等の表皮由来脂質が存在する[2]。T.I.C. より、R.T. 24 min 付近に皮脂由来と考えられるスクアレン（S）、コレスタジエン（Ch）が検出された。

また *m/z* 60 においてイオンクロマト抽出を行った結果よりミスチリン酸（My）、ステアリン酸（St）、ペンタデカン酸（C15）、パルミトレイン酸（Pat）が検出された。また比較的強度の強いパルミチン酸（Pt）のピークが検出された。



S : Squalene, Ch : Cholestadiene, Pa : Palmitic acid, Pat : Palmitoleic acid, C15 : Pentadecanoic acid, My : myristic St : Stearic acid acid

Figure 1 Total Ion Chromatograms and Ion Chromatograms of Samples.

3.2. 油混合漆塗膜を用いた前処理法の検討

油混合漆塗膜に指を接触前および接触後、接触後にそれぞれの洗浄法を用いて前処理を行った後に Py-GC/MSを用いて分析を行い、得られた T.I.C. を **Figure 2** に示す。未洗浄の塗膜の T.I.C. から R.T. 24.7 min, 25.2 min 付近においてそれぞれ皮脂由来と考えられるスクアレン、コレスタジエンが検出された。それぞれの洗浄法でスクアレン、コレスタジエンは検出されず皮脂由来の油成分の除去が確認された。洗浄法による大きな変化は T.I.C. では確認されなかった。

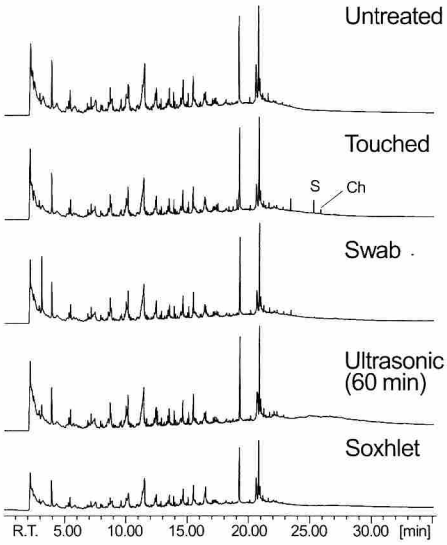
また *m/z* 60 においてイオンクロマト抽出を行った結果を **Figure 3** に示す。未洗浄の塗膜の結果から、ブタン酸—デカン酸 (C4—C10) 、ミスチリン酸、ペンタデカン酸、パルミトレイン酸が検出された。また比較的強度の高いパルミチン酸、ステアリン酸が検出された。

綿棒を用いた洗浄法ではブタン酸—デカン酸 (C4—C10)、また比較的強度の高いパルミチン酸、ステアリン酸が検出された。未洗浄の油混合漆塗膜の結果と比較するとミスチリン酸、ペンタデカン酸、パルミトレイン酸のピークの減少が確認された。

超音波を用いた洗浄では洗浄時間による大きな差異は確認されなかった。**Figure 2, 3** には 60 分間超音波洗浄器を用いて前処理を行った結果を示す。綿棒の洗浄法と同様にブタン酸—デカン酸 (C4—C10)、また比較的強度の高いパルミチン酸、ステアリン酸が検出された。未洗浄の油混合漆塗膜の結果と比較するとミスチリン酸、ペンタデカン酸、パルミトレイン酸のピークの減少が確認された。

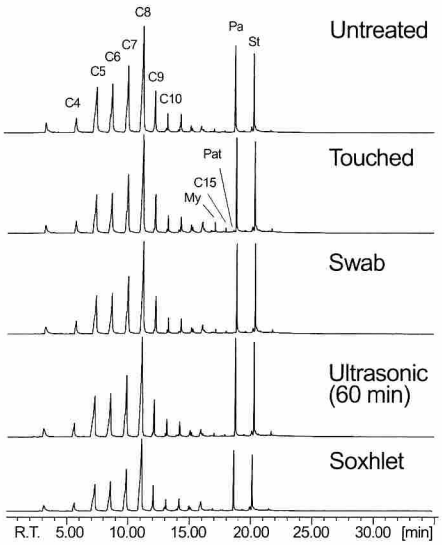
ソックスレー抽出器を用いた洗浄法についても綿棒による洗浄、超音波洗浄と同様な結果が得られた。

すべての洗浄法において T.I.C からスクアレン、コレスタジエンのピークの消失、*m/z* 60 においてミスチリン酸、ペンタデカン酸、パルミトレイン酸のピークの減少が確認され、塗膜中の油成分由来のピークに大きな差異は確認されなかった。



S : Squalene, Ch : Cholestadiene,

Figure 2 Total Ion Chromatograms of Samples.



Butanoic acid – Decanoic acid : C4–C10, My : myristic acid, C15 : Pentadecanoic acid, Pat : Palmitoleic acid, Pa : Palmitic acid, St : Stearic acid

Figure 3 Ion Chromatograms of Samples (*m/z* 60).

4. おわりに

漆塗膜を指で接触後 Py-GC/MS を用いて分析を行った。接触前の試料と比較すると皮脂由来のピークが検出されたため漆塗膜分析における油脂成分検出に影響を与えることが示唆された。また油混合漆塗膜を用いて洗浄法の検討を行った。 3 種の洗浄法を検討した結果、すべての洗浄法で塗膜内の油成分に影響を与えず、皮脂由来の成分の除去できることが確認された。

参考文献

1) T. Honda, R. Lu, Y. Kamiya, S. Nakaic, T. Miyakoshi, J. Anal. Applied Pyrol. 117, pp.25-29, 2016
2)A. Budu, I. Sandu, V. Vasilache, A. Simionescu, I. Sandu, Rev.Chim., 66, No.8, 2015

スウェーデンの美術館で保管された模造漆器の科学分析

Scientific analysis of imitation lacquerware stored in Swedish art museum

○出居 宗一郎 (明治大学大学院)、本多 貴之 (明治大学)
○Soichiro Idei (Meiji University graduate school), Takayuki Honda (Meiji University)

1. 緒言

模造漆器とは、漆を使用せずに漆器のような質感を出した工芸品であり、主に近世の欧州で製造されていた。近世の欧州では、深みのある黒を再現出来る塗料が存在しなかった。そのため、1549 年に始まった南蛮貿易により日本漆器が輸入されることで、欧州で漆器の黒が再現する試みがなされた。しかし、欧州では漆の木の育成が困難であったため、塗装材料に漆ではなく、乾性油や天然樹脂、顔料等を用いた模造漆器が製作された。また、素地の材料は木板の他にもパピエマシェと呼ばれる紙や木屑、布を固めたものが使用される場合があった。欧州の中でも地域や年代によって模造漆器の製作に使用された材料や制作技法が異なるという報告がある。本来、文化財等の工芸品を修復する際には使用された材料と同様のものを用いることが最善であるが、上記の理由により修復に使用する材料の特定が困難となっている。そのため、模造漆器に使用された材料の特定及び分析法の検討し、有効な分析法を明らかにすることが必要となる。

本研究では欧州の模造漆器に対して分析を行い、使用された材料及び制作技法を明らかにする。これにより破損した模造漆器の修復作業に貢献することを目的としている。今回の研究では、スウェーデンの美術館で保管された模造漆器に使用された材料について分析及び特定を行った。

2. 実験

分析試料 (Sample) はスウェーデンの王立武儀博物館から提供された黒地楼人物箔絵蓋である。作品の制作年代は 18 世紀、制作地域はヨーロッパとされており、試料表面は青黒い状態だった。今回の実験では、表面から剥落した塗料片について詳細な調査を行った。材料の成分を調査するため、可視-近赤外分光光度計による可視-近赤外分光吸収分析を行った。加えて、製作した試料薄片に対して蛍光 X 線分析 (ED-XRF) で元素分析を行った。また、塗料に含まれている成分の調査及び材料の特定を行うため、熱分解 (Py)-GC/MS 及び分析結果に対して主成分分析を行うことで材料について調査を行った。

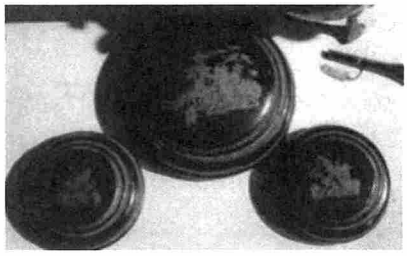


Figure 1 Image of Sample

3. 結果と考察

3.1. 可視-近赤外分光吸収分析及び ED-XRF

可視-近赤外分光吸収分析を行った結果、Sample はインディゴに特徴的な 640-1000 nm の吸収波長は見られなかった。インディゴは藍の成分となっていることから、塗料の染色に用いられた材料は藍ではないことが判明した。次に、材料が顔料であるか調査するため、試料薄片に対して ED-XRF による元素分析を行った (**Figure 2**)。分析結果より Fe, Pb の存在が確認された。Fe が主成分である青

色顔料に花紺青と呼ばれる人工顔料がある。花紺青は18世紀初頭にドイツで発明された顔料であるため、塗料の染色には花紺青が用いられていたと推察した。また、Pb が主成分の顔料としては鉛白があり、これは白色顔料や乾性油の乾燥剤として用いられる場合がある。そのため、試料の乾燥剤として鉛白が用いられたと推察された。

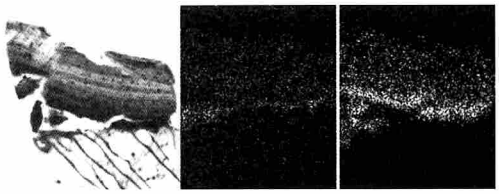


Figure 2 Mapping by ED-XRF analysis
(Left: Image of Cross section, Center: Fe, Right:

3.2. Py-GC/MS 及び主成分分析

Py-GC/MS により分析した結果、Palmitic acid, Stearic acid 及びカルボン酸の分子鎖が検出された。これらは乾性油のマーカー物質であるため、乾性油が含まれていることが示唆された。しかし、使用された乾性油の種類の判別は困難だった。そのため、主成分分析を用いて、乾性油種の特定を行った。主成分分析とは、比較分析が可能な統計解析法の一種であり、複雑で解釈の難しいデータを簡便化し、データの特長付けを行う分析手法である。

Table The intensity ratio of oil C6-C9 area value

Analysis sample		C6	C7	C8	C9
Linseed oil		20.9	19.8	45.6	13.7
		20.9	20.7	44.9	13.5
		20.8	18.8	45.9	14.5
Perilla oil		18.6	20.3	44.8	16.3
		17.8	20.8	44.2	17.2
		18.9	21.3	44.6	15.3
Sun flower oil		24.9	23.6	42.3	9.2
		24.8	23.5	42.5	9.2
		25.1	23.7	41.9	9.3
Sample		24.6	24.2	40.0	11.2
		25.6	23.8	39.5	11.1
		25.1	24.2	39.4	11.3
Sun flower oil +colophony	10wt%	22.5	25.0	42.9	9.6
	20wt%	20.6	23.5	45.9	10.0
	30wt%	14.6	26.2	49.2	10.0
Sun flower oil +dammar	10wt%	23.3	24.0	43.5	9.2
	20wt%	21.2	22.8	46.8	9.2
	30wt%	19.6	22.5	48.2	9.7

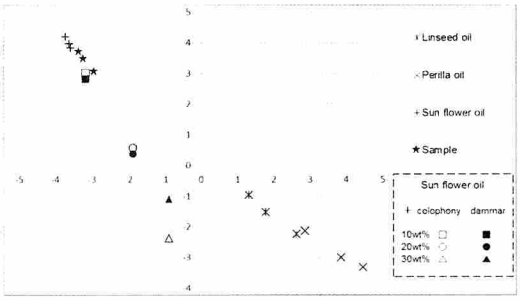


Figure 3 Principal component scores of oil

統計解析に用いるデータとして、Sample に加え、同様の方法で分析した向日葵油 (Sun flower oil)、亜麻仁油 (Linseed oil)、荏油 (Perilla oil) を用いた。それらのイオンクロマトに対し、検出された各試料のカルボン酸 (分子鎖 C6-C9) の全ピークに対する面積割合を算出し、主成分分析を行った (Table)。結果より Sample には向日葵油が使用されたと示唆された (Figure 3)。また、塗料中には天然樹脂が存在する可能性がある。そのため、それらの有無を判別するため、向日葵油に対して天然樹脂を加えた塗料を作製し、成膜した。塗料の調製については向日葵油に対してダンマル又はコロフォニーを 10, 20, 30 wt%の割合で加え、波長 185 nm の紫外線を 1 日照射することで成膜した。これらの塗膜を Sample と同様の方法で分析し、上記の問題について検討を行った。コロフォニー、ダンマルをそれぞれ 10-30wt%混合した向日葵油の主成分分析を行った。得られた結果より、両方の樹脂により C6-C9 の面積値の割合に変化が生じることが判明した。Sample からは C6-C9 の値の変化が見受けられないため、塗料中に天然樹脂は存在しないと示唆された。

4. 結言

Sample に対し可視-近赤外分光吸収分析、ED-XRF、Py-GC/MS、主成分分析を行った。可視-近赤外分光吸収分析及び ED-XRF より、試料に用いられている材料は藍ではなく花紺青であると推察された。また、Py-GC/MS 及び主成分分析を用いた検証法からは、Sample の塗料中には向日葵油のみが含まれていることが示唆された。

本研究を行うにあたり、明治大学 宮腰哲雄先生及び Senior lecture in Conservation, Maria Brunskog 先生、王立武儀博物館の協力により貴重な試料を分析する機会をいただきました。ここに記して謝意を表します。

観察条件（乾燥、加水）の違いによる紙繊維表面形状の変化

Difference of Paper Fiber Surface Morphology between Dry and Wet Conditions

○坂本昭二（Shouji SAKAMOTO）†1, †2、　Léon-Bavi VILMONT †2

†1 龍谷大学（Ryukoku University）

†2 Sorbonne Universités, Centre de Recherche sur la Conservation (CRC, USR 3224), Muséum National d'Histoire Naturelle, Ministère de la Culture et de la Communication, CNRS

1. はじめに

紙文化財の分析の一つに紙繊維の同定がある。この同定には紙資料からサンプリングした繊維試料に対して Graff-C や Herzberg などの染色法が一般的に用いられている[1]。染色法では繊維を染色溶液に浸して顕微鏡観察を行う。一方で、染色溶液を用いずに乾燥した状態の繊維を観察することも可能である。本稿では、紙繊維を水に浸した状態と乾燥した状態での繊維表面形状の違いについて述べる。

2. 分析結果と考察

3 種類の和紙（楮紙、雁皮紙、三椏紙）からそれぞれサンプリングした繊維（コウゾ（楮）、ガンピ（雁皮）、ミツマタ（三椏））について、大気中での乾燥状態と水滴を与えた加水状態の繊維の表面を観察した。デジタル顕微鏡（Keyence VHX-1000）を用いて反射偏光観察を行った。この結果、乾燥状態ではコウゾとミツマタ繊維の表面に顕著なしわ模様が多数見られた（図 1, 5 参照）（但し、コウゾやミツマタ繊維の表面を覆う組織が剥がれてしまっている部分では顕著なしわは見られない。）が、ガンピ繊維の表面は繊維方向に条痕がある以外は比較的しわの少ないものがほとんどであった（図 3 参照）。一方、加水状態では 3 種類すべての繊維表面がしわの見られないものであった（図 2, 4, 6 参照）。

以上の結果から、コウゾとミツマタの繊維表面を覆う組織は吸水によって伸張してしわがなくなり、脱水によって収縮してしわ模様が現れているように見える。一方、ガンピ繊維に関しては、（紙繊維ではなく）樹皮のガンピ繊維を直接観察してもしわのない平滑な繊維が多数確認できるので、製紙工程の中で表面組織が無くなってしまったのではなく、元からそのような表面組織が無いように見える。

3. まとめ

加水状態と乾燥状態でのコウゾ、ミツマタ繊維の表面形状が変化することを確認し、ガンピ繊維はあまり変化が見られないことを示した。染色法による繊維分析では繊維を溶液に浸した状態で観察することが多く、ミツマタとガンピ繊維の識別が難しいとの意見が聞かれるが、乾燥状態での繊維表面のしわの有無はこれらの有効な識別基準になるであろう。

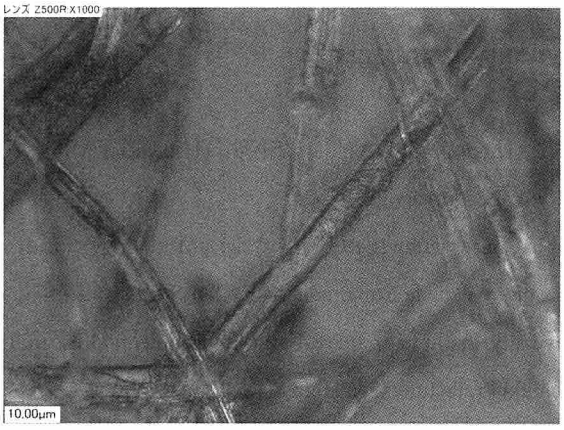


図. 1 コウゾ繊維（乾燥）

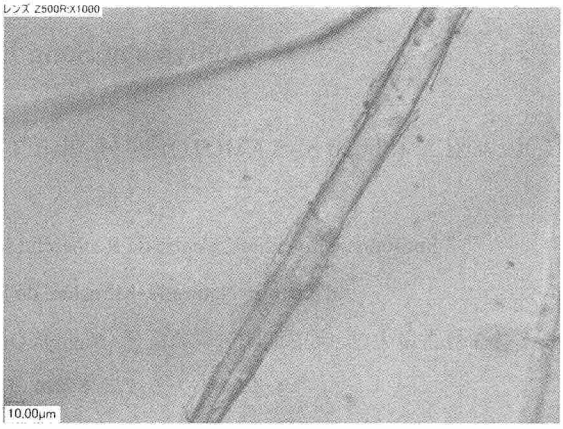


図. 2 コウゾ繊維（加水）

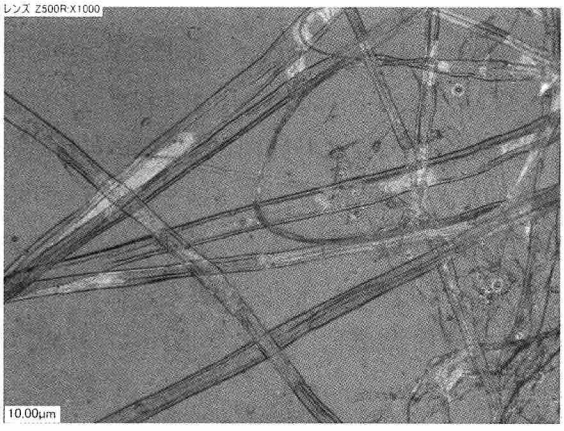


図. 3 ガンピ繊維（乾燥）

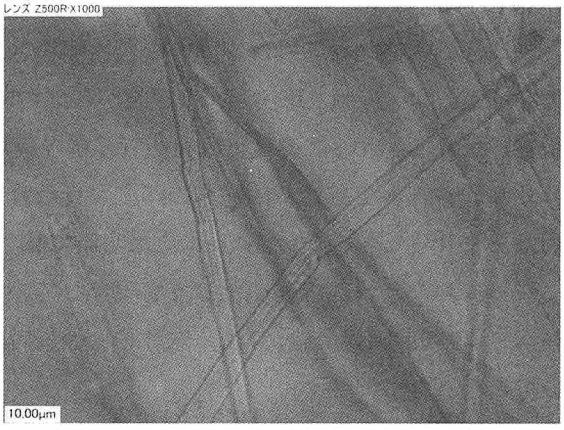


図. 4 ガンピ繊維（加水）

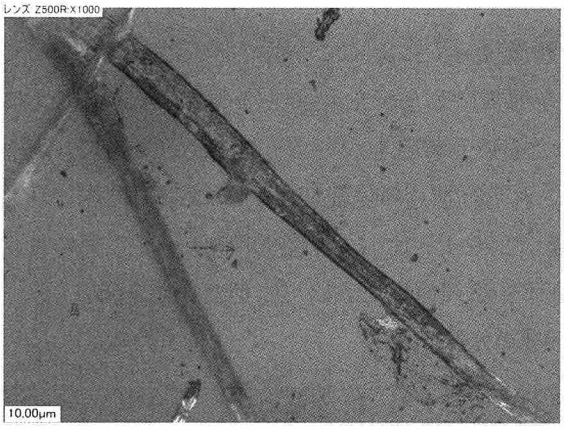


図. 5 ミツマタ繊維（乾燥）

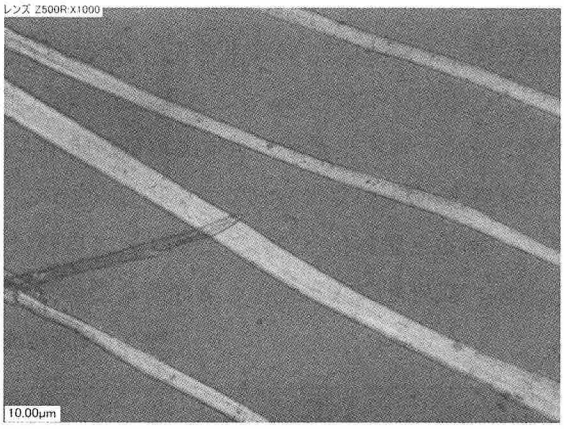


図. 6 ミツマタ繊維（加水）

謝辞：本研究は科学研究費助成事業 JP16H05638 の助成を受けたものです。

参考文献

［1］ AITKEN, Y, CADEL, F, VOILLOT, C : Constituants fibreux des pâtes, papiers et cartons, Ecole française de papeterie et des industries graphiques, 1988

宋版経典用紙の分析 2

Analysis of Song Dynasty Printings 2

○坂本昭二 (Shouji SAKAMOTO)†1, †2, 小田寛貴 (Hirotaka ODA)†3, 安裕明 (Hiroaki YASU)†4

†1 龍谷大学 (Ryukoku University)

†2 Sorbonne Universités, Centre de Recherche sur la Conservation (CRC, USR 3224), Muséum National d'Histoire Naturelle, Ministère de la Culture et de la Communication, CNRS

†3 名古屋大学 宇宙地球環境研究所(Nagoya University, Institute of Space-Earth Environmental Research)

†4 茨城県立多賀高等学校 (Ibaraki Prefecture Taga High School)

1. はじめに

一切経の本格的な印刷は中国の宋代に開板された蜀版（北宋版）が始めとされており、続いて東禅寺版、開元寺版、思渓版、積砂版が各地で開板された。これらの版木で印刷されたものは宋版と呼ばれる。さらに元代には元版（普寧寺版）も開板された。これら印刷物は中国国外にも伝わり高麗や日本でも盛んに経典の印刷が行われるようになった。現在、中国にはこのような印刷物はあまり残っていないが、日本には当時に輸入した大量の宋版経典が各地のお寺や博物館などに残っており、一部は経切としても現存している[1]。本研究では、宋版経典とみられる 4 点の経切（「舎利弗阿毘曇論」「法苑珠林」「大般若経」「大方廣佛華厳経」（表. 1 参照））についての分析を行った。

2. 紙質分析

以前の顕微鏡分析や目視観察によって、法量、紙厚、繊維分析、簀の目、糸目幅などがすでに分析されているのでこの結果を表. 1 に示す[2]。顕微鏡分析によって竹紙であることがわかっているが、当時、日本や韓国など中国以外の国で竹を原料にした紙を大量に作っていたとは考えにくく、また、日本や韓国の版本に竹紙が使用されたという報告もないようである。一方で、宋版には竹紙の使用が報告されている[3]。従って、これら経典用紙（経切 1〜4）は中国で作られたものであると思われる。特に、経切 1 と 3 の紙は経切 2 や 4 と比べて比較的厚手の紙で、簀の目、糸目幅、繊維配向、紙色などで顕著な差が見られず、目視観察においても似た紙である。

表. 1　宋版経典用紙の分析結果

No.	題	巻	紙高 [cm]	幅 [cm]	界高 [cm]	経切の行数	1行の字数	紙厚 [mm]	簀の目 [lines/cm]	糸目幅 [cm]	繊維	繊維配向	備考	説明書き
1	舎利弗阿毘曇論		28.2	11.2	25	6	17	0.18	7	2.8	竹	表(若干)	紙色:表濃い	宋版東禅寺版
2	法苑珠林		29.6	11.2	24.2	6(一部双行)		0.12		2.8	竹	表, 裏(若干)		宋版積砂寺版
3	大般若経	583	29.5	11.3	25.6	6	17	0.21	7	2.9	竹	表(若干)	紙色:表濃い	
4	大方廣佛華厳経	63	31.3	11.1	24.9			0.14	10	2.3	竹	表		

3. 年代測定

今回分析した 4 点の経切はすべて宋版とされているものの、宋版の版木を使って印刷されたものは印刷された時代に関係なく宋版と呼ばれるので、年代に関しては確かではない。従ってこれ

らの年代を推定するために年代測定を行った。分析するにあたって各経典用紙から若干の試料をサンプリングし、炭素 14 年代測定法による測定を行った（表. 2 参照）。この結果から経切 1, 3, 4 が宋代（970-1279）、経切 2 が元代（1271-1368）または明代（1368-1644）初期に作られた紙である可能性が高いことが示された。但し、測定結果は印刷年代を示しているわけではなく、材料である竹が切り取られた頃の年代である。

表. 2　宋版経典用紙の年代測定結果

No.	題		^{14}C年代 [BP]	較正年代 [cal AD]
1	舎利弗阿毘曇論	av.± 1 σ	815±20	1216(1222)1256
		± 2 σ	±39	1189(1222)1263
2	法苑珠林	av.± 1 σ	613±20	1302(1314)1324, 1345(1356)1366, 1383(1388)1394
		± 2 σ	±40	1295(1314,1356,1388)1402
3	大般若経	av.± 1 σ	888±20	1154(1161)1169, 1176()1181
		± 2 σ	±39	1047()1089, 1122()1139, 1148(1161)1213
4	大方廣佛華厳経	av.± 1 σ	803±20	1219(1228,1231,1246)1260
		± 2 σ	±39	1211(1228,1231,1246)1267

4. 宋版の書誌学的考察

各地に大量に残る宋版の書誌学的研究による報告が多数されている。蜀版は無界で 1 行 14 文字の特徴を持ち、それ以外の宋版経典は基本的に 1 行 17 字、6 行ごと（6 行でおよそ 11cm 強の幅）の折本形式で、上下に横界線があるが縦界線はない。さらに福州版（東禅寺版及び開元寺版）には厚手の黄染の紙が多く見られるのに対して、積砂版にはやや薄手柔軟な良質紙が使われていることが報告されている。また、思渓版は後に元版（普寧寺版）を作る際の元になったもので両者は同様の特徴を持つ[1]。表. 1 に示した書誌学情報と文献[1]の記述を照らし合わせると、経切 1, 3 は福州版の特徴を有し、経切 2 は積砂版の特徴を有している。しかし、印刷した時期によって異なる種類の紙が使われた可能性があることなどから、紙質の情報だけでどの版の経典かを同定することは難しい。

5. まとめ

年代測定の結果から、経切 1, 3, 4 は宋代に、経切 2 は元代から明代初期に作成されたものであると思われる。さらに、紙質分析と書誌学的分析から経切 1, 3, 4 は宋版の可能性が高く、経切 2 は宋版または元版（もしくは明版）の可能性が高い。

本研究では、書体に関する分析は全く行っていないが、宋版一切経全体のデジタル画像が公開されればパターンマッチングによる版の同定など、より詳細な分析も進むであろう。

謝辞：本研究は科学研究費助成事業 JP16H03101, JP16H05638 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] 山本信吉：古典籍が語る, 八木書店, p. 173-268, 2004

[2] 坂本昭二：宋版経典用紙の分析, 日本文化財科学会第 33 回大会研究発表要旨集, P-100, p. 318-319, 2016

[3] 石塚晴通, 土肥義和：東洋のコディコロジー：漢字文献, 新たなアジア研究に向けて, 第 9 号, 東洋文庫, pp. 14-110, 2013

平城京跡出土木簡の年輪年代学的手法による同一材の推定

―「皇」「太子」削屑の事例を中心に―

Same wood analysis using dendrochronological method for wooden tablets excavated from the Nara capital site

○ 星野 安治，山本 祥隆（奈良文化財研究所）
○ Yasuharu Hoshino, Yoshitaka Yamamoto (Nara National Institute for Cultural Property)

1. 緒言

年輪年代測定では，概ね100層以上の年輪を有する試料を対象とするのが一般的で，年輪数が少ない小型の木製品にその手法が適用される機会は必ずしも多くない。一方，発表者らは，主に同一材由来の推定を目的として，年輪年代学的調査手法を小型の出土木製品に対しても積極的に適用することを目指している。近年の成果として，一括性の高い試料群を分析対象とすることにより，その試料群の同一材の推定を進めることができる事例が増加した[1]。

このような背景のもと，現在，発表者らが試行的に検討を進めている木簡研究への年輪年代学的手法の導入に関する可能性について発表したい。本発表では，平城京跡の法華寺旧境内に隣接する場所において出土した，削屑木簡について，年輪年代学的検討により同一材関係が見出され，これらの木簡が同一簡である可能性を指摘した事例を中心に紹介する。

2. 分析対象

分析対象は，奈良文化財研究所都城発掘調査部がおこなった平城第524次調査において出土した木簡群である。発掘地は，平城京左京二条二坊十四坪およびその北に隣接する二条条間路に該当し，二条条間路南側溝である東西溝SD10575・SD10576の他，数条の東西溝や掘立柱塀などが検出された[2]。木簡は，奈良時代後半の二条条間路南側溝SD10575から14点が出土し，また下層の東西溝SD10580から4,355点が出土した。

このうち，SD10580出土木簡は削屑を主体とし（4,253点），人名を記すものが占める割合が高い。また「戊亥」「辰巳」など十二支の記述も目立ち，日付あるいは時刻などを表すものとみられる。さらに「高殿下侍舎人」と書かれる木簡の存在から，舎人の勤務管理などに関わる木簡群である可能性が指摘されている。年紀を有するものとしては養老7年（723）や神亀元年（724）と記す削屑が含まれ，SD10580や木簡群が奈良時代前半の遺構・遺物であることを裏づける。

今回，分析対象としたのは，SD10580出土木簡のうち，図1に示すような削屑である[3]。a・bはともに柾目材で木目は酷似し，内容面からも両者は同一木簡に由来する削屑である可能性が高いとされる。ただし直接には接続しないため，便宜的に別木簡として報告されている[4]。

3. 年輪年代学的な検討

年輪幅の計測は，分析対象を接写撮影し，Cybis社製年輪計測ソフトCooRecorderを用いておこなった。クロスデーティング[5]は，SCIEM社製年輪分析ソフトPASTを用いておこない，年輪曲線をプロットしたグラフの目視評価と，統計評価[6]をあわせておこなった。

両者に刻まれる年輪数は，aが18層，bが13層である。クロスデーティングは，bの年輪がaの3層目から15層目までと対応する関係で照合され（図2），t値は8.0であった。図2の年輪曲線グラフで示すように，両者は年輪幅の前年に対する増減のみならず絶対値も酷似していると判断され，同一材由来の可能性が高い。

以上のようにa・bは年輪同士が重複関係にあり，横方向の位置関係を特定することができる。し

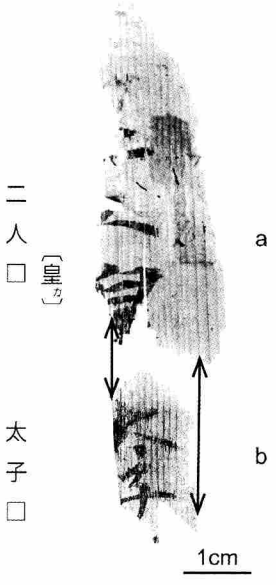
たがって，接続の仕方としては両者が縦方向に並ぶか，あるいは重なり合うといった可能性が考えられる。そのため，記載内容を重視し，両者をa→bの順に配列して「皇太子」という熟語のまとまりを見出すこれまでの見解[7]に対し，本年輪年代学的手法による検討結果は矛盾なく，むしろこの見解を支持するものと言える。ただし，bの最内層の年輪を基準として対応するaの年輪を配置し並べると，aからbにかけて文字列の軸線に右方向への若干のずれが生じるようにもみられる(図1)。

4. 古代史学的な意義

前述のようにSD10580出土木簡は養老・神亀年間（717～729）のものを中心とし，この時期の「皇太子」と言えば神亀元年（724）即位の聖武天皇（＝首皇子）を指すと考えられる。首皇子の居所は平城宮東張出部南半の東宮に求めるのが一般的であり，また東隣に構えられた藤原不比等邸（のちの法華寺）には安宿姫（＝光明皇后）が居住していた。平城第524次調査地は，その不比等邸のすぐ南側に隣接する。すでにSD10580出土木簡が首皇子の春宮舎人の活動に関わる資料群を含むとの指摘がなされているが[8]，今回の調査でa・b両者が同一簡由来である可能性が高まったことにより，その想定はさらに高い蓋然性を得たと言える。

今回の年輪年代学的な試行により，この2片の削屑が同一材から削り出されたものである可能性を指摘し，また両者の横方向の位置関係についても言及することができた。おそらく最も小さな出土木製品のひとつであろう木簡削屑に対しても年輪年代学的手法の適用が可能であり，またそれにより一定の成果を期待しうることは提示できたと言えよう。

なお，SD10580出土の削屑について，このほかにも同一材由来である可能性を指摘しうる試料群を見出しつつあり，それらも含めポスターにて提示するとともに，今後はより多くの木簡に分析対象を広げ，研究を展開してゆきたい。



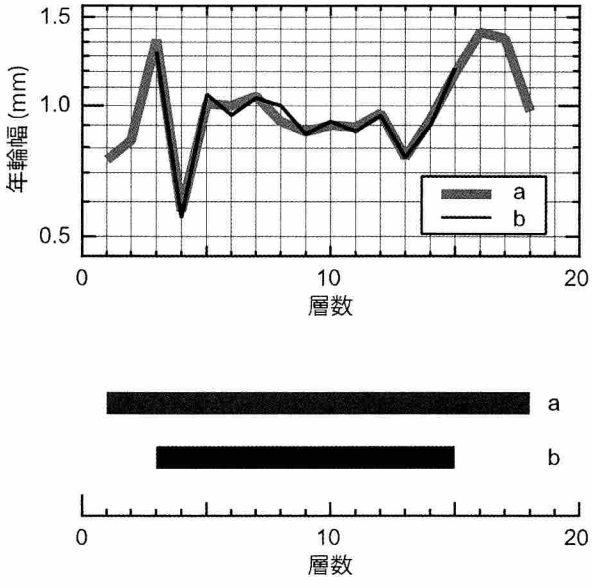


図1 分析対象木簡に刻まれる年輪の対応　　図2 分析対象木簡の年輪曲線(上)とバーチャート(下)

註：1) 例えば，浦蓉子・星野安治「年輪年代学的手法を用いた木器の接合検討－出土木器研究の新展開－」『日本文化財科学会第33回大会』2016. 2)「平城京左京二条二坊十四坪の調査－第524次」『奈文研紀要』2015. 3) aは『平城宮発掘調査出土木簡概報』44の11頁中段(30)，bは同(31)である. 4) 前掲註2；渡辺晃宏「奈良・平城京跡」『木簡研究』37，2015；『平城宮発掘調査出土木簡概報』44，2015. 5) クロスデーティングについては，米延仁志・大山幹成・星野安治・光谷拓実・Eckstein, D「年輪年代学におけるクロスデーティングのガイドライン - 日本産材を用いた方法論の分析とモンテカルロシミュレーションによる統計的クロスデーティングの再検討 - 」『考古学と自然科学』60，2010などを参照. 6) Baillie, M. G. L. and Pilcher, J. R. "A simple cross-dating program for tree-ring research" Tree-Ring Bulletin 33, 1973. 7) 前掲註4文献参照. 8) 前掲註4文献参照.

化学組成と鉛同位体比による日本出土アルカリケイ酸塩ガラスの起源推定

Provenance study of alkali silicate glass artifacts excavated from Japan by chemical composition and lead isotope ratio

○今井 藍子, 柳瀬 和也, 中井 泉（東京理科大学）
○Aiko Imai, Kazuya Yanase, Izumi Nakai (Tokyo University of Science)

1. 序

弥生時代～古墳時代（紀元前3世紀～紀元後7世紀頃）の日本では，海外で製作されたガラス製品が流通したとされる。これまで，日本国内で出土した古代ガラスに対して化学組成分析が進められ，その多くが海外に起源を持つアルカリケイ酸塩ガラスであることが明らかになった[1]。しかしながら，極東に位置する日本には多様な地域からのガラス流入が考えられ，化学組成のみでは原料や製作地の詳細な推定が困難である。

そこで，本研究では化学組成に加えて，ガラス原料の違いをより反映しやすい同位体比に着目し，起源推定を試みた。日本国内では，田村・大賀ら[2]によりソーダ石灰ガラスの鉛同位体比分析が行われ，海外出土ガラスや鉛鉱石との比較が進められている。また，柳瀬ら[3]によりカリガラスの鉛同位体比分析が行われ，中国南部の鉛鉱石を用いた青銅がガラスの着色原料として用いられた可能性が指摘されている。本研究では，日本国内で出土したアルカリケイ酸塩ガラスの鉛同位体比分析を行い，海外出土ガラスや鉛鉱石・青銅の同位体比データベースとの比較を行った。

2. 分析資料および分析装置

分析資料は，和歌山県大谷古墳出土ガラスビーズ15点（5世紀末～6世紀初），岐阜県兜塚古墳出土ガラスビーズ2点（7世紀前半），愛知県高蔵古墳出土ガラスビーズ3点（6世紀前半）の計20点である。全資料について，化学組成分析と鉛同位体比分析を行った。比較資料として，東京理科大学中井研究室がこれまで分析した国内外の古代ガラスのデータ[4-6]を用いた。

化学組成分析には，同研究室がOURSTEX（株）と共同開発した可搬型蛍光X線分析装置OURSTEX 100FAを用いた。資料表面を研磨し風化の影響を低減した上で測定を行い，得られた蛍光X線スペクトルから検量線法による計21元素の定量を行った。

また，資料から数mgを採取し，テフロン容器にて硝酸とフッ化水素酸を加えて加熱分解，蒸発乾固し，希釈した後，鉛同位体比分析を行った。試料調製および分析は公益財団法人環境科学研究所で行い，分析にはマルチコレクター誘導結合プラズマ分析装置 Nu Plasma HR を用いた。鉛同位体比測定の補正には，鉛同位体比標準（NIST SRM 981）を用いた。

3. 分析結果および考察

分析したガラスビーズ計20点は，化学組成からソーダ石灰ガラス（Na_2O-CaO-SiO_2系）16点，アルミナソーダ石灰ガラス（Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2系）4点の2タイプに分類された。

ソーダ石灰ガラス計16点は全て濃紺色を呈するCo着色であった。また，融剤として用いられた原料の違いから分類を行ったところ，1点がナトロンガラス（MgO, K_2O < 1.5 wt%），残り15点が植物灰ガラス（MgO, K_2O > 1.5 wt%）であった。Fig. 1にソーダ石灰ガラスのPbO *vs.* CoOプロットを示す。PbはCo原料に付随する可能性のある元素であり，植物灰ガラスはナトロンガラスよりもPbを多く含むCo原料で着色されたと考えられる。また，植物灰ガラス内においてもCo原料には複数の起源が存在する可能性が考えられる。Fig. 2にソーダ石灰ガラスの鉛同位体比を示す。化学組成だけでなく，同位体比からもナトロンガラスと植物灰ガラスに含まれるPbの起源の違いが示された。また，植物灰ガラスの中にはPb同位体比が完全に一致する資料が存在し，これらは同

一の原料で製作されたことが判明した。

アルミナソーダ石灰ガラス計 4 点中 3 点は「ムチサラ」と呼ばれる不透明赤色の資料であり，Cu, Sn, Pb を有意に含むことから青銅を着色原料として用いたことが推察された。残りの 1 点は不透明黄緑色であり，ラマン分光分析より人工黄色顔料 $PbSnO_3$ が同定された。さらに，蛍光 X 線分析で Cu が検出されたことから黄色の $PbSnO_3$ と水色の Cu^{2+}イオンによる複合的な着色と考えられる。アルミナソーダ石灰ガラス 4 点についても鉛同位体比分析を行い，東アジア・東南アジアの青銅製品や鉛鉱石と比較を行った。その結果，不透明赤色ガラスの鉛同位体比は中国南部に近い資料と東南アジアに近い資料の 2 タイプが確認され，日本で流通したムチサラのガラスビーズには複数の鉛起源が存在する可能性が示唆された。一方，不透明黄緑色ガラスの鉛同位体比は東アジア・東南アジアの領域からやや外れた値を取った。黄緑色着色の Cu 源が青銅であった場合，$PbSnO_3$ 由来の Pb と青銅由来の Pb が混合し，同位体比に影響した可能性が考えられる。

以上，化学組成分析と鉛同位体比分析を併用することで，限られた数ではあるが日本出土古代ガラスのより詳細な起源推定を行うことができた。今後，同位体比分析資料や同位体比分析元素の拡充，海外資料との比較を進め，より考察を深めていきたい。

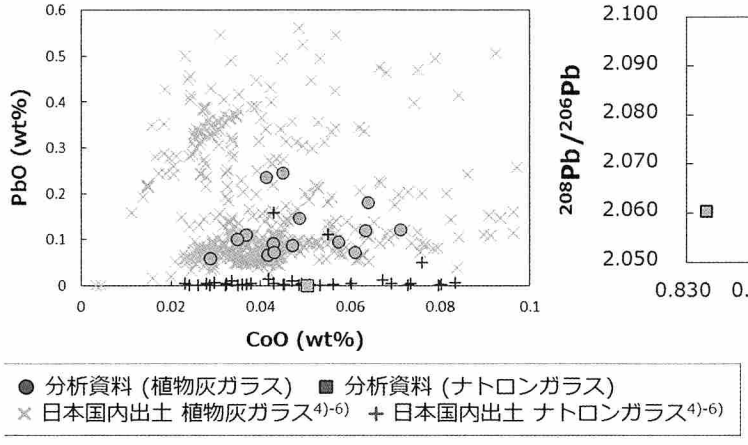


Fig. 1 ソーダ石灰ガラスの PbO *vs.* CoO

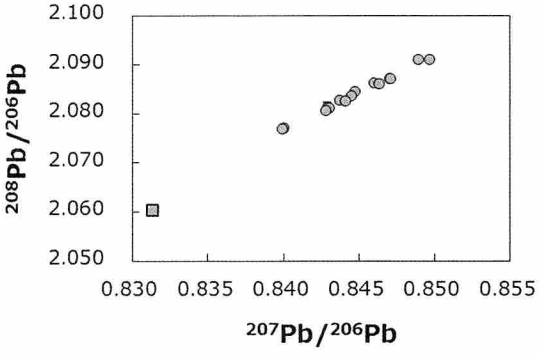


Fig. 2 ソーダ石灰ガラスの Pb 同位体比

謝辞

同位体比分析の実施にあたり，ご指導頂いた公益財団法人環境科学技術研究所の高久 雄一先生，また，ご協力頂いた環境科学技術研究所の皆様に深く感謝いたします。なお，本研究は日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究(B)26303006）の支援により実施されました。

参考文献

1) 肥塚 隆保，田村 朋美，大賀 克彦：月刊文化財, **566**, 13-25 (2010).
2) T. Tamura *et al.*：*Microchemical Journal*, **126**, 7-17 (2016).
3) 柳瀬和也，山本雅和，竜子雅彦，井上暁子，澤村大地，村串まどか，馬場慎介，中井泉：日本分析化学会第 64 年会講演要旨集 (2015).
4) 澤村大地，加藤千里，柳瀬和也，村串まどか，馬場慎介，谷口陽子，中井泉：分析化学, **64**, 8, 637 (2015).
5) 柳瀬和也，松﨑真弓，澤村大地，中村和之，森岡健治，中井泉：分析化学, **64**, 5, 371 (2015).
6) 村串まどか，柳瀬和也，岩田貴之，高橋文明，中井泉：北上市立埋蔵文化財センター紀要, **5**, 23 (2016).

3次元デジタルデータを用いた脆弱な有機質遺物の安定台作製

—雪野山古墳出土靫を事例として—

Production of support base for fragile organic relics using three-dimensional digital data
—Case study of Yugi excavated from Yukinooyama tomb—

○塚本敏夫、山田哲也、岡田一郎(公益財団法人　元興寺文化財研究所)
福田由里子(東近江市教育委員会)、横須賀倫達(文化庁)
○Tsukamoto Toshio、Yamada Tetsuya、Okada Ichiro (Gangoji Institute for Research of Cultural Property)
Hukuda Yuriko (Higashi Omi City Board of Education)
Yokosuka Tomomichi (Agency for Cultural Affairs)

1. はじめに

雪野山古墳出土の有機質製靫はバラバラの状態でカールした漆膜のみが残存していた。そのため破損の危険があり、破片を展示することすらできなかった。

今回、保存修理に伴い、有機質製靫破片の裏面にパラロイドB72で和紙を張り、強化を行い、破片毎に単体で扱うことができるようになった。しかし、サポートなしに自立することはできなく、安定台が必要となった。また、27分割された漆膜破片群は考古学的な検討により、ある程度本来の靫の形状に復元配置が可能であることが判明した。そこで、遺物にフィットする展示台を兼ねた安定台の製作が求められた。
しかし、有機質製靫破片は脆弱で、しかもカールして抜け勾配がないため、シリコン樹脂による型取法ではできない。そこで、遺物の安全性を考慮して、非接触の3次元計測により得られた3Dデジタルデータを用いて遺物にフィットする展示台を兼ねた安定台を製作したので報告する。

2. 安定台製作仕様

(1)安定台の材質は指定品の安定台で実績のある桐材(国内産の柾目材)とする。(2)桐板への切削方法は靫の非接触3次元計測により得られた3Dデータを基にNC工作機により切削する。(3)安定台で本来の靫の構造がある程度理解できるような配置とする。(4)切削ラインは各靫破片の外形ラインから3㎜以上広げたラインで切削する。(5)展示姿勢時の滑落防止装置として、桐箱を製作する。

3. 遺物の3次元形状計測と安定台のNC加工

(1) 3次元計測

靫の3次元形状計測には非接触のレーザスキャン方式であるコニカミノルタ製 RANGE7 を使用した。 計測精度は最小分解能で約0.08㎜と高精細である。

計測はワイドレンズ(最小分解能約0.2㎜)で計13ショット計測した。この3次元計測は表裏面の計2回行った。

図1　銅剣の3Dデータ（裏面）

(2) NC切削加工

RANGE7で得た3次元データを編集ソフトrapidform XOR Redesign(INUS Technology, Inc.製)を用いて合成した後、モデリングしてSTLデータに変換した(図1)。

STLデータをCAD/CAM用のモデリングソフトMastercam(Cnc社製)でNCデータに変換して、NC工作機 VM-82(EMC社製)で切削した(写真1)。

使用した工具ツールは①BALL ENDMILL φ4　②FLATENDMILL φ4　③FLAT ENDMILL φ2を使用した。

4．遺物安定台の製作工程

（1）　破片の配置検討

27分割の靱破片を本来の構造がある程度分かるように、協議して配置した。

（2）　表面の3次元計測

表面で配置した靱破片の3次元計測を行った。

（3）　裏面計測用の仮台の製作

計測データをもとにNC工作機で裏返した靱破片を安全に置ける仮台を製作した。台の材質は人工木材を使用した。人工木材は550 mm×700 mm×40 mm。

（4）　裏面の3次元計測

仮台に靱破片を裏返して設置し、3次元計測を行った。

（5）　安定台のNC機械加工（デジタル切削）

裏面の計測データをもとにNC工作機で切削し支持台を製作した(写真1)。台の材質は2枚合わせの桐材を使用した。桐材は550 mm×700 mm×40 mm

（6）　仕上げ加工（アナログ切削）と組付け

機械加工の後、展示と取り外しの安全を考慮して境界部の高さを低くし、不要なバリや返りをサンドペーパーで仕上げた(写真2)。完成した靱の桐製安定台を写真3に、靱破片を載せた状態を写真4に示す。

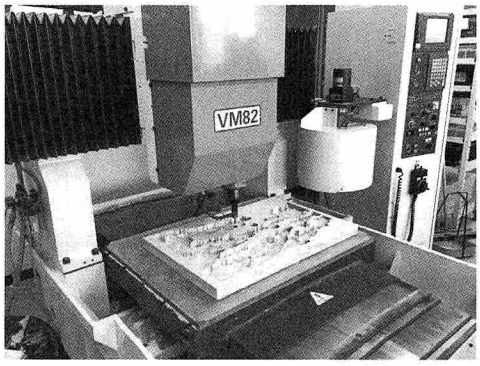


写真1　NC工作機での切削加工(桐台)

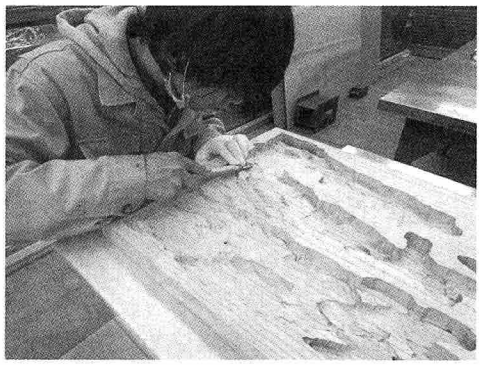


写真2　仕上げ加工(桐台)

5．おわりに

今回、従来の型取り法ではできない複雑で脆弱な有機質製遺物の展示安定台を最新の3次元デジタル技術を用いて製作した事例を紹介した。今まで展示できなかった遺物の展示活用が可能となったことの意義は大きい。保存修理は資料的価値を失わないように延命処理を行うことから、更に一歩進んだ、資料の公開・活用を行えるように、より良い展示方法も視野に入れて、伝統的な修復技術をベースに新しい修復技術を開発・改良してゆくべきであろう。

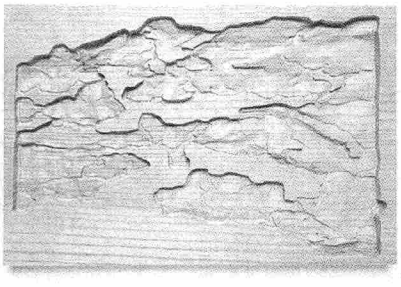


写真3　完成した桐製安定台

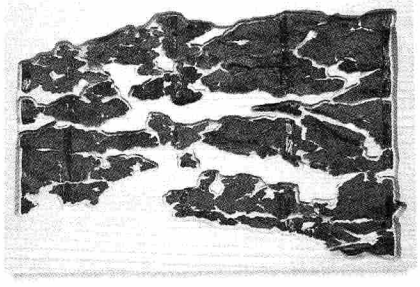


写真4　靱破片を設置した状況

参考文献

塚本敏夫他 2004「3次元デジタルデータを用いた遺物安定台の作製」『文化財保存修復学会第26回大会発表要旨集
塚本敏夫他 2012「「3Dデータを用いた桐展示台の製作」『日本文化財科学会第29回大会要旨集』 pp278-279

神奈川県三浦市間口洞窟遺跡出土骨角器の修復事例報告

Restoration of bone and antler artifacts unearthed from Makuchi Cave, Miura-shi, Kanagawa Prefecture.

○石原道知(武蔵野文化財修復研究所)千葉毅（神奈川県立歴史博物館）高橋健（横浜市歴史博物館）
○Michitomo Isihara (Musashino Cultural Property Restoration Laboratory)
Tsuyoshi Chiba (Kanagawa Prefectural Museum of Cultural History)
Ken Takahashi (Yokohama History Museum)

1．はじめに

当報告は、神奈川県立歴史博物館が所蔵する神奈川県三浦市間口洞窟遺跡出土骨角器2点のクリーニングと接合、補強としての復元作業を含めた修復事例報告である。

修復した資料は、1973年の神奈川県立博物館（当時）の発掘調査により出土したヘラ状角製品（尖頭形角器）、灼骨の2点で、いずれも弥生時代の所産である。発掘調査報告書は1975年に刊行され、2001年には県指定文化財に指定されている。

これらの資料は発掘調査報告書作成のための復元以来、保存を目的とした維持作業は行われておらず、接合箇所の劣化及び剥落が認められたことから、接合箇所の補強、再接合が必要と判断された。

接合、復元作業が終了すると断面の観察は困難になるため、修復作業中に近接写真を撮影し記録した。これらの現状記録を含めた修復事例報告として紹介したい。

なお、これらの資料は横浜市歴史博物館で開催されるテーマ展「三浦半島をめぐる交流」に出品される予定である。

2．修復について

前述のとおり旧復元時の接合部分の剥落、接合の顕著な歪み、旧復元時の補填部分（石膏）彩色時の資料表面への絵の具のはみ出しによる汚損が認められたため、これらの箇所のクリーニング、一部解体、接合、復元、補彩を行った。本修復計画、監修を千葉毅、骨角器について考古学的監修と復元製作を高橋健、作業管理、記録写真撮影を石原道知、解体から復元を山村明子、補彩色を浅香正枝が行った。

▲クリーニング・解体

▲復元

▲復元部分の彩色

(1)クリーニング・表面汚損の除去

旧復元時の彩色と接着剤の除去と洗浄を行った。精製水とアセトン、アルコールを使用した。

(2)解体

旧復元時の接合が著しく歪んでいる箇所の解体をアセトンで行った。同じく旧接合部分が外れた時に破損した小破片が接着剤の層に取り込まれていることから、これを回収し可能な限り接合した。残ったものはサンプルとした。

(3)接合

接合は、将来の再修復時に除去が可能なように溶剤で溶解するパラロイドB-72を使用した。

⑷復元・補強的補填

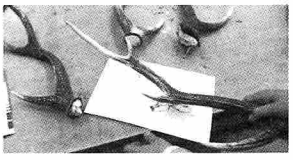
接合箇所及び脆弱な箇所に補強の為、復元材（アラルダイト 6504）を補填した。

⑸補填部分と旧復元時の復元部分の彩色

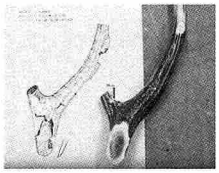
補填個所が明確に判別できるように資料に類似し且つ全体が統一的に見えるように彩色した。

３．ヘラ状角製品の復元製作

ヘラ状角製品（いわゆる鹿角製アワビオコシ）を現生するエゾシカ角（全長 57cm）およびニホンジカ角（同 50 ㎝）を素材として実験的に復元製作した。角の第２枝分岐部から先を利用している。素材として用いられた鹿角のサイズは全長 50 ㎝台のものだったと推測される。



▲実測図に合わせて大きさ形態の近いものを選ぶ。

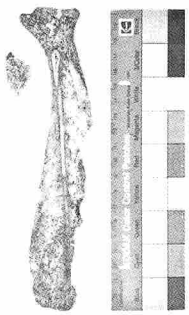


▲実測図と併置された復元品（エゾシカ角製）。

４．おわりに

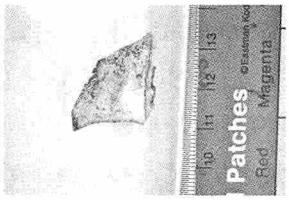
修復に際して留意した点は、骨も角も、破断面は中心に近い部分ほど海綿のような網目状構造となっており、復元と保存処理で使用する材料が、必要以上に網目の中へ浸入しないようにし、最小限の処置を心がけた。今回の修復は最初の復元から約４０年ほど経って漸く実現した本格的な資料保存のための処置である。実施時は資料の現状記録をとる好機である。修復時に撮影した記録写真をできるだけ多くの人に向けて公開したい。

▲ヘラ状角製品処置前



▲灼骨処置前

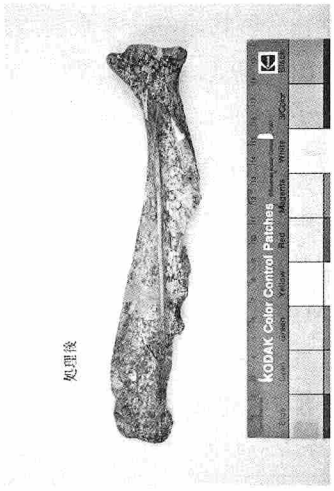
▲ヘラ状角製品破片断面



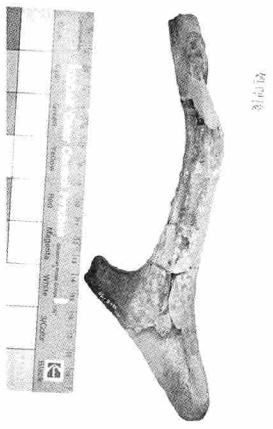
▲灼骨剥落した破片

固着した旧接着剤は除去した。
除去時に小破片はできるだけ再接合し補強のための補填を行った。

▲灼骨解体後



▲灼骨処理後



▲ヘラ状角製品処理後

質量分析による遺跡出土鳥類骨同定のための基礎的研究

ZooMS for bird bones: a preliminary study

○江田真毅・泉洋江(北海道大学総合博物館)
○Masaki EDA & Hiroe IZUMI (Hokkaido University Museum)

はじめに

日本鳥学会(2012)によれば、現在日本には 633 種の鳥が分布している。これらの鳥には、森林、草原、河川、湖沼、海岸、海洋など様々な環境に生息する分類群が含まれる。また夏季に日本に訪れる夏鳥、冬季に訪れる冬鳥、渡りの途中で春季や秋季に日本を通過する旅鳥といった大規模な季節的移動をする種も多数含まれる。このため、遺跡から出土した鳥骨をより詳細に同定することで過去の人類の活動域や生業の季節性について重要な知見が得られると考えられる。

質量分析による遺跡出土動物骨の分析(Zooarchaeology by Mass Spectrometry; ZooMS)は 2010 年代に急速に発展した新しい動物骨の同定法である。遺跡から出土した骨からコラーゲンタンパクを抽出し、制限酵素で切断して、アミノ酸断片の質量を調べるこの方法には、①骨中のコラーゲンタンパクが変性しにくいため、高い分析成功率が見込まれる、②抽出試料を直接計測するため、コンタミネーションの危険性が少ない、③分析に必要な骨粉の量が約 1mg と極めて少なく断片化した骨にも適用できる、などの特徴がある。これまで鯨類を中心とする海棲哺乳類の骨や鳥類の卵殻などを対象とした研究があり、遺跡試料の同定のためのデータが蓄積されてきている。一方、鳥骨を対象とした研究はほとんどなく、骨中のコラーゲンタンパクのアミノ酸配列に鳥綱内でどの程度の変異があり、ZooMS でどの程度鳥類の骨が同定できるのかは分かっていない。そこで本研究では、現生の鳥類骨標本を対象に、コラーゲンタンパクのアミノ酸配列に分類群間でどの程度の変異があるのかを検討した。

資料と方法

現生の鳥類骨標本として、北海道大学総合博物館の収蔵標本、および川上和人氏(森林総合研究所)と江田の個人標本を利用した。これまでに分析した標本は 22 科 41 種計 76 点である。サンプリングは骨の形態学的研究にあまり用いられることがない趾骨や肋骨を主に対象とした。

分析は基本的に Buckley et al (2009; Rapid Commun Mass Spectrom 23: 3843-3854)の方法に従った。粉化したサンプル約 1mg を 0.6M の塩酸 500μl 中に 4 時間入れて脱灰した。その後の処理では、遠心して上澄みを除去する場合(Buckley et al 2009 のプロトコルのまま)と沈殿物を超純水で洗浄する場合の 2 つを比較した。50mM の重炭酸アンモニウム 50μl を加えて 3 時間 65 度に温め、酸不溶性の残渣をゼラチン化した。遠心してゼラチン化していないタンパク質を沈殿させ、除去した後、上澄みに 1μg/μl の trypsin を 0.2μl 加え、37 度で 18 時間加熱して切断した。ZipTip C18 を用いて精製した試料は、北海道大学アイソトープ総合センターの飛行時間型質量分析計(UltrafleXtreme、ブルカー社)でリフレクターモードを用いて測定し、ピークリストを作成した。

結果と考察

これまでにカモ科(マガン、コハクチョウ)、カイツブリ科(アカエリカイツブリ、ハジロカイツブリ)、アビ科(アビ、シロエリオオハム)、ペンギン科(フンボルトペンギン)、アホウドリ科(コアホウドリ、アホウドリ)、コウノトリ科(コウノトリ)、フラミンゴ科(チリーフラミンゴ)、カツオドリ科(カツオドリ)、ペリカン科(モモイロペリカン)、サギ科(ヨシゴイ、アマサギ、アオサギ、コサギ)、トキ科(クロツラヘラサギ)、ツル科(マナヅル、タンチョウ)、クイナ科(オオバン)、ノガン科(ノガン)、カモメ科(ウミネコ)、タカ科(トビ、オオワシ、ハイタカ、オオタカ、クマタカ)、フクロウ科(エゾフクロウ、アオバズク、コミミズク)、ハヤブサ科(チョウゲンボウ)の 18 科 32 種で良好な解析結果が得られた(図 1)。これらの解析結果は、塩酸による脱灰の後、沈殿物を超純水で洗浄した場合に得られたもので、この手順がない場合には大きなノイズが頻繁に認められた(図 2)。このことから、Buckley et al (2009)のプロトコルに脱灰後の沈殿物の洗浄を加えることで、より安定的に良好な結果が得られることが示された。

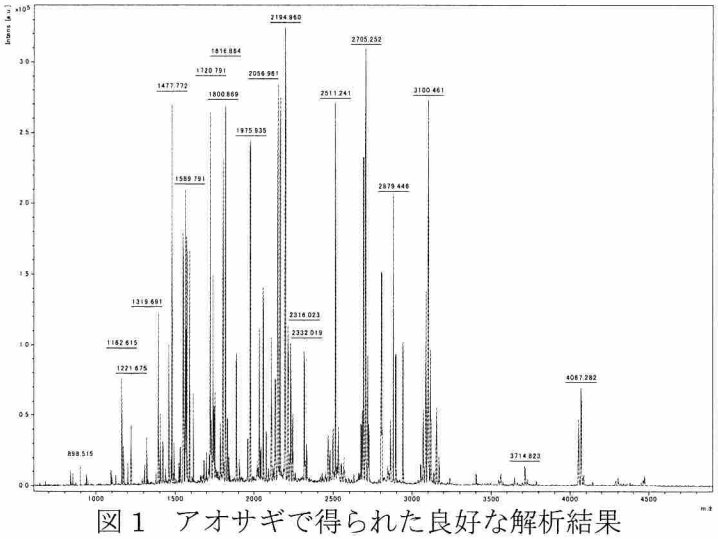


図 1　アオサギで得られた良好な解析結果

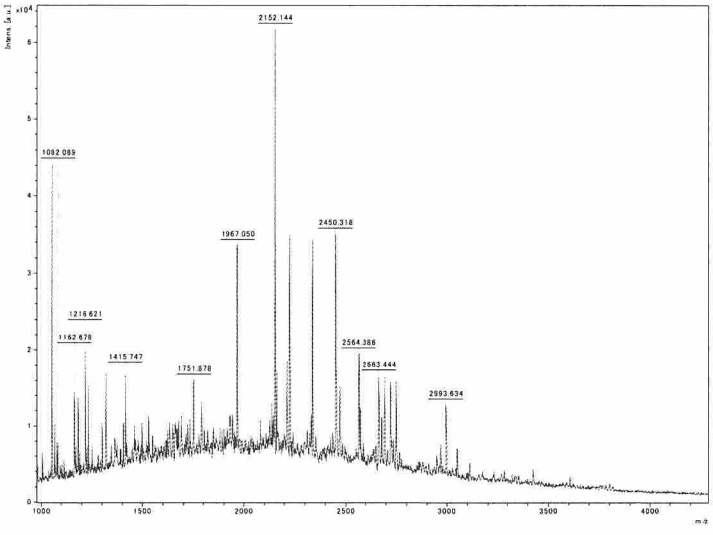


図 2　オオバンで認められたノイズの多い解析結果

得られたピークには特定の科あるいは特定の複数の科に特徴的に出現するものが含まれていた。さらに科内の 3 種以上で良好な解析結果が得られたサギ科、タカ科、フクロウ科といった分類群では、特定の属あるいは種のみに認められるピークも複数検出された。これらのことから、骨中のコラーゲンタンパクのアミノ酸配列は鳥綱の科内あるいはより低次の分類群内においても変異があり、これらのピークを利用して科あるいはより低次の分類群を単位とした遺跡資料の同定に利用できることが示唆された。

今後、分析対象とする現生骨標本の数を増やすとともに、特定の分類群で特異的に検出されたピークを対象にアミノ酸配列を決定することで、遺跡出土鳥類骨の同定に有効なアミノ酸配列が特定できると期待される。

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

石造物のデジタルドキュメンテーションと活用

Digital Documentation and Utilization of Stone Objects

○山口欧志、金田明大、中村亜希子、石松智子、八尾純子（奈良文化財研究所）
YAMAGUCHI Hiroshi, KANEDA Akihiro, NAKAMURA Akiko, ISHIMATSU Tomoko, YAO Junko（Nara National Research Institute for Cultural Properties）

1. はじめに

石造物、特に石碑や石仏は地域の身近な文化財の代表である。多くは現在においても地域に根付いたものであるが、一方で所在や内容、劣化状況などが明らかでないものもあり、盗難や破損の危険を指摘できる。我々は、近年普及が進む方法を用いることで、地域住民の参加を想定した身近な文化財の記録と保存の推進を構想している。携帯端末による位置と現況の記録に加え、三次元計測法の一種であるSfM-MVS(Structure from Motion amd Multi-view Stereo)による現状の把握と文字や彫刻等の内容の記録を組み合わせることで、地域史への寄与、そして地域住民による文化財記録や保護への積極的な参加に繋げることを目標としている。

なお、SfM-MVSで得られる三次元データは、石碑の碑文等の解読の補助になるが、最も量が多い近世・近代の石造物は、くずし字で文字が掘りこまれていることが多く、文字の釈読自体が難しいことも多い。そこで、奈良文化財研究所と東京大学史料編纂所が開発した木簡・くずし字解読システムMOJIZO(URI：http://mojizo.nabunken.go.jp/)を利用することで、この問題を改善できないか、試験的な試みをおこなった。

2. 対象と方法

今回の調査対象は、奈良市石木町と同紀寺町所在の道標であり、前者を道標1，後者を道標2とする。どちらも比較的状態が良いが、経年劣化により目視では文字を認識できない箇所もある。現地では、OM-D E-M1 Mark Ⅱ(OLYMPUS社)に単焦点レンズ(12mm/F1.4)を装着して道標の写真を撮影し、この写真を元にPhotoScan Pro(Agisoft社)を用いてSfM-MVSを実行、三次元モデルを生成した(図1・2左)。さらに、点群データ(.txt)からCloudCompareでオルソ画像を作成し、QGISで陰影化処理などを行うことで、文字を強調化した深度mapを作成した(同中)。この画像を一文字毎に切り取り、色情報を二値化して、MOJIZOで解析した(同右)。

3. 結果と課題

現状では、MOJIZOでの解読率は対象とした10文字中、4文字と必ずしも高くない。これは、システムが発展途上であること、碑文の時代や字体が、古文書のものとは異なるためであること等が挙げられる。これらはシステムの機能向上やその背後にある文字画像データベースの強化を通じて改善されていくものと考える。また、文字を一字一字分解する過程がもっとも困難であり、ある程度の知識が必要になることも今後の課題といえる。今後、SfM-MVSの成果を簡便にMOJIZOに利用できる作業過程や支援ソフトウェアの開発も含めて検討をおこないたい。

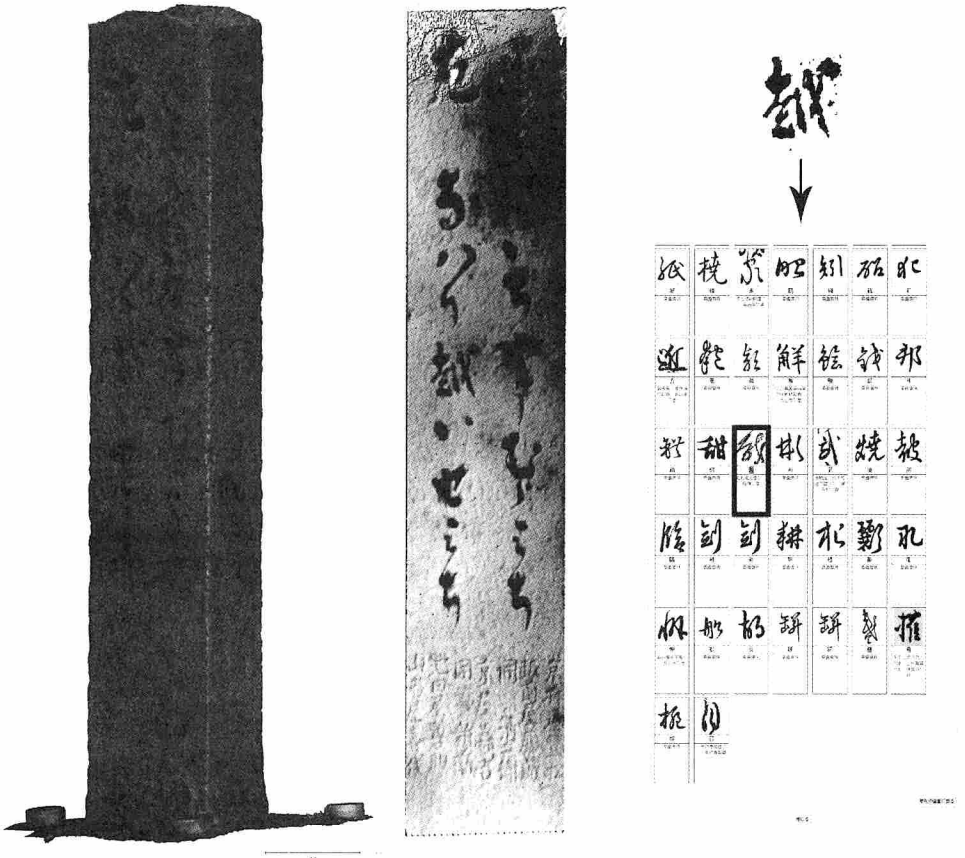


図1　道標1（左：3次元モデル、中央：文字強調後の深度 map、右：「MOJIZO」検索結果）

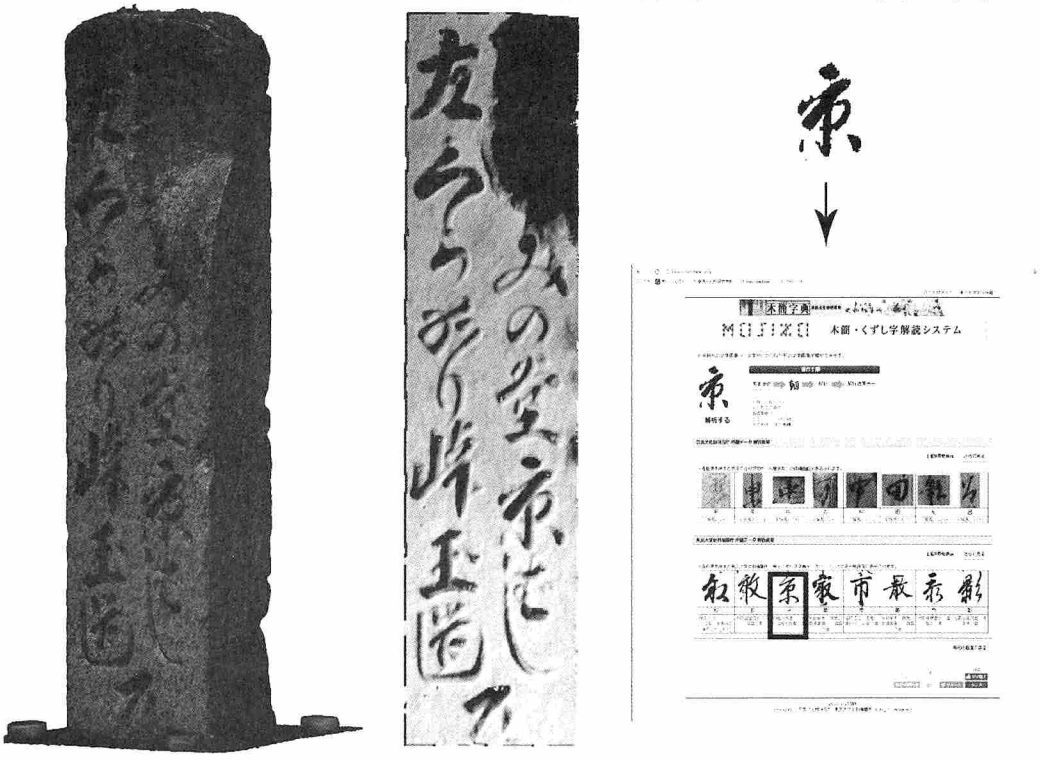


図2　道標2（左：3次元モデル、中央：文字強調後の深度 map、右：「MOJIZO」検索結果）

何がみえるのか？－土器製作痕跡へのSfM/RTI計測の試行

What do we find? — A Trial Application of the SfM to Making Pottery Technics.

○金田明大(奈文研)
○Kaneda Akihiro (NNRICP)

1. はじめに

製作痕跡の検討は考古資料の基礎的な研究視点であり、数多くの研究がなされてきた（例えば横山2003）。研究の進展に従い、より詳細な分析手法が提案され、成果をあげている（丑野・田川 1991、城倉 2009）。近年の三次元計測手法の普及により、工人の同定を中心に研究が進められている（中園 2011・2012、平原・大網 2016）。

SfM/MVS(Structure from Motion and Multi-view Stereo)手法による三次元計測は、計測の自由度が高く、考古資料の計測に有効と考える。加えて、RTI(Reflectance Transformation Imaging)による考古資料の表面観察による分析も試みられている(Mudge, et al. 2005)。いずれの手法も、普及型のデジタルカメラなどで取得した画像を利用する手法であり、専用の機材が不要であることから、普及をはかる上で優位性がある。本発表では、これらの実践について紹介をおこなう。

2.暗文施文工具の検討

7・8世紀の近畿地方を中心に盛行する土師器の特徴的な施文に暗文と呼ばれるものがある。これは、金属製食器の内面にみられる結像現象の模倣と考えられている。これらの施文工具には、複数の可能性が指摘されているが、奈良時代に典型的にみられる斜行放射暗文の痕跡についてマクロ撮影をおこない、画像をSfM/MVSで三次元データとした。この結果、先端が平坦な工具を用いて、見込み部分に内側に向かって若干押し込み気味に力を加えた後に外方に斜め方向に表面を磨くことで施文していることが観察できる。また、表面のわずかな凹凸が観察できたが、これが何に基づくものであるかは今後の検討課題である。暗文の施文は異なる特徴を呈するものも存在し、使用する工具の差であるのか、施文方法の差であるのかは意見が分かれている。三次元計測を通じて、工具の形状や、工具の使用方法を検討することが可能になると考える。今後、類例を蓄積することを通じて、古代の土師器生産の実態と暗文土師器の出現と展開について検討をすすめていく。

3.刷毛目工具の検討

刷毛目工具については、既にレーザースキャナーによって取得した三次元データによる研究が成果をあげている（中園 2011）。また、年輪年代学を基礎とした計測による同材関係の検討などの応用も試行され（星野・浦 2016）、今後更なる研究の展開が見込まれる。

今回は、SfM/MVSによる計測と、これによって得られた断面などの計測状況を把握し、またRTIによる詳細部分の観察をおこなった。未だ十分な検討はできていないが、擦過痕跡断面による工具の向きの検討、工具の年輪幅の半自動的な抽出による工具の判定や、磨耗に応じた器表の断面形状の進行の把握の可能性の有無の検討を試みている。

4.まとめ

三次元計測による考古学研究への利用の一端として、土器製作痕跡への利用を試みた。既に試みられている工具の認定やそれに基づく製作者の研究に加えて、工具の形状や使用方法に本手法を用いて迫りたい。

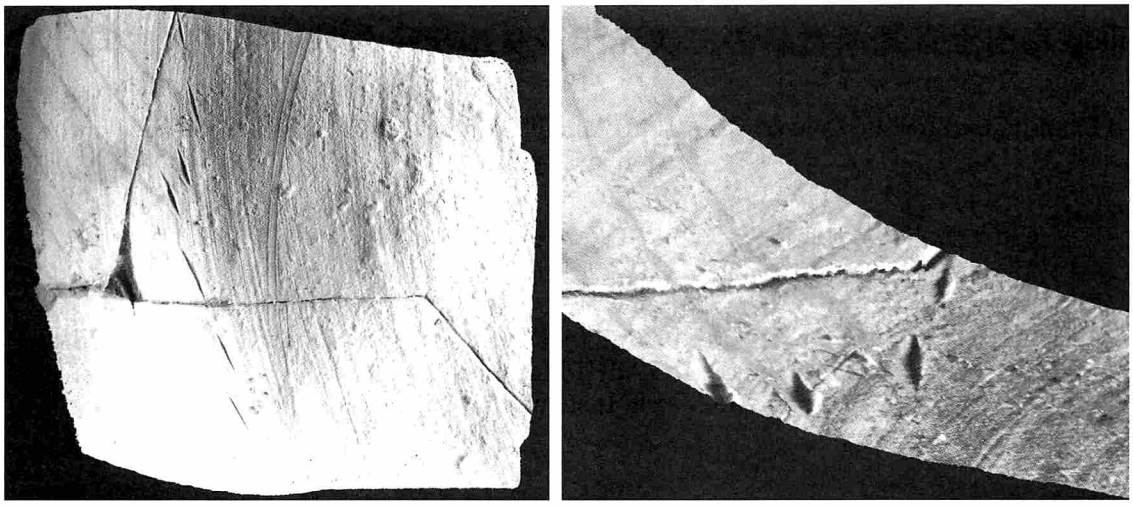


Fig.1) 暗文の三次元モデル（左）と、工具痕跡箇所の拡大による観察（右）。

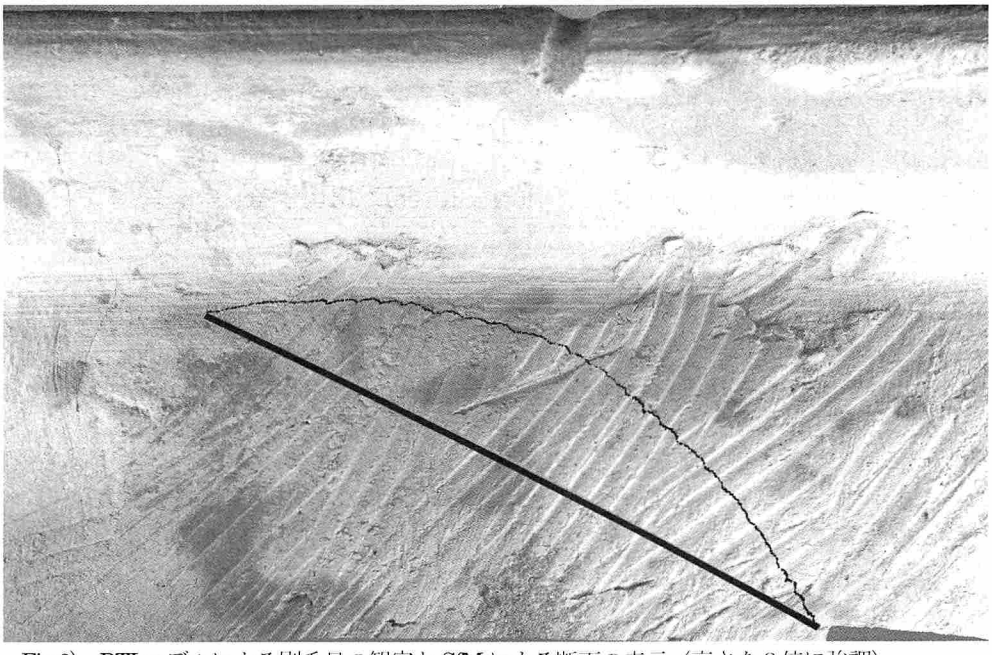


Fig.2) RTI モデルによる刷毛目の観察と SfM による断面の表示（高さを３倍に強調）

引用文献

丑野毅・田川裕美　1991　「レプリカ法による土器圧痕の観察」『考古学と自然科学』24

Mudge, Mark, et al. 2005 "Reflection Transformation Imaging and Virtual Representations of Coins from the Hospice of the Grand St. Bernard." *VAST.* Vol. 6.

横山浩一　2003　『古代技術史攷』　岩波書店

城倉正祥　2009　『埴輪生産と地域社会』　学生社

中園聡　2011　「三次元レーザースキャナーを用いた土器表面痕跡の 3D マッチング」『鹿児島国際大学情報処理センター研究年報』16　鹿児島国際大学

中園聡　2012　「三次元レーザースキャナーを用いた土器表面痕跡の 3D マッチング（第２報）」『鹿児島国際大学情報処理センター研究年報』17　鹿児島国際大学

平原信崇・大網信良 2016　「土器施文痕跡の 3D マッチング」『3D 考古学の挑戦　考古遺物・遺構の三次元計測における研究の現状と課題』早稲田大学総合人文科学研究センター

星野安治・浦蓉子　2016　『埋蔵文化財ニュース 166　年輪年代学的手法を用いた木製品の同一材検討』　奈良文化財研究所埋蔵文化財センター

平城京出土瓦基準資料の三次元デジタルデータベース構築に向けて

Examination for the Construction of 3D Model Database of Eave-End Roof Tiles in the Heijyo City Site

○山口欧志，中村亜希子，石松智子，金田明大，今井晃樹，林正憲，岩戸晶子
（奈良文化財研究所）

YAMAGUCHI Hiroshi, NAKAMURA Akiko, ISHIMATSU Tomoko, KANEDA Akihiro, IMAI Kouki, HAYASHI Masanori, IWATO Akiko
(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

はじめに

奈良文化財研究所では、平城京・藤原京の瓦研究の基礎資料として、軒瓦の型式一覧を作成し、利用してきた(奈良国立文化財研究所 1996)。これを基礎に、更なる研究の進展を目指して、平城京出土軒瓦の三次元デジタルデータベースの構築に向け、準備を進めている。資料は型式一覧に掲載がある軒丸瓦 100 型式 312 種と軒平瓦 84 型式 288 種の計 600 点から順次三次元計測をおこなうものとし、計測の手法には近年普及が進む SfM-MVS (Structure from Motion and Multi-view Stereo)を採用する。本発表では、計測の具体的な手法や使用する機材、生成した三次元データの精度と、その活用例について検討する。

1．従来の記録法と三次元計測データ

従来の報告書や型式一覧等では、軒瓦の紋様は基本的に拓本と断面実測図、写真によって表現されてきた。しかし、拓本は紋様の表現が困難な場合もあり、資料を墨で汚損する可能性もある。写真は、表面の凹凸を十分に観察できないといった限界が存在する。SfM-MVS による三次元計測は、拓本や実測、写真によって得られる情報を有しつつも、大きさや表面の情報をより仔細に記録することが可能である。ただし、三次元計測は用いる機材や設定によってその内容や精度に差が生じるため、データベース構築に適した手法を検討・選出する必要がある。

2．計測方法

軒瓦の紋様部の計測は、紋様の確認・観察ができることに加え、同笵瓦の認定及び笵傷の進行具合を確認できる精度を目標とした。三次元計測には従来レーザースキャナー等を用いる手法が多用されてきたが、本プロジェクトでは、将来的に地方自治体や大学、博物館など、遺跡および出土遺物の調査・報告に携わる機関において三次元計測が広く浸透する可能性を考え、価格や操作において導入の敷居が低い、写真画像を元に三次元データを生成する SfM-MVS を選んだ。

点群の密度はカメラの撮像素子や画素数、装着するレンズによってどのような差異があるかを検証した結果(中村・山口 2017)、OLYMPUS OM-D E-M1 Mark II と単焦点のマクロレンズ (30mm　F3.5　Macro)、画素数は 5184×3888、RAW データを色調補正後現像した TIFF 画像を解析に用いることとした。

データの解析には PhotoScan Professional 1.3.0 (64 bit)を利用し、画像の位置推定(Align)、点群の生成(Dense Point Cloud)、メッシュモデルの生成(Build Mesh)をすべて高品質(High)でおこない、最後に色情報(Texture)を貼り付けた。完成したデータは、点群データを XYZ(ASCII)形式、メッシュを貼った三次元モデルを OBJ 形式で書き出した(図 1)。

3．瓦当の三次元データの活用

得られた三次元データはオープンソースソフトウェア(CloudCompare や MeshLab)で読み込み、分析した。たとえば、同笵に認定されている軒丸瓦(6276Aa と 6276Ab)および軒平瓦(6663Ca と 6663Cb)のメッシュデータを、それぞれ ICP アルゴリズムを用いて位置合わせし、両者間の距離を表示することで、笵傷の進行具合をカラースケールによって可視的に表現することができた。計測結果は、任意の場所で断面図として表現することも可能であり、瓦当笵の劣化や補修の過程を、具体的・視覚的に提示することができる。

4．課題と展望

従来のレーザースキャナーに比べ、低いコストで導入できる SfM-MVS による三次元計測は、今後瓦をはじめとする遺物など文化財の記録において、より一層急速に普及する可能性がある。その上で、いくつか重要な注意点がある。

ひとつ目は、テクスチャーを除去したサーフェスデータは、拓本と同様にその凹凸が何に由来するものであるかを示さず、必ず目視による遺物の観察もしくは写真などによる確認を必要とする点である。

ふたつ目に、点群やメッシュ間の距離分析などには、計測時の精度を確認し、分析に耐えうる十分な精度を確保する必要があるという点が挙げられる。そのためにも、三次元計測データの報告には、生成した三次元モデルのメタデータを明確に提示しなければならない。また、どの程度の類似で「同笵」であると認定するのかは、更なる検討が必要である。ほかにも、三次元計測データの意図的な改変の禁止や、データの安全な保管方法、文化財の贋作の横行の予防など、今後の課題は多い。

瓦当の三次元計測データを蓄積・公開することによって、今後、瓦の研究に新たな知見を加える基礎的な資料を提示していきたい。従来観察できなかった痕跡の発見や、三次元データの照合による遠隔地出土瓦当の同笵認定の容易化が既に進みつつあるが(中園他 2015)、データベースの構築にあたっては、文化財の記録法としての三次元計測法自体も、より洗練し、利用について研究を進めていく必要がある。

【引用文献】

中園聡・下小牧潤・平川ひろみ・太郎良真妃・楊帆 2015「超・遠隔地交渉における同笵関係の検討―中国と日本出土の中世中国瓦」『日本文化財科学会第 32 回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会

中村亜希子・山口欧志 2017「瓦当の三次元計測法の検討－瓦当データベース構築に向けた模索－」『奈良文化財研究所紀要 2017』独立行政法人国立文化財研究機構奈良文化財研究所

奈良国立文化財研究所 1996『平城京・藤原京出土軒瓦型式一覧』

図 1　軒丸瓦 6276Aa のサーフェスモデル

前期青銅器時代のシリア Tell Rumeilah の墓群に残された土器の残留有機物分析

Organic residue analysis of potteries from Early Bronze Age graves around Tell Rumeilah, Syria

○堀内晶子（東大博物館），下釜和也（古代オリエント博物館），久米正吾（東京芸術大学），
吉田邦夫（東大博物館），宮田佳樹（金沢大学）
○Akiko Horiuchi, Kazuya Shimogama, Shogo Kume, Kunio Yoshida, Yoshiki Miyata

1. はじめに

シリアの Rumeilah D 地区墓地は、前期青銅器時代（2600BC~2400BC）の墓群で、北シリアのユーフラテス河中流域に建設されたタブカ・ダムによる水没地区に位置する。古代オリエント博物館が 1974 年から 1980 年まで発掘調査を行い、長靴状の墓壙をもつ墓型式 I と、墓壙の上に巨石を置く支石墓である墓型式 II が見つかっている。墓壙内部には壺、鉢、注口、瓶などの土器が残されていた。墓地群から約 500 m 離れた場所には Tell Ali al-Hajj 遺跡がある。墓群よりやや新しい前期青銅器時代(2300BC~2000BC)に居住が始まる集落遺跡である。本報告は死者のために用いられた墓壙内土器と、Tell Ali al-Hajj 遺跡から出土した命ある者が使った土器から抽出される総脂質を分析し、古代 Rumeilah の生活環境を検討した。

2. 試料と実験方法

試料は、墓壙内土器の注口土器3点、壺1点、外部にススが付着した小型壺1点，厚さが 2〜3 mm の土器内部と外部に黒い付着物がある小瓶の土器片1点，及び厚さが 2〜3 mm の付着物の無い土器片1点の計7点と、Tell Ali al-Hajj 遺跡から出土した前期青銅器時代の土器片6点を用いた（表1a，1b）。Tell Ali al-Hajj 遺跡の土器片は土器胎土に含まれる鉱物粒から煮炊き用とみられる上、二次的に加熱された形跡があり調理に用いられたと考えられる。すべての土器は古代オリエント博物館が所有するものである。分析試料の例を図 1a,b,c に示す。

図 1a. 注口土器（D405_33）

図 1b. 壺（S20D21）

図 1 c. 小瓶の土器片（Syria 25）

実験は、すでに報告されている分析方法（Heron, 1993）に基づき、まず粉砕した試料から、クロロホルム:メタノール=2:1（C:M）を用いて総脂質を抽出し、トリメチルシリル化（TMS 化）した後、ガスクロマトグラフ質量分析（GC-MS）法を使って分析した。（GC-MS の分析条件：Thermo Scientific TRACE GC ULTRA-ISQ LT，カラム：HP-1 50 m x 0.32 mm x 0.17μm，初期温度：50℃で 2 分間維持，300℃まで 10/min で昇温，15 分間維持）。

3. 分析結果と考察

分析試料は長年古代オリエント博物館に保管されていたもので、接合されていたものも多く、一般的

によく検出される合成樹脂由来の可塑剤や酸化防止剤の他に、接合に使われた接着剤などの可塑剤やその溶媒、記録用に用いられたインク等の溶媒、さらに殺虫剤など多数が確認された。特に墓壙内土器から GCMS で検出された主なピークはこれら発掘後に付着した物質であった。貴重な試料は博物館保有物が多いため、これらの混入物は避けることができないが、混入物の量が多いと、古代の情報を持つ有機物が相対的に少なくなってしまう。出土後に混入した物質がわかれば、古代の有機物との識別が可能なので解析の妨げにはならないが、GCMS を使った分析では、使用できる絶対濃度に限度があるため、過度の混入物はできるだけ避けることが望ましい。

墓壙内土器は、注口からも壺からも、また小型の瓶片からも動植物の食材に含まれている主な脂質である脂肪酸はほとんど検出されなかった。死者のための容器は生ある者の食料を入れるものではないと言えよう。土器から抽出された総脂質中、混入物以外の残留有機物では炭素鎖 12 から 18 までのアルコール（C_{12}-OH~C_{18}-OH）が確認された。特に小瓶片（図 1 c, Syria 25)からは多量の C_{12}-OH が検出されたのが特徴的である。一般的に長鎖アルコールはワックス類（脂肪酸とアルコールのエステル）の分解生成物として検出される。その際には脂肪酸も同時に検出されなければならないが、墓壙内土器からはほとんど脂肪酸が検出されていないため、ワックス由来では無いと推測される。小瓶片（図２c）は外側も内側も黒い付着物が見られる為、C:M では抽出できなかった物質がまだ残っていると思われる。さらに土器をアルカリで抽出し、強く土器胎土に残された物質を調べる予定である。

Tell-Ali-al-Hajj 遺跡から出土した調理用土器６点のうち、ほとんど有機物が残留してなかった１点（TAH6)を除く５点から $C_{12:0}$, $C_{14:0}$, $C_{16:0}$, $C_{18:0}$（$C_{x:y}$, x=炭素数、y=二重結合数）の長鎖脂肪酸が検出された。そのうち $C_{16:0}$, $C_{18:0}$ は量が多く、典型的な食材の脂質傾向を示している。また、3点（TAH1,2,3）からは $C_{8:0}$, $C_{9:0}$, $C_{10:0}$, $C_{11:0}$ の比較的短いアルコールも確認されている。$C_{14:0}$ 以下の脂肪酸を含む食材はヤシ油、パーム油、乳製品など、限られているが、ヤシ油やパーム油は主な脂肪酸が $C_{12:0}$ であり、識別しやすい。測定した土器の主な脂肪酸は $C_{16:0}$, $C_{18:0}$ なので、ヤシ油やパーム油は除外できよう。$C_{14:0}$ 以下の脂肪酸は長鎖不飽和脂肪酸の分解からも生成するため、注意が必要である。これらの調理用土器からは脂肪酸の他に炭素鎖12から18までの長鎖アルコールと炭素鎖18から24までのアルカンが検出された。長鎖アルコールはワックス由来と考えられ、アルカンの存在とあわせて、植物由来と考えられる。動物性のコレステロール、水性動物のバイオマーカーである、イソプレイド型の脂肪酸や不飽和脂肪酸を加熱した際に生成する芳香環を含む脂肪酸は確認できなかった。また、1点（TAH1）からはデンプンやセルロース等のグルコースポリマーが加熱されると生成するレボグルコサンが検出された。調理したデンプン由来か、燃料の木材由来かは特定できないが、他の同じようにススが付着した土器からは検出されていないので、デンプンの可能性は考えられる。今後、脂肪酸の分子レベル安定同位体比分析を行い、より具体的な由来を検討する予定である。

試料番号	遺跡・地区	墓壙番号	土器番号	土器タイプ	土器部位・コメント
D401-29 I-Pt	20D	D-4	401	注口完形	内部表面を削った後、土器内部の同部表面を削る。
D405-33	20D	D-4	405	注口接合	注口接合。石膏で一部補填。土器底部上部
S20 D21	20D	D-21	11	壺接合	壺接合。同部下部
S20D79_D21-6	20D	D-21	6	注口接合	石膏で一部補填。内部が黒い。
S20_D76 No3Tomb 7	20D	D-7	703	小型壺接合（径20 cm)。	外部にススあり(底部はスス無し)。内部底は黒くやけているがコゲの付着はみられない。底部の上部。
Syria 25	S19C80	EB1	1031	小瓶	薄片。内部と外部に黒い付着物。
S20D-21, mix	20D	D-21	14		薄片。付着物なし

表1a. Rumeilah D 地区墓地墓壙内土器

試料番号	遺跡・地区	土器タイプ	季節コード	層	コメント
TAH 1	Tell Ali a-Haji	壺	S20T79	XI	micaを含む。硬い。外部に黒いスス。内部なさそう。
TAH 2	Tell Ali a-Haji	壺	S20T79	X	micaを含む。硬い。外に黒いスス。内部うっすら黒い。
TAH 3	Tell Ali a-Haji	壺?	S20T79	IX(R-1, 1054)	内部が黒い。外部になし。内側に記入あり
TAH 4	Tell Ali a-Haji	壺?	S20T79	IX(円D=Pit2)	内部、外部共に黒い
TAH 5	Tell Ali a-Haji	壺?	S20T79	IX(円D=Pit2)	外部にスス、内側黒い。灰色
TAH 6	Tell Ali a-Haji	壺?	S20T79	IX(円D=Pit2)	外部にスス、内側になし。3片を接合

表 1 b. Tell Ali al-Hajj 遺跡出土土器

謝辞

科研費基盤研究(A)” 科学分析手法と土器使用痕観察を組み合わせた古食性と調理形態復元に関する学際的研究”(研究代表　宮田佳樹; 16H01824)及び、科研費基盤研究(B)” 縄文土器で煮炊きしたものと土器の使い分けについての研究’’ (研究代表　吉田邦夫; 15H03262)の支援を受けた。

板木から見た職人技の解明

Explication of artisans work in wooden blocks

○安藤真理子

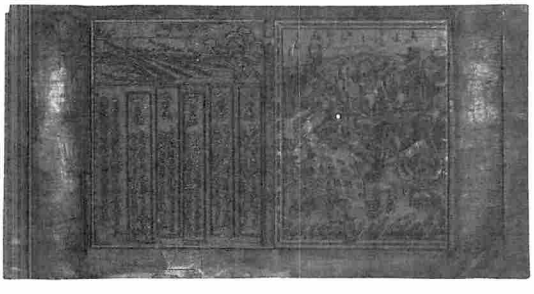
○Mariko Ando

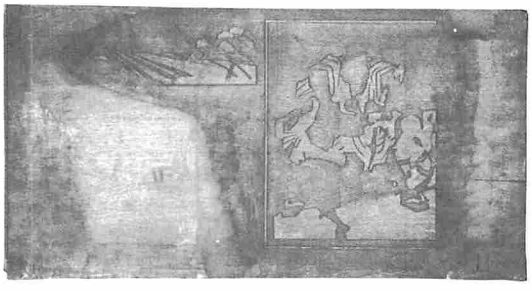
1. はじめに

法隆寺の百万塔陀羅尼(764 年)をはじめ、春日版や五山版等の各経典、お札などの摺刷物、版本、浮世絵等、木版印刷技術によって生み出されたものは多岐にわたり、日本の宗教・教育・文化芸術に大きな影響を与えた。その木版印刷技術の根底にあるのが板木である。しかし、現在に至るまで、刷り上がった紙の印刷物だけが研究対象となり、木版印刷技術が集積した板木そのものは研究対象とされてこなかった。そして現在、板木自体が生物劣化等で消失しつつある。板木が保存されていなければ日本文化、木版印刷を担った木版職人の技は解明されない。本研究では、高精細 3 次元デジタイザ、蛍光 X 線分析などの科学的手法を用いて、板木に遺された職人技の科学的解明を目指しており、今回は奈良大学図書館所蔵『出雲物語』(1830 年)を観察した結果を報告する。

2. 研究対象

奈良大学図書館所蔵の文政十三年『出雲物語』の板木(表裏)1枚、版本を研究対象とする。特に江戸時代後期 京都の浮世絵師 森川保之が手掛けたとされる口絵部分の板木と該当頁に焦点を当てる。一枚の板木に主版(表)、薄墨色版(裏)が配置されており、「 薄墨は主版(おもばん)に色版を重ねて、墨の濃淡だけで絵の陰影を表現する技法であり、通常の挿絵より手間がかかる。読本の挿絵で薄墨が摺られるのは初印本に多く、版を重ねるにしたがってしだいに省略されるようになる。 」との記述※もあることから、研究対象は読本における挿絵の変遷が板木から読み取れる資料である。





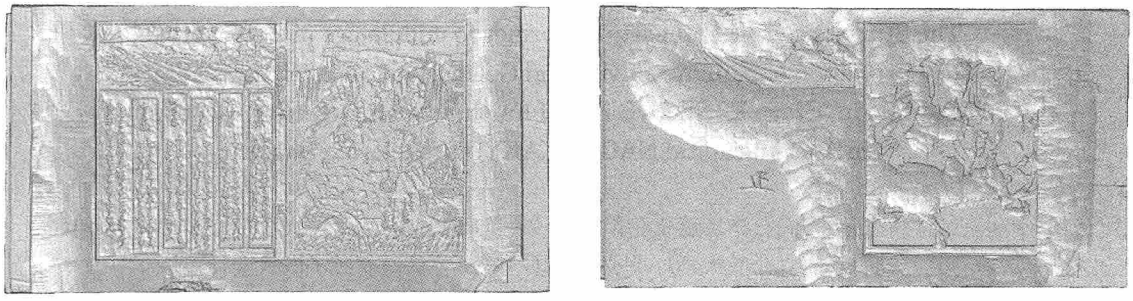
奈良大学図書館所蔵『出雲物語』版木(左:口絵 右:薄墨色版)

※立命館大学アート・リサーチセンター 近世板木展 2009 年

3. 使用機器と結果

九州国立博物館 高精細 3 次元デジタイザ(ATOSⅢ Model400 GOM)

今回使用した 3 次元デジタイザ ATOSⅢは、左右のカメラで凹凸を捉えて最小 0.02 ㎜の精度での計測が可能である。

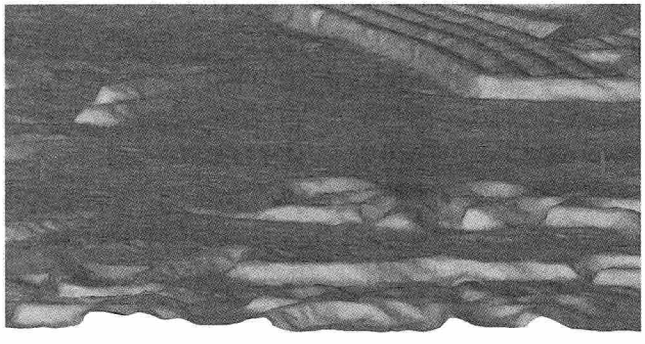


奈良大学図書館所蔵『出雲物語』版木(左:口絵 右:薄墨色版)の 3 次元デジタイザ画像

4. 結果と考察

彫りは、摺る際に余分な顔料が溜まりにくく摺りに対して強固な台形(薬研彫り)になっており、一定の方向で角度が緩やかになっている事が判明した。彫師の版の切り込み角度は、手腕の動きの都合で彫師自身に向かう側は急峻に、反対側は緩慢になり易いとされている(石井 2005)。この手腕の動きを念頭に 3 次元デジタイザで断面観察をおこなったところ、この板木を制作した彫師は板木の下方に座して作業を進めたと推測された。

また、『出雲物語』板本には口絵に朱色の顔料で摺られた部分がある。学会では『出雲物語』板本の蛍光 X 線分析装置(奈良大学)を用いて、口絵に使用されている顔料についても言及する。



奈良大学図書館所蔵『出雲物語』版木 口絵部分の断面(3 次元デジタイザによる観察)

本研究にあたり、今津節生教授(奈良大学文化財学科)にご指導いただき、赤田昌倫氏(九州国立博物館)、田中麻美氏(九州国立博物館)にご協力いただきました。厚く御礼申し上げます。

本研究は 2016 度 DNP 文化振興財団 グラフィック文化に関する学術研究助成を受けています。

弥生時代前期/中期境界の文化財科学的研究

ー長岡京域地震液状化イベントモデル・ステージE2(2200yB.P.～)における人間活動と地形・水文環境変動ー

The Study of cultural property in Former to middle age of Yayoi period -The Correlation of Human activity and Geomorphological/Hydrographical Condition in "Stage E2(2200yB.P.-)" of Earthquake liquefaction Modelling In Ancient capital NAGAOKAKYO area ,Kyoto Basin.-

○中塚良(公益財団法人向日市埋蔵文化財センター)・中村賢太郎(株式会社パレオ・ラボ)・
矢野健一(立命館大学)・辻本裕也(パリノ・サーヴェイ株式会社)
○NAKATSUKA ,Ryo・NAKAMURA ,Kentaro・YANO,Ken_ichi・TSUJIMOTO,Yuuya

1. はじめに -古地震履歴と地形発達史・人間活動史の関わりを探る(1997-2017)ー

京都盆地中西部、長岡京跡の沖積低地における古地震履歴は縄文時代晩期以降近世にかけてE1～E5の5期の地震液状化年代幅でとらえられた(中塚,1997)。遺跡調査と自然科学分析複合による近年の環境考古学的成果の進展はステージE2(縄文晩期～弥生後期)の時空間的分解能を高め、弥生時代前期/中期境界～中期初頭(2200yB.P.)か、これに近似する年代でのイベントの存在の可能性が示唆されるようになった。当該年代は湿潤条件下にある沖積低地における短期間での開析・埋積プロセスが進行する河川地形的変動期に相当し、同時に地震液状化ポテンシャルを強めたと推察される。湿潤低地の地形発達過程における液状化イベント前後に遺跡は複合的営力・プロセスによってせん断・崩壊をともなう変形・変位を履歴したと推察される。最新調査成果を端緒に、京都盆地中西部域ステージE2前半期における自然・人間活動の関わりについて議論する。

2. 縄文時代標識遺跡、石田遺跡最新成果(2017)-縄文晩期遺構・弥生中期初頭構成層の「指交」ー

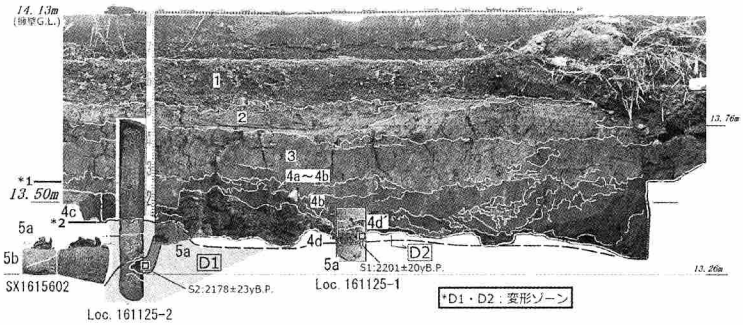
4900yB.P.頃の短期に発達を遂げ以降に沖積段丘化した地形面および縁辺に縄文中～晩期石田遺跡が展開する(矢野ほか2014、右に模式図解)。2016年冬季、沖積段丘東縁・低地境界において長原式土器埋置痕を検出した(第16156次)。遺構とみかけ指交的関係にある上・下位層準(大形材集積跡・炭質物ユニット)に対し14C年代測定を実施し各2201・2178yB.P.の年代が得られ、土器型式年代観・土器付着物年代標準値と今回測定値の齟齬を確認した(中塚・中村2017)。年代深度分布から土器試料の再堆積の可能性が指摘されたが、土器配置について人為性(矢野所見)、下位支持堆積物の層相の人為的成因の可能性、上位集積材直上層における含水塑性変形と地震動プロセスの関係(辻本、不撹乱試料観察所見)が示唆された。土器直下層準の放射年代的把握が重要であるが、遺跡層序構成は段丘縁辺部の地質・水文条件的境界における、縄文晩期/弥生時代中期堆積物間に対しみかけ指交をもたらす粘性・塑性変形の履歴を示すものと推察される。

3. 石田遺跡周辺調査地2200yB.P.年代層準の対比 -沖積低地面開析・埋積過程における液状化履歴-

右図上段に今回第16156次と縄文後期後葉～長岡京期の層序構造・年代が検討された第545次を基点に、2200yB.P.前後の年代測定成果が得られた遺跡層序を並列・対比する。併せ周辺成果を参照する。縄文晩期末2700yB.P.以降の沖積段丘縁辺低地の流路充填性の埋積を経て、①2300yB.P.頃の氾濫原面形成、②①に続き短時での開析・埋積過程(2200yB.P.)に移行すると推察される。第16156次南西の284・323次では開析谷埋積層と基盤層(2280yB.P.)をせん断し噴砂をともなう大形の液状化変形跡が確認された。沖積低地の水位が上昇する水文的条件下での地震履歴に相当すると推測される。なお、低地面開析から充填・埋積にいたる急激な変遷は河川活動活発化過程における河床系の平衡性の急変(盆地内堆積基準面の「破れ」、京都盆地下流域狭窄部堆積物の貯留環境変化の可能性、池田碩2008私信)が示唆される。

(a)調査地域・位置

SX1615602



〔第16156次現地層序・不撹乱堆積物試料の比較、年代測定成果にもとづく遺跡形成過程解釈案〕

①：土器配置遺構SX1615602の形成（沖積段丘縁辺構成層：第5b層準、長原式期、盛土構成）。

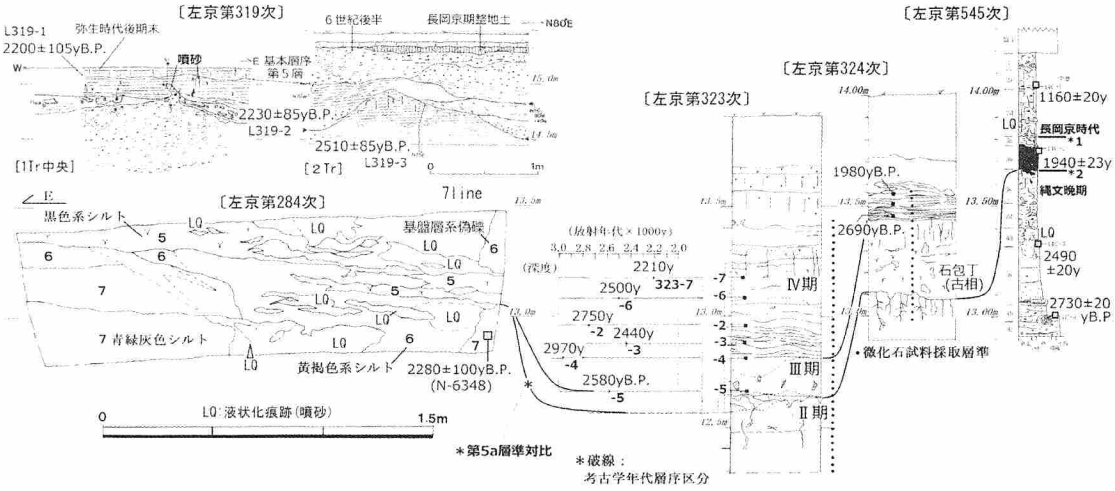
②：①以東における遺構面開析と氾濫堆積物の被覆（第５a層準）、遺構東縁凹地（開析面）における炭質層（第４d層：2201yB.P.）・集積材・材上部泥質堆積物（第４ｄ´層）の積層。連続的に流路充填堆積物（第4c層以浅）積層の可能性。なお、集積材下位支持層としての炭質層には動水的痕跡は認めがたく材と上・下部層が人為的構築物に由来する可能性は排除しえない。

③：②形成過程もしくは以降（浅層水位など高含水条件下）における、第4d/5b層界の粘性流動的変形・変位。

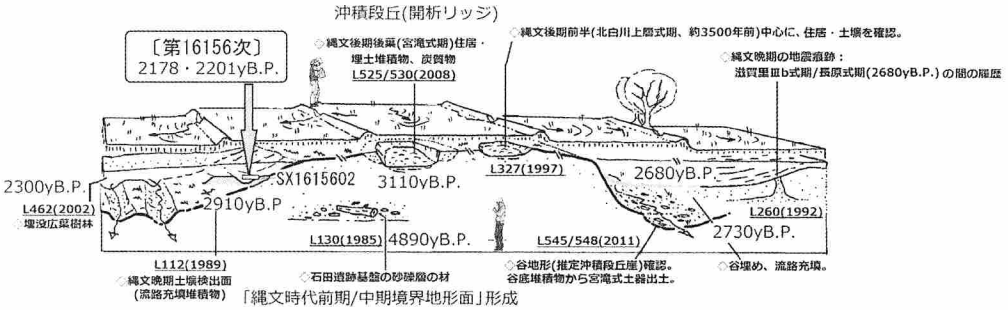
層界面集積材（第４ｄ層準包含資料:2178yB.P.）の変位、下位層準への貫入。もしくは人為的構築。

第４ｃ/４ｂ層界とSX16156遺構構成層にはそれぞれ地震履歴痕跡としての含水塑性的変形、堆積物の剪断をともなう液状化痕が認められ、高水位の水文条件と液状化双方が第4d/５b層界に変形・変位(遺構年代観と測定年代値の深度的逆転)を与えた可能性が考えられる。

(b)石田遺跡調査成果(2016.12)



(c)層序対比



(d)石田遺跡形成過程図解(中塚2012調整)

図 石田遺跡調査調査成果・層序(2016.12)と2200yB.P.年代層序対比(中塚・中村2017を調整)

葛籠尾崎湖底遺跡の地形測量

Topographical survey of Tsuzuraozaki site in the Lake Biwa, Shiga, Japan

○矢野健一(立命館大学)　近藤芽衣(同)　川村貞夫(同)　島田伸敬(同)
佐々木蘭貞(九州国立博物館)
○Kenichi YANO, Mei KONDO, Sadao KAWAMURA, Nobutaka SHIMADA, Randall SASAKI

1. 葛籠尾崎湖底遺跡の調査と課題

琵琶湖の北部にある滋賀県長浜市葛籠尾崎湖底遺跡は、1920年代より漁師が引き上げた土器類が紹介され、小江慶雄の研究により、日本における水中考古学研究の先駆的事例として広く知られている。漁師が土器を見つけてきた水域は葛籠尾崎の東側の水深約40m程度の水域が中心で、他の多くの琵琶湖の湖底遺跡が水深数mにとどまっているのと対照的で、異質である。発見されてきた土器は縄文時代早期～晩期の土器・弥生土器・古墳時代～平安時代の土師器と須恵器が主体である。それらの多くが完形に近い形をとどめている点も特徴的である。遺跡の成因には諸説あり、定まっていない。その理由は、土器の存在様態や分布状況が明らかにされていないからである。特に水深の深い水域における土器埋没状態の視認例がなく、各時代の土器分布の差もわかっていないことためである。

立命館大学では、土器埋没状態の視認と分布状態の確認を目的として、川村貞夫が開発している小型水中ロボットを利用した湖底遺跡調査を2010年より計12回試行してきた。古くより土器が回収されてきた葛籠尾崎東端より北東の砂地が広がる水域では、土器底部の可能性がある物体を2点確認しているが、調査が十分に及んでいない葛籠尾崎南端の南の水域で調査を重ね、土器の可能性が極めて高い物体を5地点(水深24m～水深50m)で確認してきた(図1)。

本プロジェクトによる土器の発見地点は、ロボット搭載のカメラで取得した画像から判断して、砂地か岩場に限られることがわかっている。画像処理は島田伸敬が担当しており、従来、土器が発見されてきた場所も同様であることがわかった。ただし、湖底の詳細な微地形を把握する必要があり、これまで土器が発見されてきた水域で高性能ナローマルチビーム音信測深器R2 Sonic2024型(米国R2Sonic社製)を用いた測量調査を実施して測深データを取得し、その結果を報告する。調査は矢野健一と佐々木蘭貞が(株)ウィンディネットワークに依頼して実施し、これまでの土器発見地点を取得した地形図の中に位置づけたい。測量調査は引き続き実施し、測量水域を広げるとともに、湖底の断面データも取得する予定である。

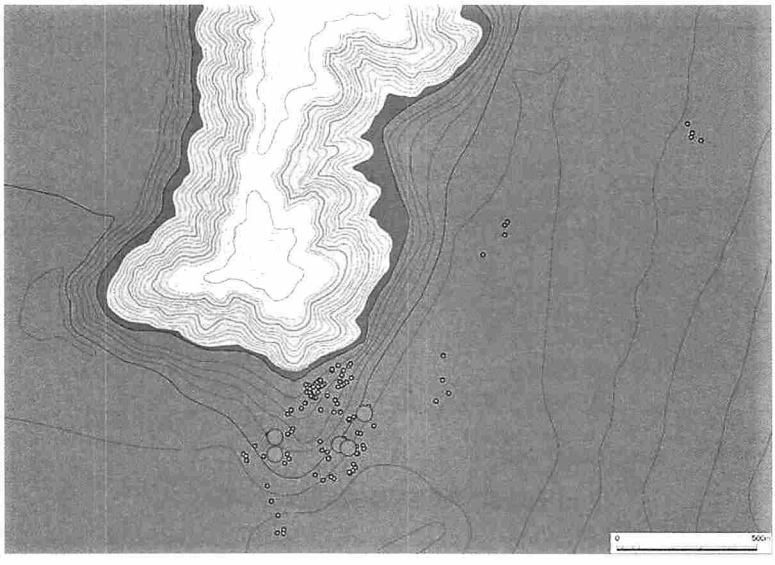


図1　葛籠尾崎遺跡の立命館大学調査地点(点)と土器発見地点(円)

2. 湖成鉄付着土器からみた葛籠尾崎湖底遺跡地形測量の意義

葛籠尾崎湖底遺跡の成因に関して注目されてきたのが土器表面に付着する湖成鉄である。湖成鉄とは湖底土壌の酸化鉄が砂・岩・遺物に付着して被膜のように表面を覆ったものである。小江は、ほとんどの縄文・弥生土器には湖成鉄が厚く付着しており、古墳時代～平安時代の土器には湖成鉄付着土器があまり見られないことを指摘し、これが土器水没の時間差を示すと考え、葛籠尾崎湖底遺跡近くの湖岸にあった集落が複数回の水位上昇により水没し、土器が流されたと推察した。

近藤芽衣は琵琶湖全域の湖底遺跡のうち、湖成鉄付着の状況が調査報告書から確認できる 14 遺跡（葛籠尾崎湖底遺跡以外）を抽出して、出土土器に占める湖成鉄付着土器の比率を調査した（図２）。その結果、琵琶湖底遺跡において出土する土器全体の約 16.4%に湖成鉄が付着していた。地域別にみると琵琶湖北東部では約 18.4%、西北部では約 20.5%、南・東南部では約 11.3%付着しており、北部は湖成鉄が付着しやすい環境であることがわかった。一方で、南・東南部では全体の付着割合は低いだけではなく、遺跡ごとの湖成鉄付着土器の比率の差が激しい。北部でも西側は東側よりも差が激しく、湖成鉄付着土器の比率には地点差が影響しているようである。

いずれの地域においても、縄文・弥生時代の土器の方が古墳時代以降よりも湖成鉄が高い割合で付着している。また、湖底表面よりも地中出土の土器の方が湖成鉄付着の割合が高く、さらに、より下層から出土した土器の方が上層のものよりも顕著に付着していることが分かった。

今後、土器の湖成鉄出土状況を土器発見地点の湖底地形および湖底土層の調査と合わせて分析を進めていけば、小江の仮説を具体的に検証でき、葛籠尾崎湖底遺跡の成因解明に近づく見通しが立った。また、そのためには琵琶湖全体の湖底遺跡の湖底地形と湖底堆積層を把握して湖成鉄付着土器との関係を把握する必要があることもわかった。

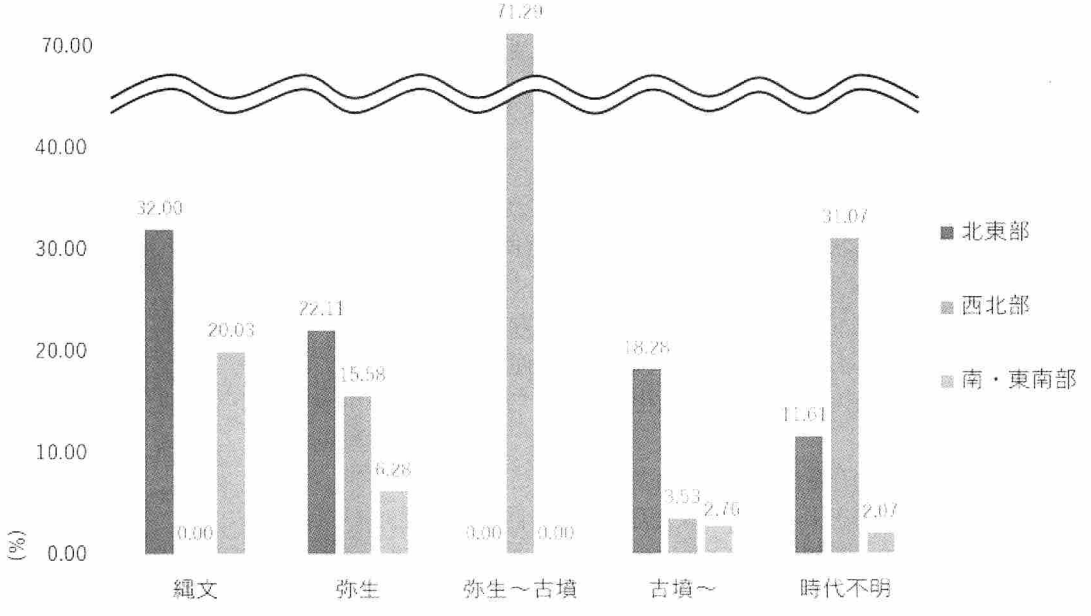


図2 琵琶湖の湖底遺跡出土土器に占める湖成鉄付着土器の比率

本研究は JSPS 科研費 JP15 H03271 の助成を受けたものです。

参考文献

小江慶雄 1975『琵琶湖水底の謎』講談社現代新書
近藤芽衣 2017「琵琶湖底遺跡出土土器の湖成鉄付着状況」(2016 年度関西縄文文化研究会 3 月例会)
矢野健一・川村貞夫・島田伸敬・坂上憲光・妹尾一樹・三ツ井友輔・加治木太郎 2016「ロボットを用いた葛籠尾崎湖底遺跡調査の中間報告と課題」『日本考古学協会第 82 回(2016 年度)総会研究発表要旨』82・83 頁

東日本大震災を契機に開発した
『津波の記憶を刻む文化遺産「寺社・石碑」ﾃﾞｰﾀﾍﾞｰｽ』の可能性

Possibilities on "Database of the cultural heritage
(temples, shrines and stone monuments) which possesses memories of Tsunami"

○日髙真吾[1)]・吉田憲司[1)]・丸川雄三[1)]・寺村裕史[1)]・末森　薫[1)]・和髙智美[2)]
[1)] 国立民族学博物館　[2)] 合同会社文化創造巧芸
○HIDAKA SHINGO[1)], YOSHIDA KENJI[1)], MARUKAWA YUZO[1)],
TERAMURA HIROFUMI[1)], SUEMORI KAORU[1)], WADAKA TOMOMI[2)]
[1)] National museum of Ethnology, [2)] LLC Bunkasozokougei

はじめに

多発する震災の記憶は、防災の観点からも後世に伝えていくべき重要な課題であり、東日本大震災で被災地となった三陸沿岸部においても、これまで幾度となく経験した津波被害の記憶を伝えるために、数多くの津波碑が残された地域であった。しかし、震災時にはその記憶が十分に伝えられていなかった。これは、住民自身が災害への危機意識が薄れ、津波の記憶についても無関心になっていたことなど、幾つかの要因が考えられる。そこで、研究発表者らは、東日本大震災後、改めて三陸沿岸部と紀伊半島沿岸部を中心に津波碑などの所在調査をおこない、WEB 上で公開できる『津波の記憶を刻む文化遺産「寺社・石碑」データベース』を制作した。このデータベースは、地域住民や研究者が新しい情報を追加できる機能を持たせることで、震災被害の記憶を風化させない仕掛けづくりを意識している。本発表では、情報更新型の津波の記憶データベースについて報告する。また、地域住民や研究者が情報を更新する上での検討課題について考察を加える。

日本の沿岸部に残る津波碑

津波の記憶を継承することを考える際、まず想起されるのは、津波が襲った集落の被害状況や後世への警鐘を刻んだ津波碑がある（写真 1）。このような津波碑は、全国の沿岸部に広く残されており、このことは日本列島が長い歴史のなかで幾度となく津波に襲われてきたことを示すものである。いわば「津波遺産」とでも呼べるものであり、災害の記憶を伝える文化財群として位置づけられよう。

このような津波碑の存在に注目した発表者らは、これら津波碑の存在について、吉田を中心に東日本大震災後、東北沿岸部と、国立民族学博物館のある関西地域に隣接する紀伊半島から大阪湾沿岸部の津波碑の所在調査を実施した。その結果、沿岸部のすべての集落に津波碑をはじめとする何らかの津波の記録が残されていることが明らかとなった。

写真 1　三沢津波海嘯碑

津波からの避難場所としての寺社の役割

津波からの避難場所としての寺社の役割を示す事例として、「安政の津波」で収穫したばかりの稲むらに火を放ち、高台に立地していた広八幡神社に村人を避難誘導した濱口梧陵の「稲むらの火」の逸話が小学校の教科書にも取り上げられている。

また、神社を取り巻く鎮守の森は、津波を防ぐための防波堤の役割や津波の到達を遅延させる効果もあるとされている。確かに、仙台空港を襲った津波を確認すると、稲荷神社、下増田神社の鎮守の森が津波に耐えている状況が観察できる（写真2）。このうち、下増田神社は、拝殿は流されたものの、本殿は無事であった。このような津波に耐えた神社を確認していくと、その多くは延喜式に記載された式内社であることに気づく。研究発表者らは、こうした事実に基づき、式内社が、津波からの避難のランドマークとなる可能性を見出した。

写真2　仙台空港に迫る津波に耐える鎮守の森

津波の記憶を伝えるためのデータベースの内容と諸課題

本研究では、津波碑や沿岸部の式内社を中心とする寺社の存在が、将来に向けて津波災害に対する防災の心構えを示すものとして位置づけた。一方で、これらの存在は、その地域において将来にわたって、必ずしもしっかり継承されていくものでもないという危機感もいだいた。

そこで、これら津波碑や寺社の所在を示す『津波の記憶を刻む文化遺産「寺社・石碑」データベース』を制作した。本データベースでは、日本地図上に、それぞれの緯度、経度情報をもとに所在地をプロットしていくとともに、そこに記されている碑文の内容や寺社の縁起、あるいは災害の情報について紹介し、津波災害の記憶と連結させる内容となっている。

データベースの具体的な入力項目は、所在地である市町村名、所在地住所、碑文の内容、津波碑が所在する神社の縁起、災害名称、災害発生時期（和暦）、建立時期（和暦）、寸法、関連情報、参考文献、備考、公開の可否、寺社等の種別（9項目から選択）緯度、経度から構成され、1件のデータに可能な限りの防災に関する情報を盛り込めるように配慮した。その結果、現在、津波碑は147件、寺社は121件のデータを格納している。

また、本データベースの特徴として、ログイン機能を利用して新規情報を更新できる機能を搭載させた。これは、今後、本データベースを活用する研究者や、津波研究などをおこなう研究者と協同して、更なる情報を追加させていくことを目的としたものである。今後、より一層のデータの蓄積を試みていきたいと考えている。

一方で、今後の本データベースの運用を考えた場合、いくつかの課題がある。本データベースで対象としている津波碑や寺社の所在、縁起などの情報は、保存科学の分野を専門とする研究者だけでは十分に研究が及ばない。本データベースをより効果的なものとしていくためには、歴史学、民俗学、文化人類学、津波工学など、多岐にわたる研究者間のネットワークと地域住民との連携が必須となる。これらの課題を解決するために、学問の分野を越えた共同研究会の実施や、市民との交流を目的とした研究会の実現など、広い視野に立った研究活動を展開する必要があると考える。

参考文献

吉田憲司「記憶の継承－津波災害と文化遺産」日髙真吾編『記憶をつなぐ－津波災害と文化遺産』P140-P165　2012年　千里文化財団

＊本研究発表は以下の研究プロジェクトの成果の一部である。

・国立民族学博物館フォーラム型情報ミュージアムプロジェクト「日本の文化展示場関連資料の情報公開プロジェクト」（代表　日髙真吾）

・人間文化研究機構基幹研究「日本列島における地域文化の再発見とその表象システムの構築」（代表　日髙真吾）

・JSPS　15H02954（代表　日髙真吾）

段ボール製一時保管箱の温湿度挙動とその効果

Humidity control effects of interim storage box using corrugated fiberboard

○栗本康司(秋田県立大学)、片岡太郎(弘前大学)、松井敏也(筑波大学)
○Yasuji Kurimoto[1], Taro Kataoka[2], MatsuiToshiya[3]
[1]Akita Pref. University, [2]Hirosaki University, [3]University of Tsukuba

1. はじめに

様々な考古遺物、民芸品や紙資料などを温湿度や空気・生物汚染等の影響から保護し、劣化を抑制しながら保管していくためには、適切な収蔵施設を完備し運営することが望まれる。しかしながら、地震等の被害が発生した地域では、こうした文化財の保護に緊急を要するほか、被災施設の復興にも時間が掛かることから、一時的な保管環境の確保が重要である。

本研究では、段ボールや大型のビニール袋など入手および廃棄の容易な資材を用いた一時保管箱を、プレハブ式の仮設収蔵施設内に区画された収蔵室に設置し、温湿度の挙動とその効果を検討した。

2. 実験

2. 1 一時保管箱の作成

市販の段ボール箱(AB 段、内寸:425 x 315 x 300 mm、40.2 L)に温湿度ロガー(山形チノー:HN-CHPR)と調湿材(富士シリシア:アートソーブ 60)を入れ梱包用布テープを用いて封入した。その後、段ボール箱全体をポリエチレン製の袋(90 リットル)で覆い防湿層とした。本試験では、調湿材を用いない保管箱をコントロールとした。尚、調湿材は袋状に加工したHEPA フィルターに入れ、使用量は 3.5 g/L とした。

2. 2 保管箱の設置と温湿度測定

保管箱を東日本大震災の津波により被災した「鯨と海の科学館」(岩手県山田町)に仮設されたプレハブ式の収蔵室(4,500 x 7,300 x 2,300 mm、75.6 m^3)に設置し、ケース内の温湿度を 1 時間毎に記録した。また、保管箱を設置した室内と仮設収蔵施設の外気も温湿度ロガーを用いて記録した。

3. 結果と考察

3. 1 外気の温湿度環境

鯨と海の科学館が位置する外気の温湿度変化を図 1 に示す。気温は 1 年を周期として緩やかに変動するとともに、相対湿度は年間を通して高い状況にあることが読み取れる。尚、2015 年 1 月 1 日から 12 月 31 日の期間のデータを用いて気温と相対湿度の年間の平均値を求めたところ、それぞれ 11.5℃(最高:35.8℃;最低:-6.1 度)と 79.4%(最高:100%;最低:13.8%)であった。また、日較差の平均値は、それぞれ、9.5℃(標準偏差 = 3.4℃)と 34.6%(標準偏差 = 14.7%)であった。

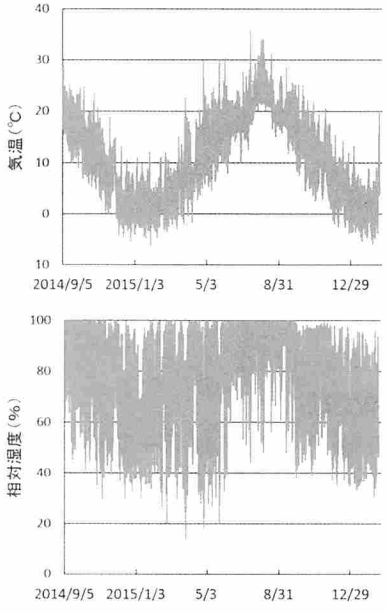


図 1 外気の温湿度変化
(2014 年 9 月 5 日～2016 年 2 月 15 日)

3. 2 収蔵室の温湿度環境と一時保管箱の効果

収蔵室と保管箱(調湿材あり)の温湿度変化を図 2 に示す。尚、保管箱は、収蔵室に設置した当初は覆いを設けなかったが、2015 年 11 月 28 日よりビニール袋で覆い防湿層とした。

まず、収蔵室と保管箱の温度変化をみると、季節の経過に伴う変動と日較差において、これら両者に大きな違いは認められない。また、防湿層の有無も収蔵室と保管箱で差異はない。一方、相対湿度は保管箱の使用により室内で認められた変動が緩和されていることが読み取れる。特に防湿層を設けた後の緩和が著しい。

図 2 に認められた温湿度の測定値を整理し表 1 に示した。平均は測定期間全ての平均値であり、最高と最低は各期間で得られた最高値と最低値を示す。△は最高値と最低値の差異である。また、表には段ボール(C-box)のみを用いた場合(コントロール)とともに外気の状況も記した。尚、ここに示した△/△収蔵室は、各測定期間で得られた気温と相対湿度の最高と最低の差異(△)を、収蔵室での値で除した数値である。これにより一時保管箱のおおよその効果を見積もることができる。

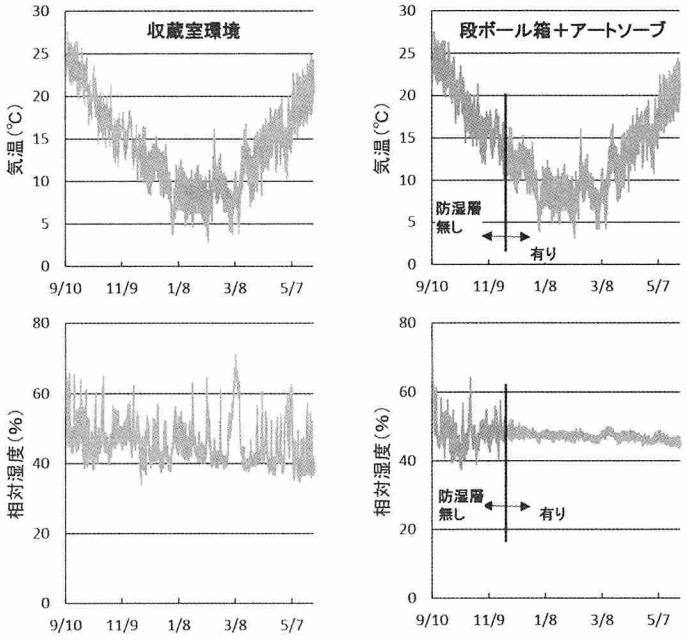


図 2 収蔵庫と一時保管箱（調湿材あり）の温湿度変化
(2015/9/10～2016/5/27、保管箱では 2015/11/28 に防湿層を設置)

防湿層がない場合の温度と相対湿度の変動をみると、調湿材の有無に関係なく、いずれの値も 1 前後を示している。従って、保管箱内の温湿度環境は収蔵室内のそれと大差ないと判断される。一方、防湿層を設けた場合、気温の△/△収蔵室は、収蔵室と保管箱で違いがないが、相対湿度のそれは 0.22 にまで低下しており、湿度変動が著しく緩和されたことが理解できる。

次に、防湿層を設けた後の測定データから気温と相対湿度の日較差を求めた。保管箱の気温日較差は、調湿材の有無に関係なく約 3.9℃であったが、相対湿度のそれは 1.5～2.2%となり、収蔵庫の 6.4%と比べ 1/4～1/3 に緩和された。

以上の結果から、ある程度密閉された空間において、相対湿度の変動が小さくなる効果は、段ボールの内壁面およびシリカゲル(調湿材)の調湿作用として理解することができる。尚、今回の測定ではシリカゲルの顕著な作用が認められなかった。これまでに、段ボールに使われる紙が調湿機能を持つことが知られていることから、今後、紙と調湿剤の役割について把握する必要があるものと思われる。

4. まとめ

入手および廃棄の容易な資材を用いて一時保管箱を作成した。空調機器を備えていない仮設の収蔵室に保管箱を設置して温湿度変化を測定したところ、箱内の温度は設置した室内環境と同様の変化を示すものの、相対湿度は著しく緩和されることを確認した。特に、相対湿度の緩和では、一時保管箱に防湿層を設けることが重要であった。

表 1 仮設収蔵室と一時保管箱の温湿度変化

	気温(℃)					相対湿度				
	平均	最高	最低	△[1]	△/△収蔵庫[2]	平均	最高	最低	△[1]	△/△収蔵
2015/9/10～2015/11/27										
外気	13.0	28.5	0.9	27.6	1.57	83.5	100	38.1	61.9	1.65
収蔵室内	18.6	27.7	10.1	17.6	1.00	48.0	75.7	38.1	37.6	1.00
C-box(コントロール)	18.8	27.6	10.4	17.2	0.98	48.3	76.1	37.7	38.4	1.02
C-box＋アートソーブ	18.7	27.5	10.3	17.2	0.98	48.1	75.0	37.3	37.7	1.00
2015/11/28～2016/5/27										
外気[3]	2.5	15.5	-5.9	21.4	0.98	66.6	97.9	30.3	67.6	1.82
収蔵室内	11.9	24.8	2.9	21.9	1.00	44.7	71.0	33.8	37.2	1.00
C-box(コントロール)	11.9	24.5	3.1	21.4	0.98	47.0	51.9	43.7	8.2	0.22
C-box＋アートソーブ	11.9	24.4	3.1	21.3	0.97	46.3	50.5	42.5	8.0	0.22

1) 最高－最低
2) (最高－最低)を収蔵庫内の値で除した割合
3) 2015/11/28～2016/2/14

本研究の一部は科学研究費補助金(基盤 A)[課題番号 26242021]により行った。

学校を利用した収蔵施設の維持管理に関する一考察
ー宮城県気仙沼市旧月立中学校収蔵施設の事例から

Sustainable maintenance and management of storage facility renovated from school building; Case study of the former Tsukidate junior high school building which renovated as a storage facility in Kesennuma City, Miyagi

○和髙智美（合同会社文化創造巧芸）・日髙真吾（国立民族学博物館）・末森薫（国立民族学博物館）
川越和四（環境文化創造研究所）・福田尚（イカリ消毒株式会社）・幡野寛治（気仙沼市教育委員会）
○WADAKA TOMOMI (LLC Bunkasozokougei), HIDAKA SHINGO (National Museum of Ethnology), SUEMORI KAORU (National Museum of Ethnology), KAWAGOE KAZUSHI (Institute for Environmental Culture), FUKUDA TAKASHI (IKARI SHODOKU CO.,Ltd.,), HATANO HIROHARU (Kesennuma City Board of Education)

1．はじめに

東日本大震災で被災した文化財の一時保管場所として活用されている宮城県気仙沼市旧月立中学校について、研究発表者らは安定した収蔵環境を目指し、2012年より継続的な環境調査を実施し、IPMを取り入れた運用をおこなってきた。このなかで、2014年には収蔵室内に調湿断熱壁を設置する改修や廊下の板壁の隙間対策などの施設改良も進め、安定した温湿度環境を得るなどの成果をあげた[1)]。

2016年5月からは、週5日でおこなわれていた作業員による資料整理作業が週3日（火・水・木）に短縮され、日常の管理体制が変更されることとなった。そこで、改めて環境調査をおこない状況を確認した結果、週5日と週3日の施設運用による違いを明らかにした。

2．旧月立中学校のこれまでの施設改善の取り組み

現在の旧月立中学校は、2014年2月に株式会社金剛の協力を得て、2部屋ある収蔵室内の窓際に調湿断熱壁を設置する改修をおこない、同年7月に収蔵室2の廊下壁面に防湿シートの取り付けをおこなった。その後も、2015年11月に収蔵室1の廊下壁面にも防湿シートの取り付け、2016年4月に廊下北側にある高窓への断熱材入り木製扉の設置、同年6月に廊下北側壁への防湿シート取り付けを実施するなど徐々に施設面の改善がおこなわれた。

これらの施設改善による効果について、木材資料を中心に保管されている収蔵室2に注目して、改修前の2013年と改修後の2016年の温湿度の推移を図1に示す。その結果、温度湿度ともに、安定した推移となっており、施設改修の効果がよく反映されているといえる。ただし、2016年は、モニタリングをおこなうなかで湿度上昇の傾向がみられたため、6月中旬からは、作業日に汎用除湿機を60%設定で連日稼動するようにしたところ、運転に合わせて湿度が落ちた。2016年8月11日から1ヶ月間の夏季休業時には、徐々に湿度が上昇しており、閉じ込めた空間では湿度が上昇する傾向が確認された。

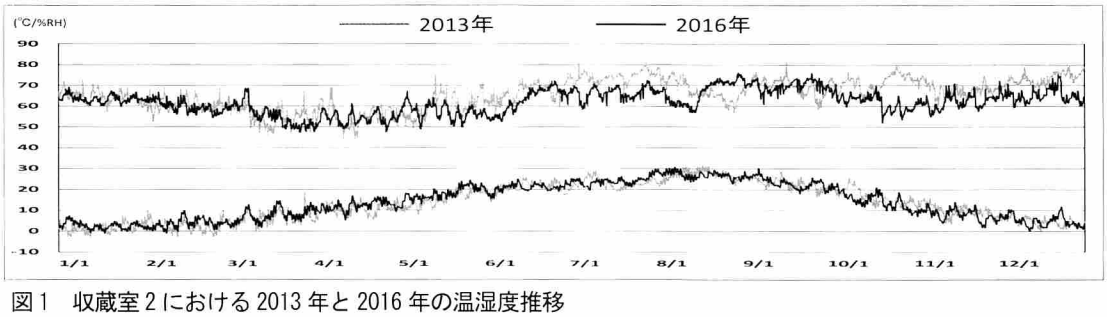


図1　収蔵室2における2013年と2016年の温湿度推移

ポスター発表

- 年代測定
- 古環境
- 材質・技法
- 産地
- 保存科学
- 文化財科学一般
- 探査
- 文化財防災

3．環境調査の結果

環境調査は2016年7月12日に実施した。調査項目はこれまでに実施した調査内容を踏襲し、捕虫トラップによる生物生息調査（1ヶ月間設置）、パーティクルカウンター（リオン㈱ KM-02型）による塵埃量調査（塵埃 5μm）、ハンディタイプバイオサンプラー（ミドリ安全㈱ MBS-1000 ポテトデキストロース寒天培地・M40Y 寒天培地 25℃/5～7日間）による空中浮遊菌調査（空気採取量 100ℓ）をおこなった。

収蔵室の調査結果について、夏季に実施した過去の結果と2016年の調査結果を表1に示す。2016年の虫の捕獲数は、過去に実施した夏季の調査のなかでもっとも多かった。また、塵埃量は、IPMを導入した後の2014年の結果と比較すると増加していた。一方、空中浮遊菌は、過去の結果と比べると減少していた。

表1　環境調査結果（収蔵室における総数）

	2012年8月	IPM導入	2013年8月	2014年8月	2016年7月
虫の捕獲数(匹)	726		671	674	1,115
塵埃5μm(個数/cf)	15,120		／	700	3,299
空中浮遊菌(カビ数)	921		／	387	286

4．考察

旧月立中学校は、施設面の簡易な改修によって、隙間対策を講じることができ、温湿度環境の改善が確認できた。しかし、2016年5月からは作業日が週3日となり、これまでの週5日体制でおこなってきた維持管理ができなくなった。その結果、とくに夏季休暇には湿度が上がり、高湿度傾向となる課題がさらに深刻となった。2016年の生物生息調査の結果からは、虫の捕獲数が増え、中でもダニ目やチャタテムシ目が多く捕獲されていた。この要因として、毎日おこなっていた清掃や除湿機の稼動がされなくなったことから、空気の循環が減り、空気溜りが生じ、ダニ目やチャタテムシ目の捕獲が多くなったと考えられる。また、塵埃量の増加も清掃の回数が減ったことが要因と考えられる。空中浮遊菌は減少していたが、夏場に高湿度傾向になるため、依然としてカビの発生が懸念される。

5．おわりに

従来から民俗文化財の収蔵施設として全国的におこなわれている学校を利用した収蔵施設の維持管理の方法として、旧月立中学校の事例をもとに、改修工事による環境改善の事例を報告するとともに、施設運用方法について考察をおこなった。その結果、簡易な施設改修によってある程度の安定した温湿度環境を創出することが可能であることが分かった。一方、その維持管理には、定期的な清掃や目視点検などをおこなう人員の確保など管理体制の構築も検討することが重要である。

今後の旧月立中学校における収蔵環境の維持管理としては、作業終了時の清掃の継続とともに、資料の異常が早期に発見できるように配架方法の見直しが必要である。また、天井からの雨漏りや屋根裏への鳥の侵入痕跡など施設面の新たな問題が確認されており、天井部分の改修も検討する必要があると考えている。

1）日髙真吾他11名「東日本大震災の被災文化財一時保管場所の環境改善一気仙沼市旧月立中学校の事例から」『文化財保存修復学会第37回大会要旨集』P32-P33、2015年

＊本研究発表は以下の研究プロジェクト（いずれも代表 日髙真吾）の成果の一部である。
・人間文化研究機構基幹研究「日本列島における地域文化の再発見とその表象システムの構築」
・科学研究費補助金基盤B「東日本大震災で被災した文化財の保管環境に関する調査研究」
・国立民族学博物館文化資源プロジェクト「東日本大震災で被災した文化財の保管環境に関する調査研究5」

国指定文化財12城の地震ハザードカルテによる危険度評価

Evaluation of Seismic Risk of the 12 National Designated Castles with the Japan Seismic Hazard Map

○二神　葉子（東京文化財研究所）・隈元　崇（岡山大学）
FUTAGAMI Yoko and KUMAMOTO Takashi

1. はじめに

平成28年（2016年）熊本地震では、4月14日のマグニチュード（M）6.5の前震と、16日の本震（M7.3）の2度にわたる最大震度7の揺れによって、国の重要文化財に指定されている熊本城の櫓や門、石垣が大きな被害を受け、その修復には今後数十年を要するともいわれている。共同通信の取材によれば、江戸時代以前に築城され、天守が現存する国内12の城のうち、耐震補強などの地震対策が完了しているのは姫路城のみにとどまり、早急な地震対策の必要性が指摘されている（東京新聞 TOKYO WEB 2016年7月2日付）。個々の城にとって適切な地震対策の策定のためには、城が所在する場所においてどのような地震ハザードが存在するかを知ることが必要である。このような状況を踏まえ筆者らは、これらのいずれも国宝・重要文化財に指定されている12の城について、防災科学技術研究所が公開している「地震ハザードカルテ」を用いて、地震危険度評価の比較を行った。

2. 防災科学技術研究所の地震ハザードカルテ

地震ハザードカルテとは、国土数値情報の旧測地系（日本測地系）の3次メッシュ（約1km四方）を縦横各4等分した約250m四方のメッシュであらわされる各地点の地震ハザード情報をまとめたもので、国立研究開発法人防災科学技術研究所により作成・公開されている。地震ハザードカルテでは地点ごとに、揺れの大きさに影響を与える表層及び深部の地盤情報、政府の地震調査研究推進本部が作成している確率論的地震動予測地図による地震ハザードの情報、すべての地震のハザードカーブと影響度が大きい上位3地震の影響度などを表示するとともに、それらの値をランク付けしたレーダーチャートで概要を示している。上記の地震ハザードカルテのウェブページ（http://www.j-shis.bosai.go.jp/labs/karte/）では、住所や施設名による検索や、検索画面に表示される地図をクリックすることで、任意の場所の診断を行うことができる。

この地震ハザードカルテを用いることで、国内の任意の地点について、地盤の状況を考慮したうえで、ある一定の期間に想定される最大の震度や、特定の大きさの揺れが発生する確率といった、地震による危険度を定量的に把握することが可能である。

3. 地震ハザードカルテによる地震危険度評価の比較

国宝・重要文化財に指定されている12天守について、地震ハザードカルテ2016年版の検索画面にその住所を入力して検索を行い、ハザードカルテを表示させた。その際は、地震ハザードカルテの位置確認用の地図と、Googleマップにより大縮尺で天守の位置する場所を表示することで、天守の位置の状況を最も適切に反映すると思われるメッシュを特定した。表1に、各城が含まれるメッシュにおける地震ハザードを抜粋して示した。なお、工学的地盤上での最大速度、最大速度、最大深度は、評価基準日から30年間に6%の確率で見舞われる値である。この確率値6%は，再現期間としてはおよそ500年間に対応し，築城から400年程度の天守の評価には適当な指標である。また，地盤増幅率とは、大型構造物を設置する場合の基礎となる工学的地盤（平均S波速度400 m/s）の揺れに対する、地表から深さ30mまでの表層の地質構造による増幅率である。

表 1　地震ハザードカルテに示された 12 天守の地震ハザード関連情報（都道府県コード順）

城名	指定	工学的地盤上 最大速度(cm/s)	地　盤 増幅率	最大速度 (cm/s)	最大震度	10 万年相当 平均震度
弘前城	重文	22.0	1.18	26.1	5 強	6 強
松本城	国宝	114.3	1	114.4	6 強	7
丸岡城	重文	22.9	1.32	30.2	5 強	7
犬山城	国宝	58.3	0.89	52.1	6 弱	6 強
彦根城	国宝	45.4	0.57	25.8	5 強	6 強
姫路城	国宝	42.2	1.32	55.8	6 弱	7
備中松山城	重文	38.3	0.57	21.8	5 弱	6 弱
松江城	国宝	19.7	1.59	31.3	5 強	7
丸亀城	重文	74.3	1.24	92.4	6 強	7
宇和島城	重文	99.9	0.57	56.9	6 弱	6 強
松山城	重文	73.5	0.91	66.8	6 弱	7
高知城	重文	116.0	1.26	145.9	6 強	7

これらの評価結果から地震の危険度が特に高いと評価されるのは、丸亀城、高知城、松本城となる。丸亀城と高知城は、2030 年頃に次の地震の発生が予測されているプレート境界型の南海トラフの地震の想定震源域に近いこと、また，松本城は前回の活動（西暦 762 年もしくは 841 年）からの経過時間が、活断層の研究で明らかとされた平均的な活動間隔の 600 年～800 年を超えている糸魚川・静岡構造線活断層帯を成す松本盆地東縁断層への距離が 2 km と近いことが理由である。一方、やはり南海トラフの地震の想定震源域に近い宇和島城は、上記の期間及び確率において、実際の表層地盤の状態を考慮しない工学地盤上での最大速度は、丸亀城の 74.3 cm/s よりも大きく 99.9 cm/s であるものの、地盤が堅固な山地に位置し地盤増幅率が 0.57 と比較的低いため、震度は 6 弱と小さく見積もられている。ただし，地震ハザードカルテの空間解像度は天守に対してやや粗いため，微地形の詳細な再区分は必要なことには留意する必要がある。

さらに、想定上発生しうる最大の震度を示す再現期間 10 万年相当の平均震度を見ると、備中松山城が震度 6 弱、弘前城、犬山城、彦根城、宇和島城が震度 6 強、それ以外の 7 城が震度 7 を呈した。この値は、科学的知見の不確かさを見越して推定される当該地点の最大の揺れの強さであり、公共性の高い施設や、重要な展示物の耐震を考える際には参照すべきであろう。

4. おわりに

天守はその周辺地域のランドマークであり、災害によってひとたび損傷を受ければ住民の心理的ダメージも大きい。しかし、平時において地震の危険度評価を意識した対策を実施することもなかなか困難である。例えば，地震ハザードカルテ 2014 年版による熊本城付近についての評価をみると、将来 30 年間に 1 回以上震度 6 弱以上の地震が発生する超過確率への影響度として、熊本地震の発生源である布田川・日奈久断層帯の影響度が 54.7%と最も高く、想定最大震度は 7 であった。この経験は、地震ハザードカルテの評価が、その場所で起こりうる地震の危険度を事前に把握する上での参考になる情報であることを示唆する。「はじめに」で言及した記事では、姫路城を除く 11 城の地震対策の遅れの理由として、耐震工事の費用負担や、工期中の観光客減少への懸念が挙げられているが、地震によって損傷を受けた後の修理には、いっそう多くの費用と時間を要する。今後は，所在地の地震の危険度に関する情報により注意を払い、天守など構造物自体の耐震診断の結果に基づき、適切な規模の地震対策を講じることが必要であろう。

THE 34th JSSSCP CONGRESS in YAMAGATA 2017

企業広告

●広告掲載企業（16社）

株式会社アクト
株式会社アルゴ
イカリ消毒株式会
エクスロン・インターナショナル株式会社
大塚オーミ陶業株式会社
公益財団法人高輝度光科学研究センター
三恒商事株式会社
株式会社乃村工藝社
富士シリシア化学株式会社
一般財団法人文化財科学研究センター
株式会社三ツワフロンテック
株式会社パスコ山形支店
株式会社林原
ピーエス株式会社
Beta Analytic Inc.
株式会社島津製作所

石材風化防止剤の販売並びに、石造物の保存、修復、復元
遺構保存剤の販売並びに、遺構保存工事、メンテナンス

・石材強化剤OH100

・石材撥水剤290

・強化剤OM25　OM10等

企業
広告

株式会社アクト

〒518-0467　三重県名張市赤目町相楽619-1
ＴＥＬ　　０５９５－６３－８２６１
ＦＡＸ　　０５９５－４８－６７７１
E-mail　　ikenoue@themis.ocn.ne.jp

複雑で面倒な３Ｄ計測も素早く簡単に!!

アルゴの３Dスキャナ

コンパクト3Dマッピングユニット

for **広域計測**

GPS不要の屋内外マッピング＆ローカライゼーション

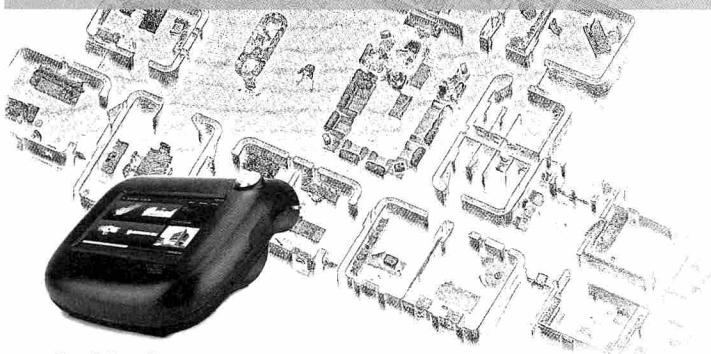
Stencil2 Version 2

- GPSフリーのマッピングユニット
- スキャナーはVelodyne社VLP-16/HDL-32eを使用
- IMU内蔵（6DOF、200Hz）
- 小型軽量設計（111.3 x 114.3 x 69mm、700g）
- 屋内マッピングも可能

ハンディレーザースキャナー

for **屋内計測**

タッチスクリーン搭載で簡単操作

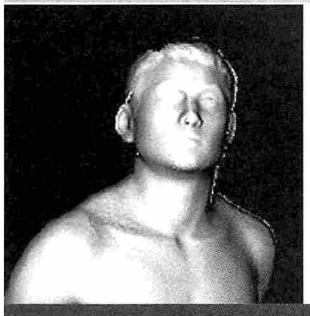


Contour NEW !

- 測定距離　15mまで
- 測定点数　43,200点/秒
- バッテリ、操作タッチパネル内蔵のスタンドアローンシステム
- レーザー測定精度　±3cm

高精度リアルタイム３Dスキャナ

自由なカメラワークで高解像RGB-Dデータ測定



特殊 IR コードパターンによる
高精度スキャン

PocketScan 3D

- 測定した点群データを付属のソフトウェアで自動的に3Dスティッチング実施
- XYZ、PLY、PTS、PCD出力
- 600,000ポイント/sec
- 動作距離 0.25～1.0m

詳細＆お問い合わせは、 argo@argocorp.com https://www.argocorp.com

株式会社アルゴ

〒564-0063 大阪府吹田市江坂町１丁目 13-48
TEL : 06-6339-3366　FAX : 06-6339-3365

LC ecosys
Life Creation
Life Cycle Assessment
Ecological System

環境文化の創造
Creation of Environmentally-Oriented Culture

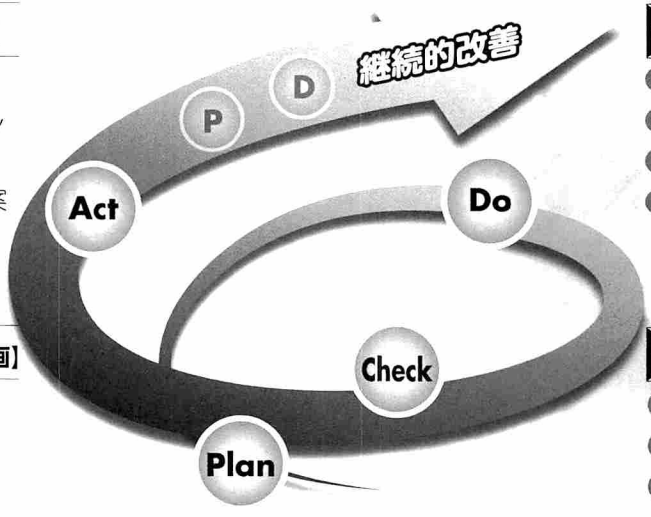
エコミュアー IPM サポートシステム

イカリ消毒では、かけがえのない文化財を後世へ残していくために
正しい保存環境づくりのサポート事業を行っています。

あらゆるリスクから文化財を守る。

文化財害虫による食害やカビによる腐食等、あらゆるリスクから文化財を守るためにIPM(総合的有害生物管理)の理念に基づき、IPMの手法を提案し、体制整備の支援をいたします。
文化財を守るためには、現状の環境をしっかりと把握し、日常管理で予防対策を講じることが重要となってきます。

エコミュアーIPMサポートイメージ



A Act【改善】
- 教育研修
- 管理体制の見直し
- 報告会
- 次年度計画の提案

D Do【実行】
- 初期改善
- 原因究明
- IPM メンテナンス
- 殺虫／殺カビ

P Plan【計画】
- 現状調査
- 診断　●設計
- 教育訓練支援

C Check【確認】
- モニタリング
- 検査／分析
- 評価／解析

*エコミュアー(ECOMUAR)とは
「エコ」(Ecology=環境)　「ミュ」(Museum=博物館・美術館等)　「アー」(Archive=文書館)の3つの言葉を掛け合わせた造語です。博物館・美術館・図書館・文書館等の文化財・貴重資料が保存されている施設を、環境負荷の低い技術・商品で守ることをコンセプトにしています。

企業広告

環境エンジニアリング　全国100事業所
IKARI イカリ消毒株式会社　http://www.ikari.co.jp

本　　社　〒151-0051　東京都渋谷区千駄ヶ谷5-27-11　Tel.03-3356-6191　Fax.03-3350-1405
大阪オフィス　〒541-0056　大阪市中央区久太郎町1-4-8　Tel.06-6264-2741　Fax.06-6264-2740

エクスロン 文化財用 X 線透視・CT 検査システム

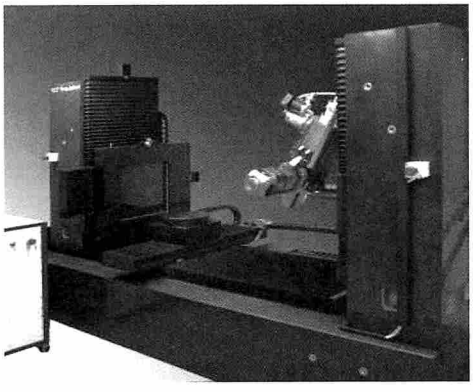
Y.MU2000-D X 線透視・CT 装置

Y.MU2000-D

- ●160～450kV のラインナップ
- ●高精細デジタルフラットパネル搭載で鮮明な画像
- ●様々な角度から容易に撮影可能（6 軸マニピュレーター）
- ●シンプルデザインで簡単操作
- ●オプションで CT 検査が可能
- ●アルミニウム、鉄、樹脂、木材に対応

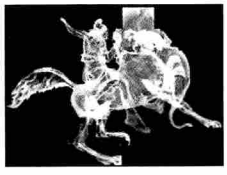
【主な仕様】 X 線管電圧: 160kV／225kV／320kV／450kV から選択
検査品最大寸法: φ600×H900mm（標準）、φ800×H1500mm（オプション）
検査品最大重量: 60kg／200kg（オプション）

Y.CT Modular / Y.CT Precision X 線透視・CT 装置



Y.CT Modular

- ●ミニフォーカス: 160kV、225kV、320kV、450kV
- ●マイクロフォーカス: 160kV、190kV、225kV
- ●高精細デジタルフラットパネル搭載で鮮明な画像
- ●微少な木質文化財から大型仏像やブロンズ像なども鮮明に撮影可能



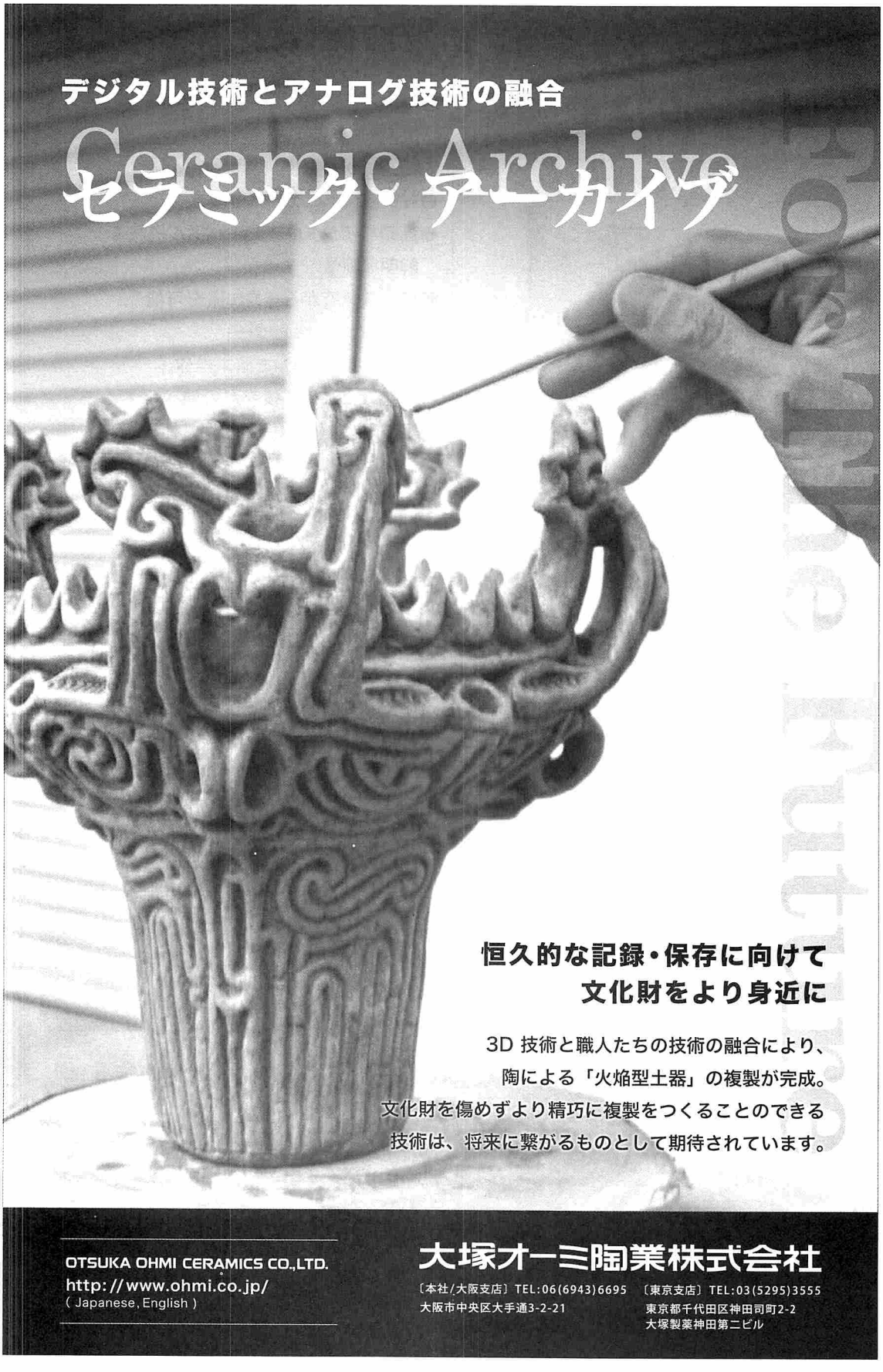
【主な仕様】 X 線管電圧: 160kV／190kV／225kV／320kV／450kV／600kV から選択
検査品寸法例: φ600×H1250mm
検査品最大重量: 100kg

YXLON

Technology with Passion

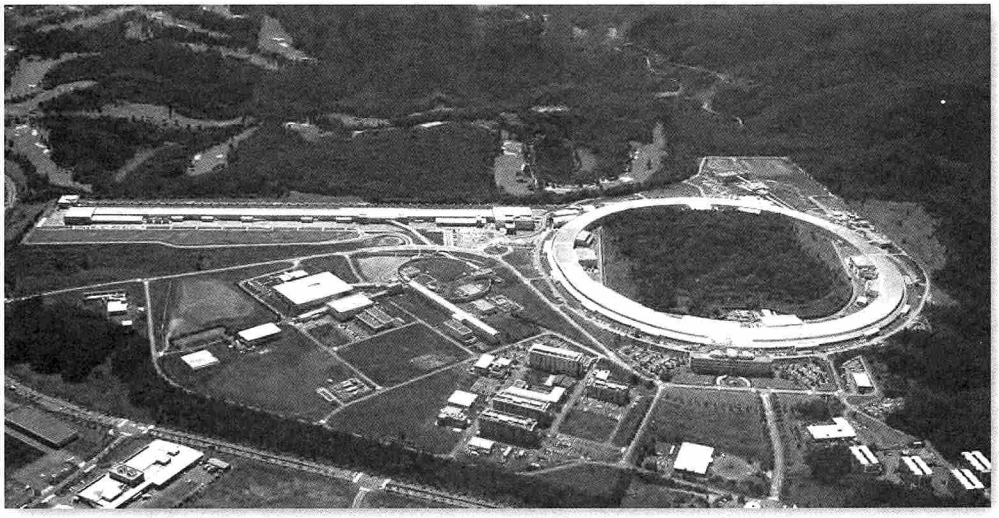
エクスロン・インターナショナル株式会社

〒221-0031 横浜市神奈川区新浦島町 1-1-32
ニューステージ横浜 1F
Tel :045-450-1730 Fax:045-450- 1740
E-mail:yxlon@jpn.yxlon.com
URL:http://www.yxlon.co.jp


デジタル技術とアナログ技術の融合
Ceramic Archive
セラミック・アーカイブ
恒久的な記録・保存に向けて
文化財をより身近に
3D 技術と職人たちの技術の融合により、
陶による「火焔型土器」の複製が完成。
文化財を傷めずより精巧に複製をつくることのできる
技術は、将来に繋がるものとして期待されています。
OTSUKA OHMI CERAMICS CO.,LTD.
http://www.ohmi.co.jp/
(Japanese, English)
大塚オーミ陶業株式会社
〔本社/大阪支店〕TEL:06(6943)6695
大阪市中央区大手通3-2-21
〔東京支店〕TEL:03(5295)3555
東京都千代田区神田司町2-2
大塚製薬神田第二ビル
企業広告

SPring-8

SPring-8は
きっとあなたのお役に立ちます。



SPring-8 は皆様の研究を支える共同利用実験施設です。

日本文化財科学会第34回大会

企業セミナーのご案内

第5回 SPring-8 文化財分析技術ワークショップ

「SPring-8 を用いた文化財研究」

6月10日(土) 11：30～12：30
場所：本館4階　411講義室

演者1 11:30～ 中井 泉　東京理科大学理学部応用化学科
「SPring-8 の文化財科学への応用」

演者2 11:50～ 四角 隆二　岡山市立オリエント美術館
「高エネルギー放射光を用いたバイメタル剣の CT 画像撮影」

※整理券は開催当日、機器展示会場の〝SPring-8 / 公益財団法人高輝度光科学研究センター〟ブースまたは会場周辺にて頒布します。

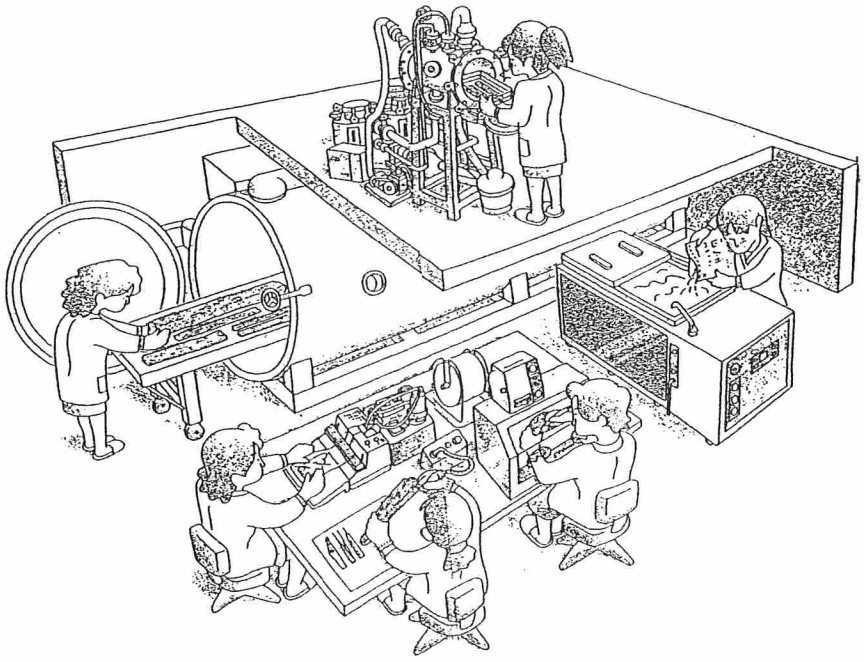
公益財団法人 高輝度光科学研究センター(JASRI)　利用推進部 普及情報課
兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1　TEL：0791-58-2785　FAX：0791-58-2786
E-MAIL：kouhou@spring8.or.jp

考古遺物・遺跡の保存

を

お手伝いします

☆木製遺物用保存処理装置（PEG 処理．真空凍結処理．その他）
☆金属製遺物用保存処理装置・金属用補修装置・脱塩装置
☆上記装置に付帯する薬品類一式・RP システム
☆遺構、石器、土器、瓦保存用薬品・地層保存システム
☆各種分析・計測装置（蛍光Ｘ線、軟Ｘ線、赤外線、三次元測定、他）



企業広告

三 恒 商 事 株 式 会 社

〒550-0013　大阪市西区新町１丁目１０番２号
電話：06-6538-0571　FAX：06-6535-1292
E-mail：sanko@sanko-syoji.co.jp

NOMURA GROUP

1892（明治 25）年の創業以来、
乃村工藝社グループは歓びと感動を追い続けてまいりました。

お客様の事業繁栄とそこに集うエンドユーザーである皆さまに
夢やときめきをお届けすること―

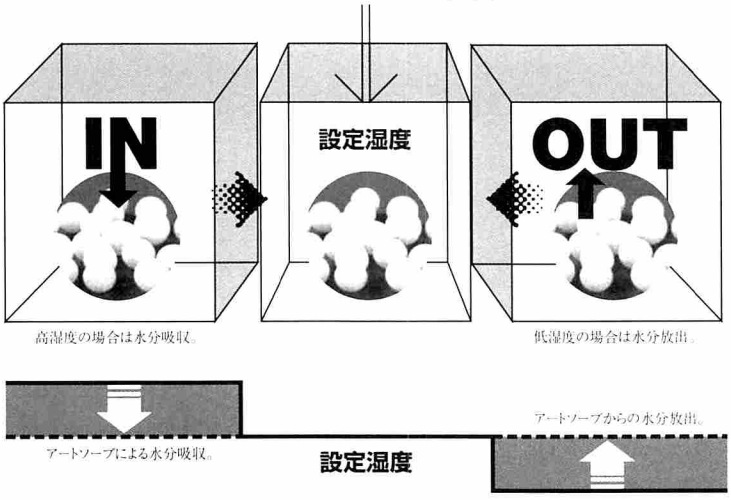
すなわち、時代を彩るクリエイティブ力と乃村工藝社グループ全社の総合力による
空間創造事業と空間ににぎわいをもたらす空間活性化事業が私たちの仕事です。

常にお客様のベストパートナーであるために
乃村工藝社グループはお客様の課題解決につながる新たな価値を創造し、
“場”の魅力を最大限に高めるチャレンジを続けてまいります。

株式会社乃村工藝社
本社　東京都港区台場2-3-4　TEL:03-5962-1171（代表）

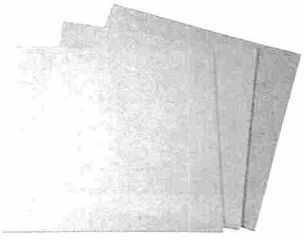
アートソーブ®

周りの湿度変化に対して常に適切な湿度をキープ、
それがアートソーブの役目です。



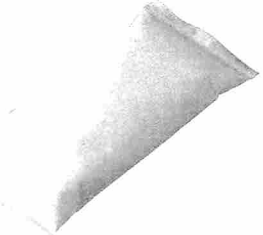
ビードタイプ

シートタイプ

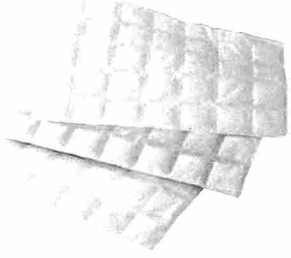


カセットタイプ

Fタイプ



Sタイプ



Fuji Silysia

富士シリシア化学株式会社

本　　社	〒487-0013 愛知県春日井市高蔵寺町2-1846	☎ (0568) 51−2511
東京営業所	〒103-0027 東京都中央区日本橋2-15-10 宝・明治安田ビル	☎ (03) 3275−1621
名古屋営業所	〒450-0001 愛知県名古屋市中村区那古野1-47-1 名古屋国際センタービル23F	☎ (052) 587−0451
大阪営業所	〒541-0042 大阪府大阪市中央区今橋1-7-3 ハヤシビル7F	☎ (06) 6220−8610
福岡営業所	〒812-0011 福岡県福岡市博多区博多駅前3-23-22 シティ22ビル5F	☎ (092) 473−3771

企業広告

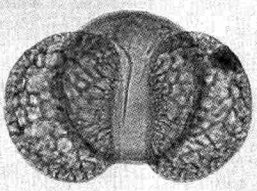
科学が魅せる古からのアプローチ（いにしえ）

● 自然科学分析 ●

植　　物 ― 花粉分析・寄生虫卵分析・珪藻分析・
　　樹種同定・種実同定・植物珪酸体分析・
　　遺構（トイレ等）分析・糞石分析
動　　物 ― 動物遺体同定・貝類同定
堆積粒子 ― 粒度分析・微粒炭分析・鉱物分析
材　　質 ― 繊維同定・塗膜分析・樹種同定・
　　岩石同定・鉱物分析・蛍光Ｘ線分析
そ の 他 ― 放射性炭素年代測定

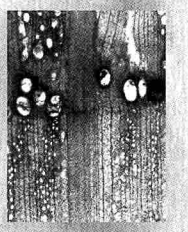
● 保存処理 ●

・トレハロース含浸法

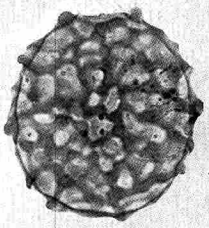


マツ複維管束亜属

Gomphonema acuminatum



コナラ属コナラ節



回虫卵

椎骨

イネ（炭化米）

対象遺物

・木製品等（漆付、木簡含む）
・種実（炭化含む）
・縄　　など

● 研究および教育普及活動 ●

・研究発表
・講演会
・研修、実習
・検証分析
・データベース作成
・書籍発刊
・およびその補助

ぜひご相談ください!!!

一般社団法人文化財科学研究センター
Cultural assets scientific research center

〒632-0073 奈良県天理市田町４４７番地
Call：0743-84-6400　Fax：0743-84-6400
E-mail：bunkaken-nara@kxa.biglobe.ne.jp
ＨＰ：http://www.bunkaken-nara.com

MITSUWA FRONTECH

文化財の科学・保存・修復をお手伝い致します

株式会社 三ツワフロンテック

http://www.mitsuwa.co.jp

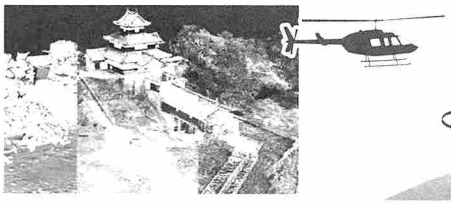
大 阪　〒530-0041 大阪市北区天神橋3-6-24　TEL:06(6351)9677
東 京　〒103-0004 東京都中央区東日本橋2-8-5(東日本橋グリーンビルアネックス)　TEL:03(5823)0351

企業広告

各分野のスペシャリストが
文化財を 4次元的に解析・業務を支援！

パスコは最先端の技術や機器を使用して文化財分野の情報取得や活用へ情報提供をリードしています。
発掘調査業務や遺物整理業務だけではなく文化財を取り巻く様々な要求から最適な情報を導くため日々課題解決に努めています。

・上空からは人工衛星情報、航空機（写真撮影やレーザ計測）、
ヘリコプター、ドローンなどに取り付けたセンサ機器を活用。



・陸上では地上測量（TS、VRS、GNSS）、レーザ搭載計測車両、
地上型レーザ計測器、地中レーダ、GIS ソフト、VR（仮想現実）、
熱カメラ などを駆使して現場を徹底的に調査。

・水中では潜水調査、フィールド調査、航空機による水中計測レーザ、各種の環境調査や
水中測深機器などを駆使して水中を詳細に調査し見える化、自然事象の変化を把握。

株式会社パスコ 山形支店
支店長　小島 真紀

〒990-0039　山形県山形市香澄町 1-19-5
023-624-7271　www.pasco.co.jp

PASCO
World's Leading Geospatial Group

暮らしを彩るスマートバイオ

HAYASHIBARA

NAGASE Group

糖質技術を核に
イノベーションを起こし続ける
オンリーワン企業へ

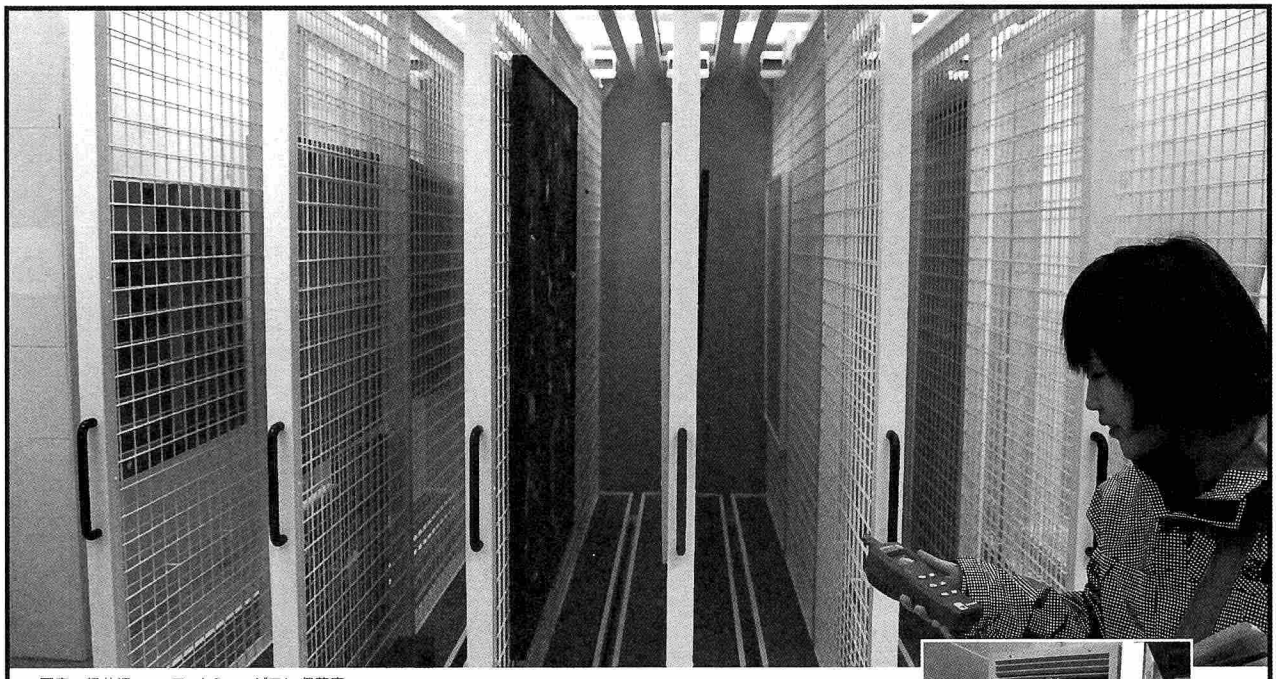
1883年に水飴製造業としてスタートした林原は、微生物の作り出す酵素を用いて各種糖質の開発を行ってまいりました。そして、「夢の糖質」とも呼ばれるトレハロースやトクホに配合されて注目を集める糖転移ヘスペリジンなど、人々の健康や豊かな食生活に寄与する製品や技術を生み出してきました。

2012年に長瀬産業を中核企業とするNAGASEグループの一員となり、機能性糖質の事業によりいっそう力を集中させ、新素材の研究や新たな用途の開発に邁進しています。さらに将来的には、バイオ技術をベースに環境やエネルギーなどの新分野へも踏み出したいと考えています。

"糖質技術を核にイノベーションを起こし続けるオンリーワン企業へ"
林原の挑戦にどうぞご期待ください。

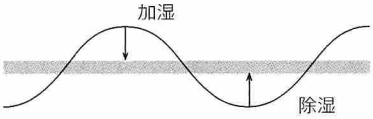
株式会社 林 原 岡山市北区下石井1-1-3　日本生命岡山第二ビル新館
Tel:086-224-4311　FAX:086-224-8492　https://www.hayashibara.co.jp/

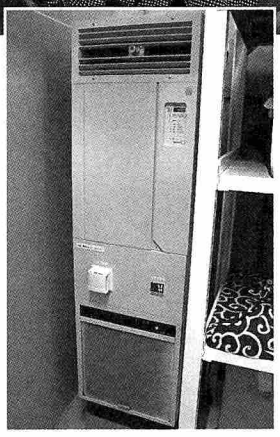
企業広告

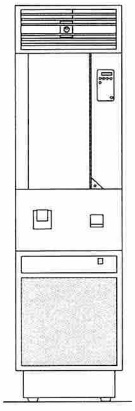


写真：軽井沢ニューアートミュージアム 収蔵庫

美術品の安定した湿度環境のために。







加湿＆除湿の一台二役

PS 加湿・除湿ユニット G-151

- 加湿と除湿と制御盤がユニットになっており、G-151を設置するだけで年間を通した湿度管理が可能です。
- 希望湿度を設定するだけで、湿度が高い時は除湿、湿度が低い時は加湿の自動運転。
- 加湿方式は、水の不純物や細菌を放出しない蒸気式加湿。
- 給水、排水も自動なので管理の手間がありません。
- 現在、多くの美術館、博物館、図書館で活躍しています。

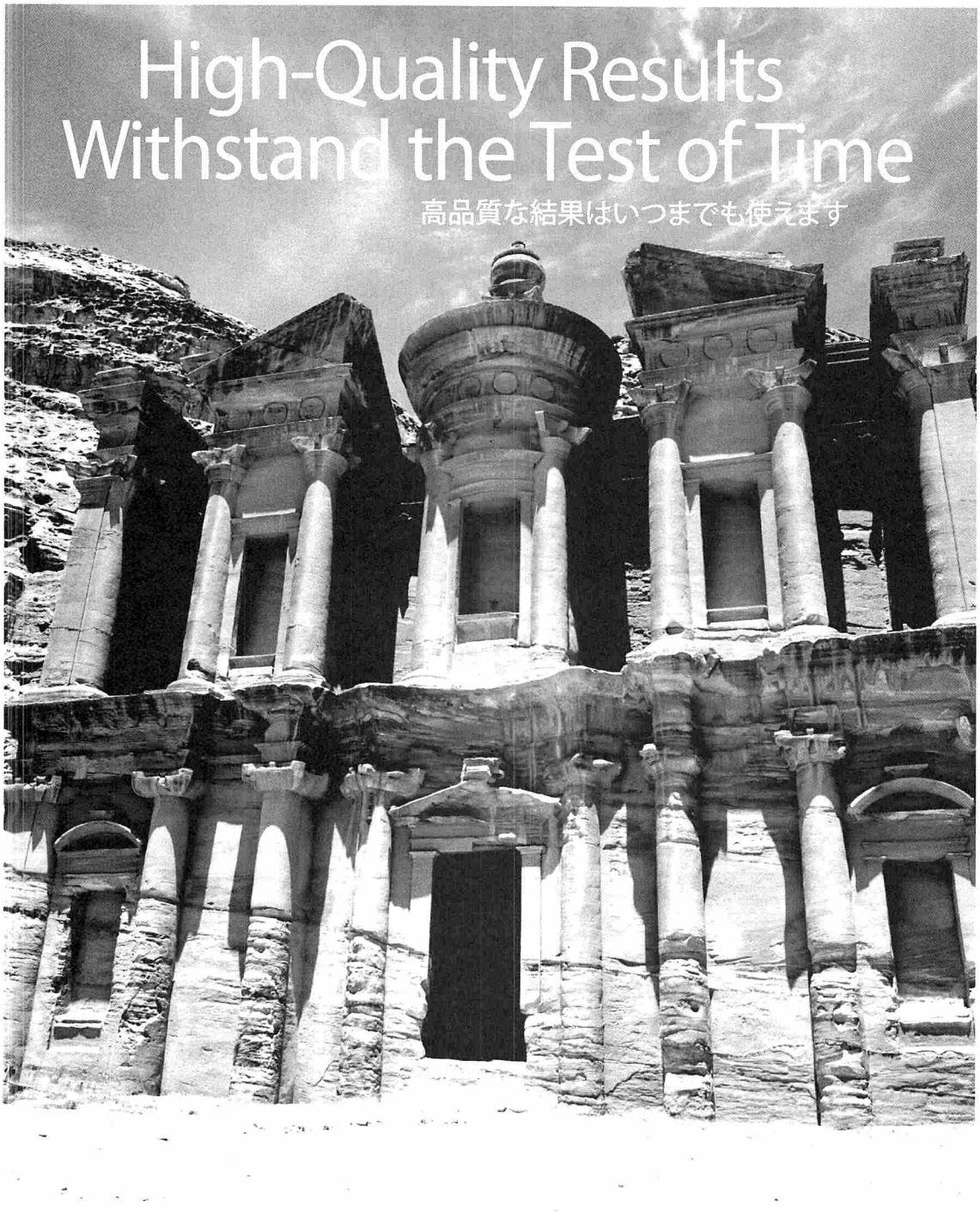
ピーエスは、温度と湿度の専門企業です。現場調査に基づいた加湿除湿計画、設置工事、メンテナンスまで一貫してサポートします。

PS
SINCE1960

www.ps-group.co.jp

ピーエスグループ　ピーエス株式会社　東京都渋谷区富ヶ谷1-1-3　TEL 03-3485-8811

北海道 | 盛岡 | 仙台 | 東京 | 新潟 | 長野 | 名古屋 | 大阪 | 福岡 | 熊本



Radiocarbon Dating Since 1979
Beta Analytic Inc.

日本総代理店　株式会社 地球科学研究所
www.radiocarbon.jp

BETA
RADIOCARBON DATING
Consistent accuracy
Delivered on time

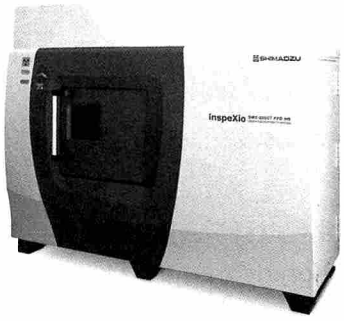
SHIMADZU
Excellence in Science

常識を覆す画質・進化した操作性

マイクロフォーカスX線CTシステム inspeXio SMX-225CT FPD HR

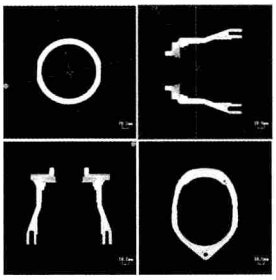
inspeXio SMX-225CT FPD HRは自社製マイクロフォーカスX線発生装置と大型高解像度フラットパネル検出器を搭載した高性能マイクロフォーカスX線CTシステムです。

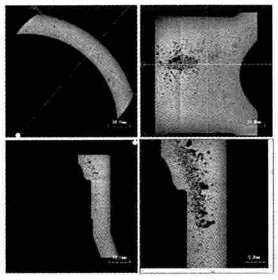
・広大な検出エリア、最大1,400万画素相当の入力解像度
・広視野・高解像度・高コントラストな断面画像
・超高速演算処理システムHPCinspeXioの更なる高速化

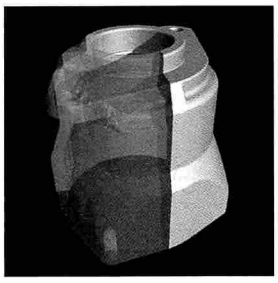


X線出力	最大管電圧 225kV、最大管電流 1000μA、定格135W
検出器	フラットパネル検出器
検出器サイズ	縦：16インチ×横：16インチ
最大入力画素数（オフセット走査時）	1400万画素
搭載可能ワークサイズ	Φ400mm×H300mm　最大 12kg
最大撮影領域	Φ400mm×H300mm

アルミダイカスト


MPR画像


MPR画像（拡大撮影）


VR画像

MRP画像
CT撮影で得られた連続スライスデータを、直行する3方向の断面でカットし二次元的に観察した画像で、各断面におけるワークの内部の状態を観察できます。マイクロフォーカスX線CTは他の非破壊検査装置に比べ分解能が高く、数μm～数百μmの分解能での撮影が可能です。マイクロフォーカスX線CTでは1回の撮影（数分～2時間程度）で数百～数千の連続断面を得ることが可能で、ワークの内部を含めた詳細な三次元情報を短時間で得ることが可能です。

VR画像
得られた連続断面画像を仮想空間上に積み上げて立体的に観察でき、三次元的な形状を容易にとらえることができます。

株式会社 島津製作所　分析計測事業部　http://www.an.shimadzu.co.jp/

日本文化財科学会第 34 回大会研究発表要旨集

発行：2017 年 6 月 9 日
編集：日本文化財科学会第 34 回大会事務局

日本文化財科学会第 34 回大会事務局
〒 990-9530 山形市上桜田 3-4-5
東北芸術工科大学 文化財保存修復研究センター
Tel：023-627-2204 Fax：023-627-2303

日本文化財科学会第 34 回大会実行委員会

委 員 長：根岸吉太郎（東北芸術工科大学学長）
委　　員：澤田正昭・藤原徹・石崎武志・北野博司・杉山恵助・米村祥央・中右恵理子・大山龍顕・長峯朱里 (以上、東北芸術工科大学)
足立和成 (山形大学)、及川規 (東北歴史博物館)、今津節生 (奈良大学)、片岡太郎 (弘前大学)、土屋明日香 (広重美術館)、佐藤庄一 (山形考古学会)、後藤恵里子 (山形県)、青木智史（天理大学附属天理参考館）