口頭発表

会場

弘前大学総合教育棟

A 会場（101）、B 会場（201）、C 会場（301）

日時

7 月 6 日（土）10:40～12:10、17:00～18:12

7 月 7 日（日）09:40～10:42、14:00～15:12

旧加賀藩江戸藩邸で発見された富士火山1707年噴火（宝永噴火）の降下火山灰発見の意義

Significance of the finding of the fall-out tephra of the Fuji 1707eruption (Hoei eruption) at the Old Kagahan's residence

○原祐一*，藤井敏嗣**，小松愛子*，堀内秀樹*，宮地直道****
*東京大学埋蔵文化財調査室，**NPO法人環境防災総合政策研究機構，***故人
○Yuuichi Hara,Toshitsugu Fujii,Aiko Komatsu,Hideki Horiuchi,Naomichi Miyaji
*Archaeological Research Unit The University of Tokyo,**Crisis & Environment Management Politcy Institute
***The deceased

2002年度，東京大学埋蔵文化財調査室は，薬学部総合研究棟地点で加賀藩上屋敷の奥にあたる区域の調査を行った。地表から約1メートルの深さで宝永火山灰と考えられる約2cm厚の黒色堆積層を確認した。宝永火山灰は近世考古学の年代指標資料で，藤井（当時，東大地震研），宮地（当時，日大文理）がサンプリングと分析を担当した。分析の結果，試料は宝永4年（1707年）に降灰した宝永火山灰の自然堆積層と確認，保存処理を行った（武蔵野文化財修復研究所　担当）。都心で発見された宝永火山灰の自然堆積層が火山学の研究者によってはじめて分析され，都心で降灰した宝永火山灰の標準試料となった。考古学的には宝永噴火前後，邸内で行われた造成と火山灰処理を検討するための資料，災害研究では堆積の厚み等から近世都市江戸に堆積した降灰量，災害対策などを検討する上で重要な“しりょう”となった。本発表では遺跡調査の成果，加賀藩等の宝永噴火関連史料，化学分析について述べ，本試料の意義について述べる。

発掘調査で明らかになった宝永噴火前後の造成と調査地点で確認された火山灰処理　（表1）

加賀藩邸では元禄16年（1703年）の地震と水戸様火事の復旧工事が行われており，宝永4年（1707年）は本郷邸の竣成，徳川綱吉の養女松姫の来嫁が予定されていた。降灰時，建設工事は水戸様火事の瓦礫を用いて造成した［生活面2］で行われていた。降灰後，火山灰は盛土で覆って処理，［生活面1］を造成，工事は続行された。（原・堀内）

加賀藩邸の宝永噴火関連史料

加賀藩江戸藩邸における降灰状況を示す記録は，加賀藩の藩政史料である加越能文庫（金沢市立玉川図書館近世史料館所蔵）の中に数点確認できる。このうち，藩政の中核を担った年寄八家が月番でつとめた御用番の政務日記（特16.41-88「御用番方留帳」22）の該当部分を全文引用する。

同日（11/23）　江戸　巳克ヨリ江戸中曇鳴動震動ニテ戸障子鳴，未克ヨリ西南雲起り色黒如墨，灰ノ降事如雪
初ノ獣ノ毛ノ如，次第太ク成，后ハ砂ト成，空中数多火光，戌克止ミ，地ニ溜ル所寸ニ余ル焼石ヲ酢キタル如ク黒砂ナリ，白昼モ暮合ノ如シ，

廿七日　　江戸　今日マテ砂降，（以下略）

また，加賀藩士久能猪左衛門・庄田作輔が記した日記（特16.40-21「雑録備考抄附録」8）では，降灰について，23日昼八時（14～16時）より灰とも砂とも見分けがたいものが降る，25日夜砂降る，26日暮れ時より砂降る，27日七時（16～18時）より暗くなり，灰・砂が降ると記されている。

この他に，加賀藩江戸藩邸に隣接する支藩富山藩江戸藩邸の記録では，23日未刻（14～16時）に空一面が闇のようになり，そのうえ砂も降り，場所によっては1寸4，5分積もったという（「吉川随筆」『越中資料集成3 吉川随筆・前田氏家乗』桂書房，1988年，256頁）。（小松）

宝永噴火の火山灰

宝永噴火は大量の火山レキ，火山灰を放出した爆発的噴火であり，火口から100km離れた江戸にもかなりの降灰があったことが知られ（図2），発掘調査の行われた本郷地区で1cm程度と推定されていた。発掘地点では最下部に極細粒の白色～灰色火山灰が，その上位には比較的粒径の揃った黒色火山灰が堆積していた。最下部は層厚が薄いため粒度分析はできなかったが，噴火初日に江戸で採取され，奈良の旧家で保存されていた豊田家試料同様の粒径であったと思われる（図3）。調査地点から回収された黒色火山灰はいずれも最下位の軽石に比べて粗粒である（図3）。

回収試料の同定のために，EPMAによって火山灰の石基ガラスの化学組成を分析し，火口近辺で採取された噴出物との比較を行った。最下位の白色ないし灰色火山灰はデイサイト～安山岩質噴出物の石基ガラスの組成と一致し，黒色火山灰の石基ガラスは玄武岩質噴出物のものと一致した（図4）。このことから，調査地点の火山灰資料は1707年の富士火山宝永噴火によりもたらされたものであることが確実である。なお，図5に示した図との対応から，最下位の白色～灰色火山灰は噴火初日から2日目にかけて，黒色火山灰は3日目以降に堆積したことが推定される。（藤井）

共同研究により出土資料は宝永火山灰の自然堆積層と確認され，災害史，現在の防災を考える上で重要な標準試料となった。また，加賀藩等の文献史料を確認できた。近世考古学は宝永火山灰を遺物の一つとして扱ってきたが，共同研究は考古学，文献史学，火山学にとって思わぬ成果をもたらした。今後の出土例の増加と研究の進展に期待する。

参考文献

宇井忠英　他　2002「江戸市内に降下し保存されていた富士宝永噴火初日の火山灰」特定非営利活動法人日本火山学会火山　47(3), pp.87-93

原祐一 2003「東京大学本郷構内の遺跡　薬学部総合研究棟地点（2002年度）富士山宝永火山灰の出土状況」
『第4回考古科学シンポジウム』pp.67-71
藤井敏嗣，宮地直道，吉本充広，安田敦，金子博之 2003「旧加賀屋敷における宝永火山灰の発見とその火山学的意義」同上 pp.77-82
宮地直道，小川真人 2007「富士火山1707年（宝永噴火）についての最近の研究成果」荒巻重雄　他編集，山梨環境科学研究所
『富士火山』pp.339-348

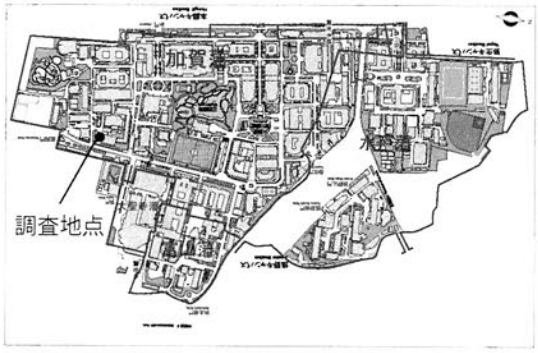


図1　江戸時代の大名屋敷の配置と調査地点

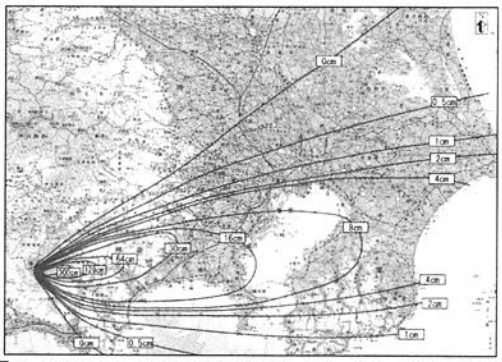


図2　宝永火山灰の層厚分布（富士山ハザードマップ検討委員会）

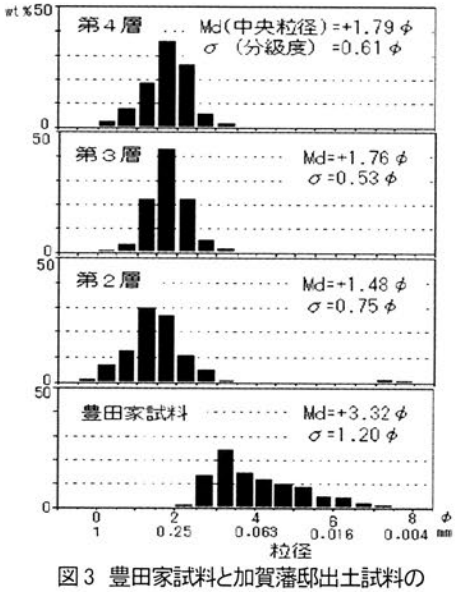


図3　豊田家試料と加賀藩邸出土試料の火山灰の粒度

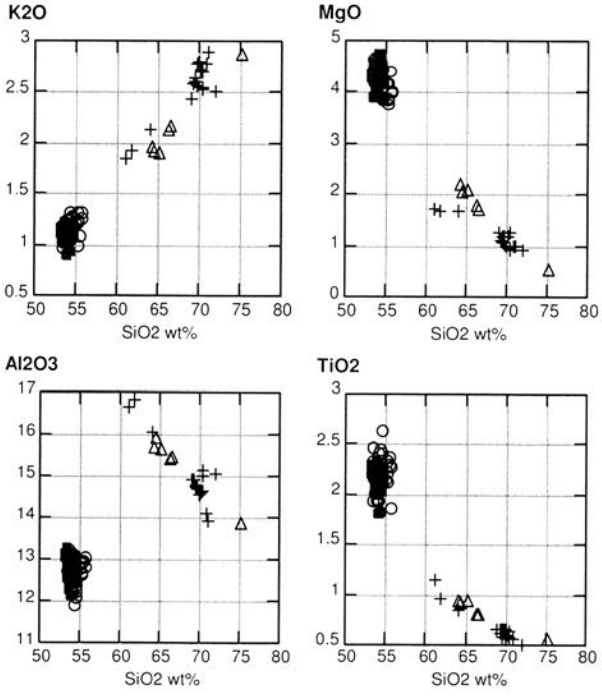


図4　電子線マイクロアナライザー（EPMA）による火山灰の石基のガラスの分析
+：宝永火山灰の石基ガラス，○：加賀藩邸から出土した黒色火山灰の石基ガラス
△：加賀藩邸から出土した灰色・白色火山灰の石基

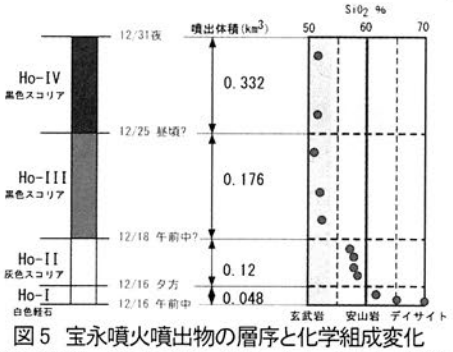


図5　宝永噴火噴出物の層序と化学組成変化
宮地（1988），Tsukui(1986)，宮地・小山（2001），藤井ほか（2002）

表1　宝永噴火前後の地震・火災と加賀藩邸の造成

年	事項
元禄15年（1702年）	1月前田綱紀隠居（藩政前期と中期），上屋敷焼失
元禄16年（1703年）	**11月23日，地震。11月29日，「水戸様火事」**，本郷邸類焼
宝永4年（1707年）	**11月23日～12月9日，富士山宝永噴火。**
宝永5年（1708年）	3月29日，本郷邸竣成
	4月9日，前田吉徳襲封により，徳川綱吉の養女生姫来嫁の命を受ける
	4月19日，生姫来嫁ニ向ケ邸内御殿建築の地鎮祭行う，10月完成
	11月15日，前田吉徳本郷邸に移る
	11月18日，前田吉徳に来嫁

北海道伊達市有珠の遺跡群から発見された1640年の津波堆積物

The 1640 Tsunami deposites found at the sites of Usu in Date City, Hokkaido.

○添田雄二（北海道開拓記念館）、青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）、菅野修広（登別市教育委員会）、永谷幸人（伊達市噴火湾文化研究所）、河畑敦史（同）、三谷智広（洞爺湖町教育委員会）、中村賢太郎（株式会社パレオ・ラボ）、松田宏介（室蘭市教育委員会）、宮地　鼓（北海道大学大学院理学研究院）、渡邊　剛（同）、伊達元成（伊達市噴火湾文化研究所）、上中央子（元東北大学・植物園）

○Yuji Soeda(Historical Museum of Hokkaido), Tomoya Aono(Date City Institute of Funkawan Culture), Nobuhiro Kanno(Noboribetsu City Board of Education), Yukihito Nagaya, Atsushi Kawahata (Date City Institute of Funkawan Culture), Tomohiro Mitani(Toyako Town Board of Education), Kentarou Nakamura (Paleo labo Co.,Ltd), Kousuke Matsuda (Muroran City Board of Education),TsuzumiMiyaji,Tsuyoshi Watanabe (Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University), Motoshige Date (Date City Institute of Funkawan Culture),Hisako Uenaka (Former Botanical Gardens, Tohoku University).

北海道南西部の渡島半島に位置する駒ヶ岳は、約３万年前以降、大規模な山体崩壊を伴う噴火を複数回起こしている。このうち、1640年に起きた噴火は数千年～数万年に一度の爆発的巨大噴火（VEI５～６）とされ、松前藩の古文書には、翌日朝から暗闇で降灰が３日間続いたことや灰が約90cm積もった地点があったことなどが記されている。そして、この異常な規模の火山活動に伴って山体が崩壊し大量の岩屑なだれとなって噴火湾に流入したため、巨大津波が発生した。古文書によると、この津波で100余隻の昆布取船が一瞬で呑み込まれ700名余りが溺死したとあるが、内陸部への遡上範囲に関する具体的な記載はほとんど無く、唯一、対岸の伊達市にある有珠善光寺如来堂の関連記録に一部が読み取れる程度である。

一方、伊達市有珠にはアイヌ文化期の遺跡が多数存在する。複数の遺跡発掘調査の結果、1663年有珠b火山灰（Us-b）下に1640年駒ヶ岳火山灰（Ko-d）を伴う当該津波の痕跡（津波堆積物）を確認し、また、周辺の地質調査結果と合わせることで、有珠地区における津波の最低遡上範囲を復元することができた。当該津波堆積物の基底には明瞭な浸食面があり、層厚は最大で19cmにも達する。また、当該津波堆積物は少なくとも海岸から250m内陸まで広く分布していることが確実であり、津波はそこからさらに遡上した地点もあったことが推定され、当時内陸でも多数の死者を出す大災害であったことが読み取れる。そして、如来堂（現地蔵堂）付近では古文書の記載を裏付ける津波堆積物も発見することができた。なお、1960年のチリ沖地震津波と2011年の東北地方太平洋沖地震津波が有珠に到達した際、場所によっては海岸から100m近く遡上したが、古津波痕跡として残る規模の津波堆積物は形成されなかった。

このように、本調査によって、古文書には記されていなかった内陸側での津波の状況（遡上範囲や被災状況）が明らかとなってきている。駒ヶ岳の山体のもろい部分は1640年の噴火でほとんど崩壊していると考えられており、近い将来に 当時と同様な大災害が起きる可能性は低い。しかし、古津波痕跡による「最低でもここまで津波が到達していた」という証拠は、歴史記録から知ることができなかった事実であり、発生源が何であれ津波防災を計画する際の重要な基礎データになると同時に、地域住民が津波に対して新たな心構えを持つための材料となるであろう。地質学的視座から過去の自然災害を評価することは、北海道のように歴史記録の少ない地域では特に有効であり、今後の津波防災にも活用できるものである。

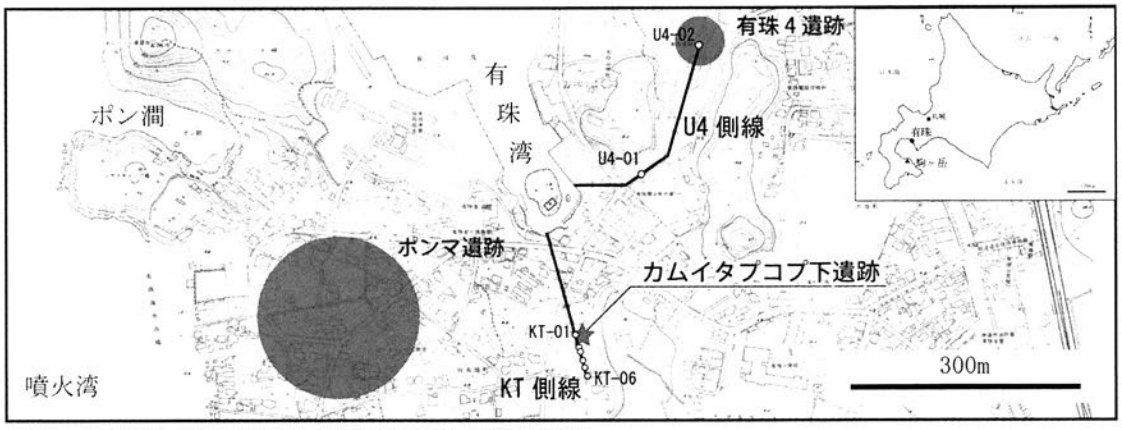
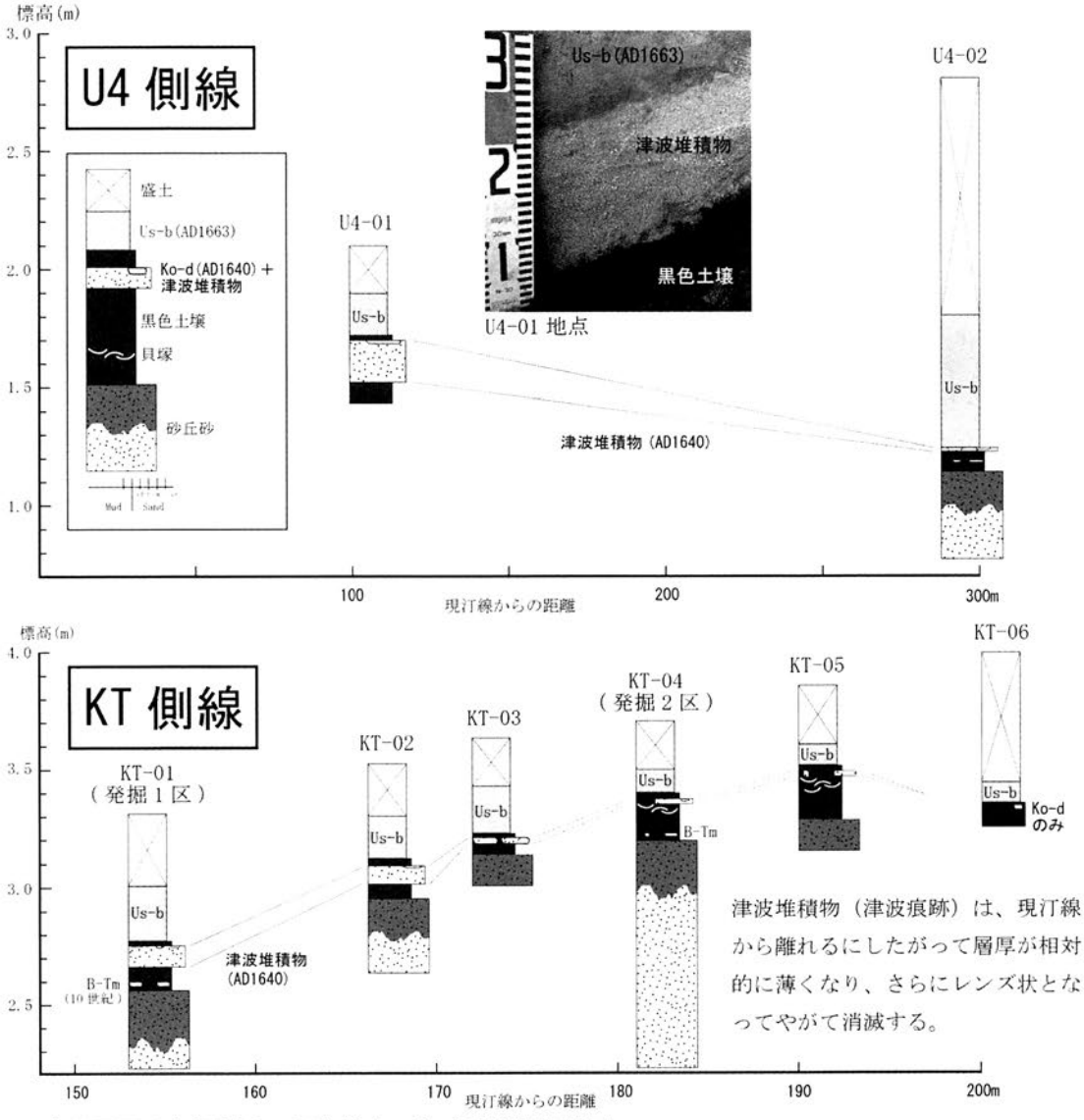


図３　有珠湾周辺における各遺跡の位置と調査側線



調査位置図と各側線上の調査地点における地質柱状図

大プレア・カーンに続く王道沿いのクメール寺院の建造年代と石材供給地 － 帯磁率に基づく考察

Consideration of the construction period of the Khmer temples along the royal road to Preah Khan of Kompong Svay and the provenance of sandstone blocks based on their magnetic susceptibility.

○内田悦生(早稲田大学)・下田一太(筑波大学)・下田麻里子(早稲田大学)
○Etsuo Uchida (Waseda Univ.), Ichita Shimoda (Tsukuba Univ.), Mariko Shimoda (Waseda Univ.)

1．はじめに

アンコール地域を起点とした 4 本の王道の内、東に向かう王道はベン・メリアにて分岐し、一つは東に向かい大プレア・カーン(コンポン・スヴァイのプレア・カーン)に続き、もう一つは北東に向きを変え、コー・ケルを経て、ワット・プーへと続く。大プレア・カーンに続く王道沿いには、他の王道とは異なり、砂岩造の宿駅寺院(Temple d'étape)および宿駅(Gîtes d'étape)がおよそ 15km 間隔で設置されている。本研究では、砂岩材の特徴と帯磁率を基に、王道沿いに位置するこれら宿駅寺院および宿駅の建造年代を推定するとともに、石材の供給源に関して考察を行なう。

2．大プレア・カーンおよびベン・メリアに関する従来の研究成果

大プレア・カーンは、アンコール遺跡の東およそ 100km のところに位置する。11 世紀前半のスールヤヴァルマン 1 世の時代に建造が開始され、その後、スールヤヴァルマン2世(12 世紀前半)およびジャヤヴァルマン7世(12 世紀末～13 世紀前半)によって拡張・増築が行なわれたと考えられている。

大プレア・カーンで使用されている砂岩材はその特徴に基づき 2 つに分けられる。一つは、中心部で使用されているものであり、正方形の断面、水平層理、整層積み、高い加工精度、高い帯磁率(1.4～2.0×10^{-3} SI unit)を示し、バプーオン期からアンコール・ワット期への過渡期の特徴を有している。もう一つは、長方形の断面、水平層理、乱積み、低い加工精度、低い帯磁率(0.3～0.6×10^{-3} SI unit)を示し、バイヨン期主要期以降の特徴を有している。前者は、アンコール遺跡のバプーオン期からアンコール・ワット期の砂岩と同じ帯磁率を示すことから、クレン山から供給されたと考えられる。後者はアンコール遺跡のバイヨン期主要期以降の砂岩とは異なる帯磁率を示すことから大プレア・カーン周辺地域から供給された可能性が高い。

ベン・メリアは、アンコール遺跡の東およそ 40km のところに位置し、アンコール・ワット期の建造である。ベン・メリアの砂岩材は、長方形の断面、水平層理、整層積み、高い加工精度を示し、石材の特徴からはアンコール・ワット期からバイヨン期初期の建造が推測される。しかしながら、その帯磁率は場所により異なり、1.8～4.4×10^{-3} SI unit の大きな幅をもつことから、アンコール・ワット期初期の建造であり、近くのクレン山から供給されたと考えられる。

3．宿駅寺院

宿駅寺院は、中央祠堂、マンダパ(拝殿)、南北経蔵およびゴープラを有する周壁よりなる。規模はやや異なるが、アンコール遺跡のチャウ・サイ・テヴォダやトマノンと同様な伽藍配置を有している。アンコール地区から大プレア・カーンの間には、6つの宿駅寺院があり、西側からバンテアイ・アンピル、チュレイ、トープ・チェイ、プラム、スフェップ・トゥボン、トラペアン・チャンボックの順にほぼ 15km 間隔で配置されている。

宿駅寺院では、砂岩材とともにラテライト材が使用され、石材は長方形の断面、水平層理、整層積み、高い加工精度を示している。砂岩の平均帯磁率は、バンテアイ・アンピル:2.84、チュレイ:3.04、トープ・チェイ:3.02、プラム:3.70、スフェップ・トゥボン:4.49×10^{-3} SI unit となっており、これらの宿駅寺院の石材の特徴を合わせるとアンコール・ワット期初期の建造であると推測される。このことは、これらの寺院の石材がクレン山から供給されたことを示すとともに、宿駅寺院が西側から東側に向かって建造されたことを

示している。それに対し、大プレア・カーンに最も近いトラペアン・チャンボックの砂岩材の帯磁率は低く（0.39×10^{-3} SI unit）、大プレア・カーンの帯磁率の低い石材と同様な値を示している。このことは、トラペアン・チャンボックの砂岩材は、他の宿駅寺院とは異なり、クレン山ではなく、大プレア・カーン周辺の石切り場から供給されたことを示している。

4．宿駅

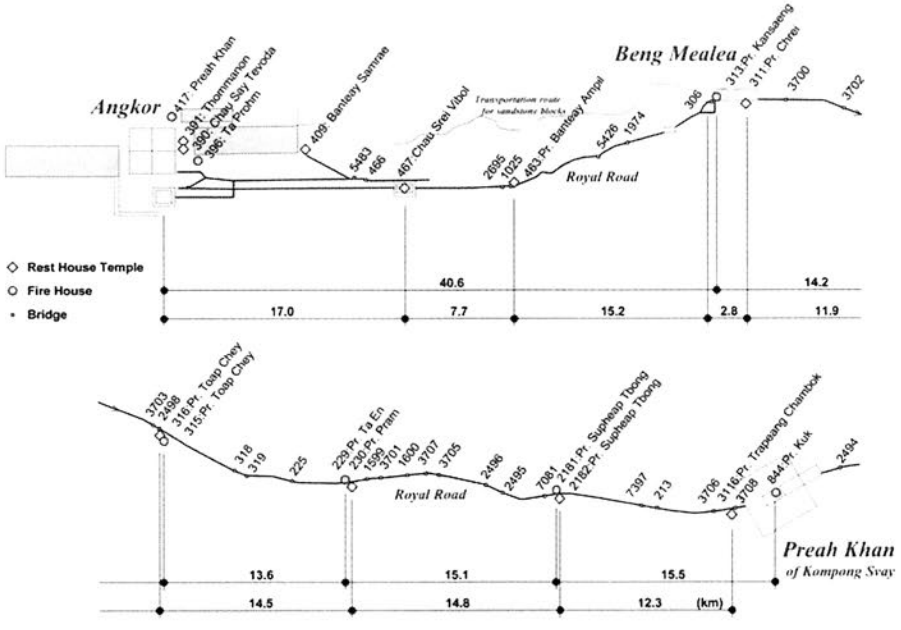
宿駅は、「灯明の家」あるいは「ダルマサーラ」とも呼ばれる。プリア・カーン碑文には王道沿いに 121 の宿駅が存在していたことが記されている。大プレア・カーンに続く王道沿いには 5 つの宿駅があり、西側からカンセン、トープ・チェイ、タ・エン、スフェップ・トゥボン、クック（大プレア・カーン内）がおよそ 15km 間隔で配置されている。いずれも砂岩造であり、4～5m×14～15m 程の大きさからなる建物 1 棟から構成される。

使用されている砂岩材は、長方形の断面、水平層理、乱積み、低い加工精度を示している。アンコール地区側に位置するカンセン、トープ・チェイ、タ・エンの帯磁率は高く、それぞれ 2.71、3.03、2.66×10^{-3} SI unit の値を示している。石材の特徴を合わせるとバイヨン期後期以降の建造であり、クレン山から石材が供給されたと推定される。これに対し、大プレア・カーン側のスフェップ・トゥボンおよびクックの帯磁率は低く（0.36、0.40×10^{-3} SI unit）、大プレア・カーンの低い帯磁率を示す石材と同様な値であり、この 2 つの宿駅の砂岩材は、大プレア・カーン周辺の石切り場から供給されたことが推定される。

アンコール地区のタ・プロームとプレア・カーンには、砂岩造の宿駅が存在し、石材は上記宿駅と同様な特徴を有している。しかしながら、その帯磁率は、それぞれ 1.12 と 0.92×10^{-3} SI unit と低くなっている。これらの石材がクレン山から供給されたとするならば、アンコール地区の宿駅の建造時期はバイヨン期主要期と推定され、王道沿いの宿駅よりも早い時期に建造されたことが推定される。

5．石材供給地に関するまとめ

大プレア・カーンに続く王道はバプーオン期からアンコール・ワット期への過渡期にはすでに整備されていた。この時期には、砂岩材はクレン山から大プレア・カーンまで運搬されていた。アンコール・ワット期初期では、スフェップ・トゥボンまでクレン山から砂岩材が供給されたが、大プレア・カーン近くのトラペアン・チャンボックには、大プレア・カーン周辺の石切り場から砂岩材が供給された。バイヨン期では、ベン・メリアと大プレア・カーンの中間にあるタ・エンまではクレン山から砂岩材が供給されたが、それより東にあるスフェップ・トゥボンまでは大プレア・カーン周辺の石切り場から砂岩材が供給されたことが明らかになった。



図の説明：アンコール地区から大プレア・カーンに続く王道沿いの寺院。（上）アンコール地区からベン・メリア、（下）ベン・メリアから大プレア・カーン。

文化財の劣化に関連する真菌が膠の分解に伴って分泌する酵素の同定

-膠と *Aspergillus parasiticus* -

Identification of enzymes secreted by fungi allegedly responsible for deterioration of cultural properties-Animal glue and *Aspergillus parasiticus* -

○木原山 奈々（奈良女子大学大学院生物科学専攻）、河原 一樹（奈良女子大学古代学学術研究センター）、
中沢 隆（奈良女子大学研究院自然科学系）、鈴木 孝仁（奈良女子大学古代学学術研究センター）
○Nana Kiharayama, Kazuki Kawahara, Takashi Nakazawa, Takahito Suzuki(Nara Women's University)

1. はじめに

膠は動物の骨、皮革から作られる接着剤であり、その使用例は少なくとも古代エジプトまで遡る。日本では『日本書紀』推古天皇十八（六一〇）年三月条に「高麗王貢上僧曇徴・法定。曇徴知五経。且能作彩色及紙墨。」とあり、これが「膠（墨膠）」の利用に関する文献上の初見とされている。膠は、現在でも美術工芸品や文化財の修復に広く使用されているが、おそらく、その主要成分のコラーゲンを栄養源とする真菌(以下、カビ)やバクテリア等の微生物による分解が文化財保存の大きな課題となっている。カビが膠を栄養源として利用する際には、コラーゲンのペプチド結合を分解する酵素（プロテアーゼ）を分泌する必要があるため、分泌された酵素を特定することで、カビの増殖を防ぐ方策が得られると期待できる。そこで、本研究では実際に市販の膠製品に集落を形成したカビ *Aspergillus parasiticus* を単離し、ゼラチンの形でコラーゲンを含む液体培地で培養することで得られる分泌タンパク質を、電気泳動法とナノ液体クロマトグラフィー／エレクトロスプレーイオン化質量分析（ナノ LC-ESI-MS）を組み合わせることで特定を試みた。

2. 試料および実験方法

実験試料：菌株は2010年に三千本膠から分離し、形態観察およびDNAシークエンス解析により同定し保存していた *Aspergillus parasiticus* を使用した。

試料調製：*Aspergillus parasiticus* の胞子を0.005% ドデシル硫酸ナトリウム（SDS）溶液に懸濁し、超音波装置にて分生子を分散させ、4.2×10^6個/mL の胞子懸濁液を調製した。50 mL の改変ツァペック液体培地（組成1 Lあたり ：クエン酸ナトリウム0.5 g、硝酸ナトリウム3.0 g、燐酸水素二カリウム1.0 g、硫酸マグネシウム七水和物0.5 g、塩化カリウム0.5 g、硫酸鉄（II）七水和物0.01 g、グルコース30 g）に胞子懸濁液を500 μL 加え、28℃で14日間振とう培養を行った。また、上記と同じ組成の培地に1%のゼラチンを加えた液体培地でも同様の操作を行った。培養後、0.45 μm のフィルター（MILLIPORE 社）でろ過し、70% 硫酸アンモニウムを混合させ沈殿を行い、遠心分離で沈殿を回収した。沈殿に25 mM Tris-HCl 緩衝液（pH 8.0）を加え、10 mM Tris-HCl 緩衝液（pH 8.0）中で一晩透析を行った。

ゲル電気泳動：各試料溶液に含まれるタンパク質は、SDS-PAGE（ポリアクリルアミド電気泳動）法により分離した。分離後のゲルからクマシーブリリアントブルー溶液を用いて染色されたタンパク質を含む各部位を切り出し、1.5 mL チューブ内で10 mM ジチオトレイトール溶液を100 μL 加えて還元処理をした後、100 μL の1% ヨードアセトアミド溶液を加え、遊離したシステイン残基のチオール基をアルキル化し、37℃で18時間トリプシン消化した。消化後、50% アセトニトリル溶液でゲル内からペプチドを抽出し、凍結乾燥機で濃縮を行った。

ナノ LC-ESI-MS: トリプシン消化後の各試料溶液に、0.1% トリフルオロ酢酸（TFA）溶液を 30 μL 加え、Ziptip-C_{18} (MILLIPORE 社)チップ型カラムに吸着させ、50% アセトニトリルで溶出した後、凍結乾燥機で濃縮し、0.1% TFA を 20 μl 加え酸性にした溶液を分析に供した。ナノ LC-ESI-MS は、高耐圧ナノ LC システム（ADVANCE UHPLC、AMR 株式会社）から溶出される各成分をエレクトロスプレーイオン化法によりイオン化させ、リニアイオントラップ型質量分析計（LTQ XL、サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社）で分析した。得られた質量スペクトル及び MS/MS スペクトルを用いたタンパク質の同定は、ソフトウェア SEQUEST（サーモフィッシャー株式会社）を使用し、アミノ酸配列データベース（SwissProt）を用いて実施した。

3. 結果と考察

Aspergillus parasiticus の胞子を、ゼラチンの存在／非存在下（gelatin(＋)(－)と表記）で 14 日間液体培養することにより分泌されたタンパク質の SDS-PAGE 分析の結果を図 1 に示す。本実験では、アクリルアミドゲル中で、明確なバンドがみられる部位（図中で矢印で示す a～e の領域）を選択的に切り出し、ナノ LC-ESI-MS により各ゲル片の中に含まれるタンパク質の同定を実施した。表 1 には、データベース検索の結果を掲げる。glucoamylase、α-amylase、alkaline protease はゼラチンの有無に関係なく検出されていることから恒常的に分泌されている酵素であることが示唆された。gelatin(＋)の場合にはさらに c、d のバンドに extracellular metalloproteinase NpI が混在して検出された。このプロテアーゼは、neutral protease (Np) とよばれており、ヒトの皮膚において、同様のプロテアーゼがコラーゲンの分解物であるゼラチンを特異的に分解する報告例もあるため、*Aspergillus parasiticus* がゼラチン存在下で、新たにこの分解酵素を誘導した可能性が示唆された。

表 1

	gelatin(－)	gelatin(＋)
a	glucoamylase(*Aspergillus oryzae)*	glucoamylase(*Aspergillus oryzae*)
b	glucoamylase(*Aspergillus oryzae*)	glucoamylase(*Aspergillus oryzae*)
c	α-amylase(*Aspergillus oryzae*)	α-amylase(*Aspergillus oryzae*) extracellular metalloproteinase NpI (*Aspergillus oryzae*)
d	α-amylase(*Aspergillus oryzae*)	α-amylase(*Aspergillus oryzae*) extracellular metalloproteinase NpI (*Aspergillus oryzae*)
e	alkaline protease(*Aspergillus flavus*)	alkaline protease(*Aspergillus flavus*)

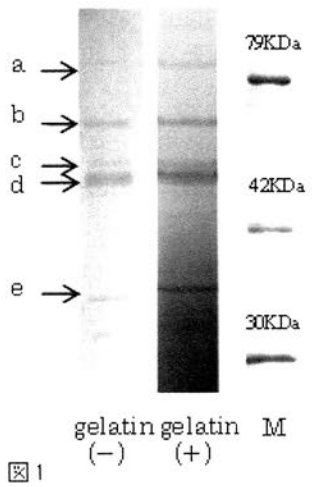


図 1

4. 今後の課題

現段階（2013 年 3 月）で、既存のアミノ酸配列データベースへの *Aspergillus parasiticus* 由来のタンパク質登録数は非常に少なく、近縁種である *Aspergillus oryzae* 、*Aspergillus flavus* と相同的なタンパク質が検索結果としてあがってきた。今後はそれらの個々のタンパク質の機能・特性の研究を進めていくことにより、膠の分解に関わるタンパク質を同定する予定である。

参考文献

宮水晶,宮路淳子,鈴木孝仁膠に生育する真菌に関する研究. 古代学 4,(2012).

P. Charles,et al., Purification, characterization and crystallization of an extracellular alkaline protease from *Aspergillus nidulans* HA-10. *J. Basic Microbiol.* **48**, 347–352 (2008).

Jo Louise Seltzer,et al., Purification and properties of a gelatin-specific neutral protease from human Skin. *J. Biol.Chem.* **256**, 4662-4668 (1981).

発掘出土品に使用される接着剤の比較と改善

The comparison and the improvement of adhesives which are used for archaeological artifacts

岩月真由子（岩月保存修復研究所）○西村誠治（ナカシャクリエイテブ株式会社）赤塚次郎（愛知県埋蔵文化財センター）

Mayuko Iwatsuki(Iwatsuki laboratory of preservation and restoration)、○Seiji Nishimura(Nakasha Creative Co., Ltd)、Jirou Akatsuka(Aichi prefectural archaeological research centre)

1. はじめに

発掘出土品には、土器を代表として、石器や木器、金属器など多種多様な素材がある。これらの接着には、作業性や入手のしやすさなどから工作用接着剤（セメダインC等）などの有機溶剤を離脱剤として用いる接着剤が一般的に使用されている。また、木工用接着剤や、作業効率の面から瞬間接着剤（アロンアルファ等）を用いる場合もある。専門的に修復を行っている工房や研究所は別として、自治体や、発掘整理作業を請け負う業者では、各所で従来より用いられてきたこれらの接着剤を用いることが普通で、作業者の力量以上に接着剤の特性が仕上がりを大きく左右している。

工作用接着剤などの今まで用いられてきた接着剤は、それぞれに特性と作業性、あるいは接着後の状態に違いがあり、これらの認識が不足した状態で使用すると、出土品に対して、不可逆なシミや欠損を残すことになる。また、作業者に対しても不適切な環境での作業を強いることになる。本発表では、旧来の発掘出土品に用いられてきた接着剤を比較検討したうえで、我々が新たに用いてきたポタグルーについての事例紹介と、愛知県埋蔵文化財センターにて行ったワークショップの報告を行う。

2. ポタグルーについて

ポタグルーは（有）うえだ社製の「アートグルー」を土器用に改良したものである。アートグルーは粉体顔料用の絵画用メディウムとして開発販売されているもので、アクリル共重合体を主成分とする、樹脂性の、いわゆる「ニカワ」である。アートグルーは少し粘りのある液体状で、硬化後の離脱には水を使用し、使用時の匂いもほとんどなく、有機溶剤を使用していない事から使用者に対して負担が少なく、安全性も高いといえる。また、増粘剤を加えることで、粘性の調節が可能である。

ポタグルーはアートグルーの特性のひとつである粒子の結合力に優れるという点に着目し、(有) うえだ社の協力のもとアートグルーを土器用に再調合したものである。また、ポタグルーの他に、より接着力と粘性を強化したポタジェルの開発も行っており、発掘出土品の状態に合わせて、現在使用を行っている。ポタグルーの使用範囲は現状土器を中心としているが、石器にも使用可能であり、汎用性の高い接着剤といえる。

3. 接着剤の比較

表1に接着剤の各項目での比較を示す。また、写真1～3にポタグルーの接合使用事例をあげる。使用事例にあげた通り、土器の接合だけでなく、石器についても接着が可能である。

表 1. 接着剤の比較

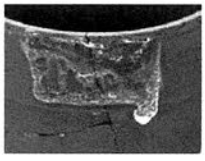
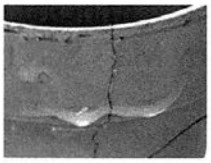
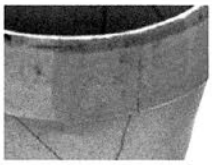
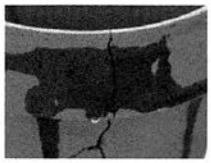
接着剤種類	工作用接着剤	木工用接着剤	ポタグルー	瞬間接着剤
使用状況 (市販陶器にテスト使用、および表面に試験塗布)				
主成分	ニトロセルロース ポリ酢酸ビニル樹脂 アセトン 他	酢酸ビニルポリマー 水 他	アクリル共重合体 ヒドロキシエチルセルロース アンモニア 他	シアノアクリル酸エチル 他
臭い	★★★★	★★★	★	★★★★
溶解剤	アセトン	水	水	専用溶解剤等
固定時間	3〜4 時間	1〜2 時間	12 時間静置	約 3 秒
温度条件	寒冷時でも硬化	20℃	20℃	寒冷時でも硬化
換気	必要	必要	不要	必要
その他	発泡したように硬化する。 溶解後シミになりやすい。	硬化後弾力がある。	浸透性が高いがシミになりにくい。 膜状に硬化し、弾力がある。	浸透性が高く、シミが残りやすい。 素材によっては接着できない。

写真 1. 土器使用例

写真 2. 黒曜石使用例

写真 3. サヌカイト使用例

4. 今後の展開

2013 年 1 月 23 日〜24 日の二日間、愛知県埋蔵文化財センターにおいて、ポタグルーのワークショップを行った。ワークショップでは使用事例の紹介を行ったあと、市販の植木鉢を体験的にポタグルーで接着して使用感をつかんで頂き、実際に愛知県埋蔵文化財センター所蔵の発掘出土品について、接合体験を行って頂いた。

愛知県埋蔵文化財センターでは、従来セメダインCを用いて接合を行っている。セメダインCと比較したポタグルーの使用感について、はみ出しの処理が容易であるなどの好意的な意見が聞かれる半面、硬化に時間がかかるなどの意見をもあった。硬化時間については、ドライヤー等を使用することで解決可能であるが、電気容量の十分でない環境で接合を行う場合をふまえて、ポタグルー自体の硬化時間を再検討していく必要がある。

纒向遺跡出土の巾着形布製品の質量分析

Identification of Silk Proteins Excavated from the Ruin of the Makimuku Site in 3-4 AD Japan by Mass Spectrometry

○河原一樹（奈良女子大学）、六車美保（同左）、橋本輝彦（桜井市纒向学研究センター）、寺澤薫（同左）、宮路淳子（奈良女子大学）、中澤隆（同左）

○Kazuki Kawahara, Miho Muguruma (Nara Women's University), Teruhiko Hashimoto, Kaoru Terasawa (Research Center for Makimukugaku)、Atsuko Miyaji, Takashi Nakazawa (Nara Women's University)

1．はじめに

奈良県桜井市の北西に位置する纒向遺跡は、弥生時代末期から古墳時代にわたる都市的規模を持つ集落遺跡と考えられており、多数の遺構や遺物の調査が継続的に実施されてきた[1]。しかし、有機質の出土遺物については、経年劣化による分解や出土環境由来の汚染、そして適した科学分析法の欠如などの理由から、材質などの詳細が特定できていないものも少なくない。

本研究では、纒向遺跡第65次尾崎花出土の巾着形布製品（図1）を対象とし、その原料として用いられた繊維の材質の特定を試みた。本布製品は、走査型電子顕微鏡を利用した繊維断面観察の結果から、繊維原料として絹糸の可能性が示唆されたものであるが、布製品全体に顕著な汚染と腐朽による全体的な欠落と変形があり、植物性繊維などの他の繊維原料の可能性を否定できていなかった。本研究では、極微量のタンパク質の同定・分析が可能な手法であるナノ液体クロマトグラフィー／エレクトロスプレーイオン化質量分析（ナノ LC-ESI-MS）を採用し[2]、特に絹糸の主要タンパク質であるフィブロインの同定に焦点を当て、分析を実施した。

2．実験方法

2－1．試料：本実験では、纒向遺跡65次尾崎花出土の巾着形布製品（図1）上部から極微量片（1.87 mg）を採取し分析試料とした。

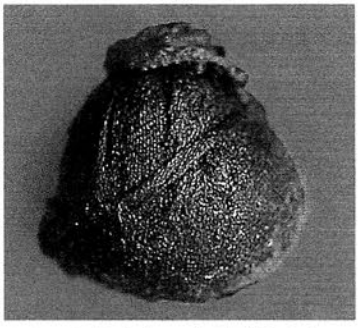


図1．纒向遺跡65次尾崎花出土の巾着形布製品

2－2．抽出：採取した試料を10 mLの0.5%炭酸ナトリウム水溶液中に入れ、液量が2 mL程度になるまで煮沸し、フィブロインの周囲を覆うセリシンを溶解させた。フィブロインが含まれると想定される不溶成分は、銅エチレンジアミン溶液に溶解させ、遠心後の上澄みをフィブロイン溶液とした。得られた溶液は、脱塩・濃縮キット（Amicon Ultra、ミリポア株式会社）を使用し、液量を約30 μLまで減らした。

2－3．酵素消化：濃縮後のフィブロイン溶液に、5 μLのキモトリプシン溶液（0.2 μg/μL）を加え、37℃で2時間酵素消化した。酵素消化後の溶液に適量の0.1% トリフルオロ酢酸を加え、酸性（pH < 4.0）にした後、チップ型C18樹脂充填カラム（Ziptip C18、ミリポア株式会社）で脱塩・濃縮を行い、最終的な液量を7 μL とし、質量分析に供した。

2－4．質量分析：ナノ LC-ESI-MSは、高耐圧ナノ LC システム（ADVANCE UHPLC、AMR株式会社）を、リニアイオントラップ型質量分析計（LTQ XL、サーモフィッシャーサイエンティフィック株式会社）に接続した構成の装置で実施した。ナノ LCは、分析カラムにZaplous alpha Pep C18（AMR株式会社）を使用し、500 nL/min の流速で0.1% ギ酸:100% アセトニトリルの比率を100:0 から50:50 に40分間かけ

て段階的に変化させる溶出方法を用い、分離後の溶出成分をエレクトロスプレーイオン化法により質量分析した。アミノ酸配列データベースに基づくタンパク質の同定には、プログラム SEQUEST（サーモフィッシャー株式会社）を利用した。

3．結果と考察

図2（A）に、布製品の小片を銅エチレンジアミン溶液に溶解させた後、キモトリプシン消化した分解物のナノ LC-ESI-MS の結果を示す。このクロマトグラムは、ナノ分析カラムから各時間に溶出される成分の質量スペクトル中で最も強いピークの強度を順次プロットしたものである。今回の分析では、3753 本のピークについて質量スペクトルとそれに付随する MS/MS スペクトルを測定した。得られたスペクトルをデータベース検索プログラム SEQUEST で解析した結果、大部分のピークは、ヒト・サイトケラチンなどの混入物に由来することが明らかになった。一方で、7 分 52 秒と 15 分 2 秒に溶出した極めて強度の弱いピークの質量スペクトルから、それぞれ絹タンパク質フィブロインの分解物に由来するペプチドのピークが *m/z* 634.2 および *m/z* 711.6 に検出できた。図2（B）に、溶出時間が 15 分 3 秒の時点で測定された *m/z* 711.5 のピークの MS/MS スペクトルを示す。観測された各フラグメントピークの解析によって *m/z* 711.5 のピークに由来するペプチド断片のアミノ酸配列を GWGDGGY（アミノ酸は一文字略号で示す。以下同様）と推定することができた。同様に、*m/z* 634.2 のピークは、DYSSY であると推定した。

今回、ナノ LC-ESI-MS の結果明らかになった二種類の配列を、2013 年 1 月時点でデータベースに登録されている全生物種のタンパク質のアミノ酸配列と照合したところ、これらの二種類の配列を同時に含むタンパク質は、天蚕（*A. yamamai*）由来のフィブロイン以外に存在しないことが判明した。家蚕（*B. mori*）には、同様の配列は存在せず、柞蚕（*A. pernyi*）は、相当するフィブロインのアミノ酸配列中に GWGDGGY と一致する配列を有するものの、DYSSY に相当する配列は存在しなかった。

これらの結果は、纒向遺跡から出土した巾着形布製品が、現在一般的に利用されている家蚕の繭を原料とするのではなく、天蚕の繭から取り出した絹糸を用いて製造されていることを強く示唆する。

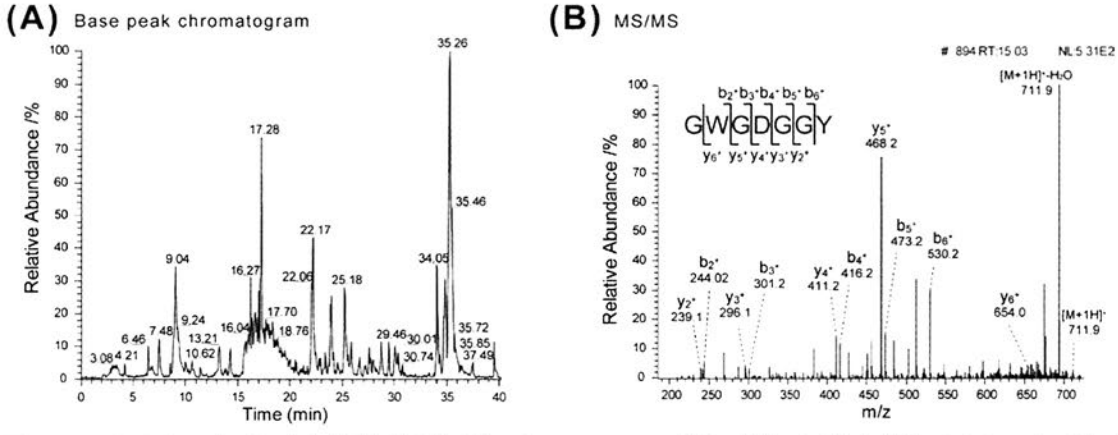


図2．キモトリプシン処理した巾着形布製品抽出物のナノ LC-ESI-MS 分析の結果。（A）溶出時間 0 分から 40 分の間で描かれたベースピーククロマトグラム、（B）溶出時間が 15 分 3 秒において検出された *m/z* 711 のピークの MS/MS スペクトル

参考文献

1）寺沢薫「纒向遺跡と初期ヤマト政権」『大和・纒向遺跡』学生社 2005, p. 108 – 109.

2）Kawahara K., Yamada, M., Okada, F., Muguruma, M., Matsuo, Y., Miyaji, A., Kobayashi, Y., and Nakazawa, T. (2012) "Identification of archaeological silk proteins by MALDI and ESI mass spectrometry" *Proceedings of the 60th ASMS Conference on Mass Spectrometry and Allied Topics*, p. 563.

奈良女子大学所蔵夾紵棺断片にみる織物組織

Woven fabric structures observed in the"KYOCHO" coffin excavated from the KENGOSHI-ZUKA tomb owned by Nara Women's University

○六車美保(奈良女子大学)、東村純子（福井大学)、宮路淳子（奈良女子大学)
○Miho Muguruma[1], Junko Higashimura[2], Atsuko Miyaji[1]
1.Nara Women's University　2.Fukui University

1. はじめに

奈良県明日香村に所在する牽牛子塚古墳(６世紀末～７世紀初頭)出土の夾紵棺は、先行研究により麻布と漆を交互に三十五枚ほど貼り重ね、表面の仕上げ布地に絹を使用している部分があると報告されている。牽牛子塚古墳出土の夾紵棺は多くの先行研究があり、夾紵の技法や使用された絹糸の蚕種などが明らかになっている（註１)。今回の報告では奈良女子大学が所蔵する夾紵棺に使用された絹布を観察し、それぞれの組織の特徴について報告する。

2. 奈良女子大学所蔵牽牛子塚古墳出土夾紵棺について

奈良女子大学には五片一組で紙製の板に糸でくくりつけられた、牽牛子塚古墳出土の夾紵棺断片が伝わる。所蔵品となった詳細は不明であるが、板には「水木教授御寄贈」と書かれたシールが貼られており、奈良女子高等師範学校教授であった水木要太郎が関係していると思われる(註2)。

所蔵品はすべて小片であり、夾紵棺の形を推定できるまでには至らないが、布地が露出しており、織物組織を観察することが可能である。

3. 観察結果と考察

奈良女子大学所蔵夾紵棺の断片には2種類の違う織布が見られる。

露出している部分のほとんどは麻布と考えられる(写真③、④)。経糸と緯糸が１本ずつ交差しており、織り密度は平均して14×9本／cm である。経・緯糸にはS字方向の撚りがかかっている。観察できた範囲では、経糸密度が高い経地合や経糸・緯糸とも密度が均一な平地合など、異なる特徴をもつ布が確認できる。

最表層部分に使用されている絹は(註3)、経糸・緯糸ともに無撚りで、夾紵棺の織り密度の平均は34～37本／cm である(写真①、②)。

麻については、先行研究にあげられた7～14本の範疇に収まる織り密度をもつ。麻の経糸は織成時の摩擦に耐える為に全体的に強い撚りが掛けられていることから(註4)、布の経方向が分かるものがあった。
絹は、比較材料として安福寺の夾紵棺をあげることができる。安福寺の夾紵棺は織り密度が経糸・緯糸とも30～35本であると報告されていることから(註5)、安福寺と牽牛子塚古墳の夾紵棺に用いられた絹はほぼ同じ技術で織られた布であるといえる。

4. おわりに

使用された麻布34枚の中には、織り密度や撚りが異なっているものもあるという(註6)。これらのことから、使われた層がどこであるのか、どのような箇所に用いられたか、などは絹の使用状況と合わせて今後の検討課題としたい。

参考文献

註1) 夾紵棺については、猪熊兼勝 1973「夾紵棺―玉手山安福寺蔵品に関して―」『論集　終末期古墳』塙書房、米田文孝 1977「牽牛子塚古墳出土夾紵棺の復原」『史跡牽牛子塚古墳―環境整備に伴なう事前調査報告―』明日香村教育委員会に報告されている。技法については、岡田文男 2011「奈良女子大学蔵牽牛子

塚古墳出土漆棺の塗膜分析」『平成 21 年度～平成 23 年度　異分野融合プロジェクト研究成果報告書』、蚕の種類については宮路淳子他 2011「質量分析による牽牛子塚古墳出土夾紵棺断片中の絹の確認」『日本文化財科学会第 28 回大会研究発表要旨集』p130-p131 があげられる。

註2) 六車美保 2012「奈良女子大学所蔵牽牛子塚古墳出土夾紵棺断片について」」『平成 21 年度～平成 23 年度　異分野融合プロジェクト研究成果報告書』

註3) 前掲註 1　岡田文男 2012 論文

註4) 東村純子 2012「弥生・古墳時代における麻布の製作技術」『古代の繊維―古代繊織技術研究の最近の動向―』奈良文化財研究所 p40-p43

註5) 前掲註 1　猪熊兼勝 1974 論文

註6) 大賀一郎 1959「越大野墳墓中にあった乾漆棺壁を構成する麻布について」『古文化財之科学』16

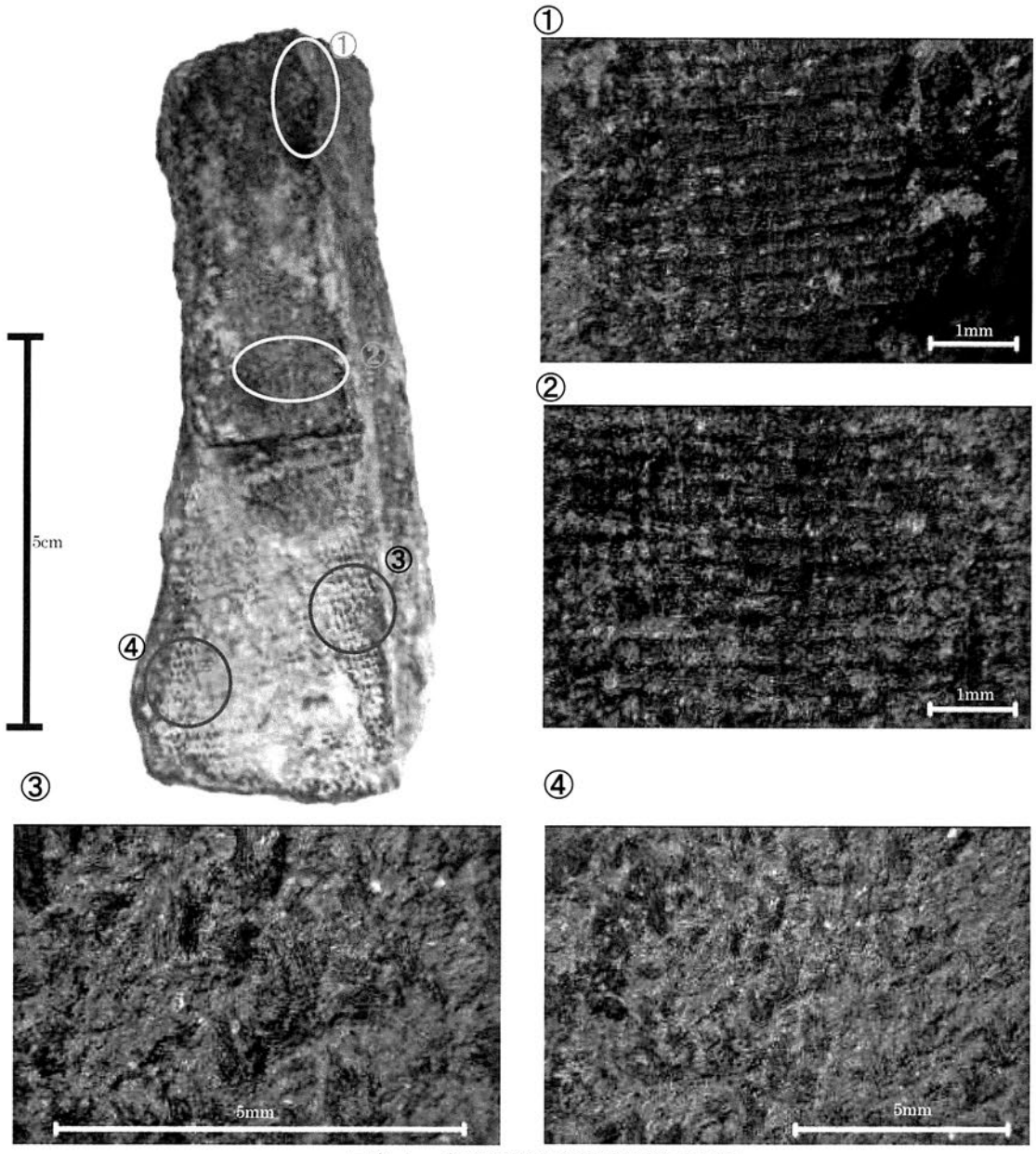


写真 1　奈良女子大学所蔵夾紵棺断片

層状表面分解法による九州装飾古墳の壁画画像解析

Image Analysis Using Layered Surface Decomposition for Wall Painting of Decorated tumuli in Kyushu Area

○森本哲郎（凸版印刷株式会社）、猪瀬健二（東京大学大学院情報学環）、
小林由枝（東京大学大学院情報理工学研究科）、影澤 政隆（東京大学生産技術研究所）、
朽津信明（東京文化財研究所）、池内克史（東京大学大学院情報学環）

○Tetsuro Morimoto (Toppan Printing Co.,Ltd), Kenji Inose (The University of Tokyo),
Yoshie Kobayashi (The University of Tokyo), Masataka Kagesawa (The University of Tokyo),
Nobuaki Kuchitsu (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Katsushi Ikeuchi (The University of Tokyo)

1. はじめに

東京大学池内研、東文研朽津、凸版印刷は2005年から九州地区の装飾古墳を対象として壁画の解析を行ってきた。これら多くの壁画は風化によって顔料がうすくなることにより、文様の視認性が悪くなっている。本研究では撮影された1枚のカラー画像から我々の考案した層状表面分解法を用いることで、壁画の顔料による表面層画像、岩による下層画像、顔料の光吸収画像に分解することに成功し、任意の表面層の厚さの見えをシミュレートすることで壁画の仮想的な復元が実現した。本発表では、これまで計測してきた複数の装飾古墳壁画画像に適応し、鮮やかな文様が再現された結果を示す。

2. 九州装飾古墳計測プロジェクト

本調査チームは２００５年から王塚古墳、弁慶ヶ穴古墳、日岡古墳、千金甲古墳、乗場古墳、桜京古墳、田代太田古墳、珍敷塚古墳、弘化谷古墳の９つの九州装飾古墳を三次元計測および色彩計測を行ってきた。図１は計測したデータから得られたＣＧ映像である。これらの調査では石室の保存状態に十分配慮するため、計測時には石室内の温度、湿度、人の入室時間などを管理し、壁画の保存環境に細心の注意を払って計測を行った。また、これらのデータは壁画解析への活用[1]や九州国立博物館におけるＣＧ映像として公開されている。

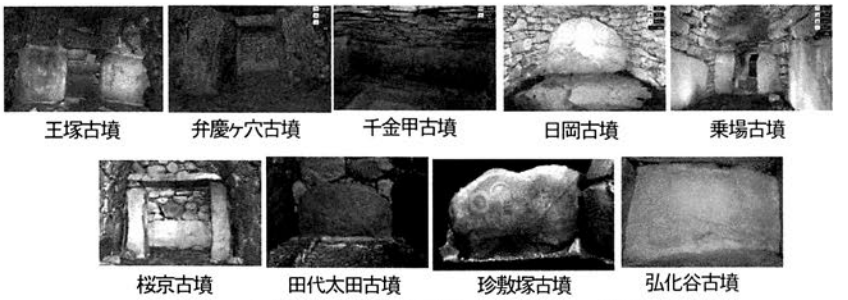


図1. 九州装飾古墳の計測データによるCG映像

3. 層状表面分解法

自然界における多くの物体表面は異なる物理特性を持つ層により構成されており、これらの物体表面は層状表面として知

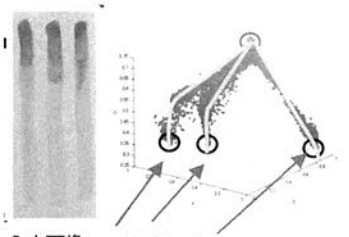


図2. スパイダーモデル

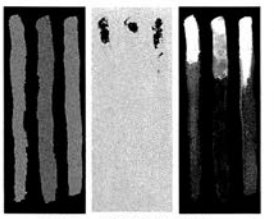


図3. 分解結果画像
[左]表面層 [中]下層
[右]表面層の光吸収

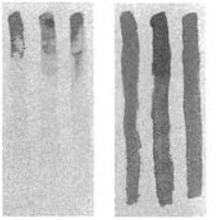


図4. シミュレーション

られている。古墳壁画表面も顔料による表面層と岩などによる下層により構成された層状表面であるといえる。壁画の表面層は風化によって薄くなり、岩石による下層と混ざり合って視認性が悪くなっている。なぜなら、表面の色は下層の色と顔料の光学特性の組み合わせに従って、段階的に変化するからである。我々は表面層と下層の二層により構成された層状表面の物理モデルとして図１のようなスパイダーモデルとこれを用いた層状表面分解法（図３）を提案した[2]。これにより、劣化前の文様パターンや各画素にどのくらいの顔料が残っているかを推定することができ、分離した画像を用いて図４のように復元シミュレーションを行うことができる。

4. 装飾古墳壁画の層状表面分解

装飾古墳壁画は長い年月における風化の影響で顔料層が薄くなり下層色の影響が増すことで、文様を確認しにくくなっているものが多く存在する。図５は弁慶ヶ穴古墳壁画に層状表面分解法を行った結果である。図５(b)の顔料画像からは文様がうまく分解できていることがわかる。ここで、図５（a）の入力画像では下の舟に乗った馬を視認することは難しい、しかしながら、分解された結果(図５（b）)からは馬の文様もはっきりと抽出されていることがわかる。図５（e）は復元を試みた画像であり、自然な絵柄が復元できている。ただし、ここで言う「復元」は、顔料層が存在しない箇所に顔料を補ったり、変色や褪色した顔料の色彩を復元した図ではなく、薄くなった顔料領域を物理モデルに基づいて抽出し、強調した画像である。次に図６は珍敷塚古墳への適用結果である。顔料層が薄いために下層の影響が強く表れる現画像（図６(a)）では、右下に描かれているとされる蛙を視認することは難しいが、光吸収画像（図６(b)）ではそれをはっきり確認できる。

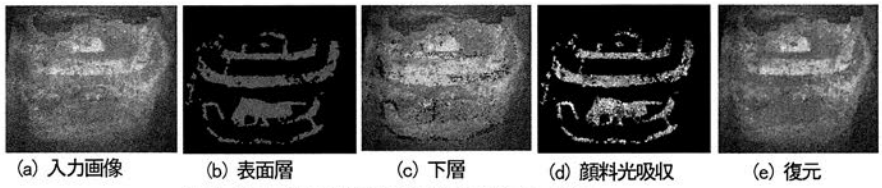


図5. 弁慶ヶ穴古墳壁画の層状表面分解･復元結果

図6. 珍敷塚古墳壁画の層状表面分解･光吸収画像

5. まとめ

本稿では我々の考案した層状表面分解法による古墳壁画の文様解析を試みた。結果からは壁画の文様を視認しやすくできることを確認し、有効性を示した。発表では他の古墳への適用結果についても紹介する。

6. 謝辞

本研究は、文部科学省「複合現実型デジタルミュージアムに関する研究」と日本学術振興会「最先端・次世代研究開発支援プログラム」の一環として行われた。

【引用文献】

1） 森本哲郎他「田代太田古墳における近赤外分光画像を用いた壁画解析」日本文化財科学会第 29 回大会研究要旨集

2） T. Morimoto, *et al.*, Estimating optical properties of layered surfaces using the spidermodel. in proceeding of IEEE CVPR, 2010.

東大寺・国宝法華堂本尊宝冠のガラスの科学調査

Archaeometric analysis of glass beads in the crown of the standing statue of Fukukensaku Kannon, Hokkedo, Todaiji, National Treasure

○中井 泉（東理大・理）、松﨑 真弓（同左）、澤村 大地（同左）、阿部 善也（同左）、井上 曉子（東海大）
○ Izumi Nakai, Mayumi Matsuzaki, Daichi Sawamura, Yoshinari Abe (Tokyo University of Science), Akiko Inoue (Tokai University)

1. はじめに

東大寺法華堂本尊不空羂索観音の宝冠は、ガラス玉を主体とした 1 万数千個もの宝玉類で装飾された、奈良時代のガラス工芸品の最高傑作とされる貴重な資料である。このたびの修理に伴い、東大寺ミュージアムに保管されているこの宝冠に対して、ポータブル蛍光 X 線分析装置とラマン分光分析装置を用いた化学分析および顕微鏡による高倍率観察を行う機会に恵まれた。2012 年 7 月 24 日から 26 日まで第 1 次分析調査を実施し、宝冠に用いられているガラスの特性化を行うことができ、多くの重要な知見が得られた。さらに、第 1 次調査では調査時間が限られていたため、十分な数の分析データが得られなかったことから、平成 25 年 1 月 17、18 日に第 2 次調査を実施した。第 2 次調査では、その起源について興味が持たれるアルカリガラスのガラス玉について特に着目し、蛍光 X 線分析による組成調査に重点を置いて実施した。調査では分析は東京理科大学中井研究室が担当し、ガラス工芸史の分野から井上曉子が調査を行った。

2. 調査と分析資料

分析には、東京理科大学理学部中井研究室が OURSTEX (株) と共同で開発したポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-IV、および片手で操作できるハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置 NITON（Thermo Scientific 製）を用いてガラス、宝玉、および金属の化学組成分析を行った。ハンドヘルド型装置はその場での迅速な半定量分析が可能であるため、今回の調査は主に資料が鉛ガラスであるか否かを調べるためのスクリーニングと、金属の簡易的な材質調査に用いた。ポータブル蛍光 X 線分析装置は主にガラスの化学組成分析に用い、アルカリガラスに関しては検量線法による定量化を行った。宝玉類の材質調査にはポータブルラマン分光分析装置 MiniRam（B&W TEK Inc.製）を用いた。本装置は特に結晶性物質の同定に適しており、光源として赤色レーザー（波長 785 nm）を備えている。今回の調査では測定ヘッド部分に顕微レンズを取り付け、微細領域（倍率 5～40 倍）の分析を行った。一方、高倍率のデジタル顕微鏡 VCR-800（(株) ハイロックス製）による、像観察も進めた。分析は全て非破壊非接触で行った。

3. 結果と考察

今回の調査で組成分析を行ったガラス資料は約 40 点である。これらのガラスは融剤として多量の鉛を含む鉛ケイ酸塩ガラス、および主成分として鉛を含まないアルカリガラスの 2 種類に大別された。このうち定量分析を行ったアルカリガラスは計 26 点で、その組成的特徴に基づいてさらにソーダ石灰ガラス、アルミナソーダ石灰ガラス、カリガラスの 3 種類に分類した。以下に組成タイプごとの結果を示す。

ケイ酸塩ガラス: 初めにハンドヘルド型装置を用いて鉛の有無を確認するための簡易分析を行い、そのうちの主なものについて、ポータブル蛍光 X 線分析装置による本測定を実施した。その結果、宝冠に用いられているガラスの多くは鉛ケイ酸塩ガラス（$PbO\text{-}SiO_2$ 系）であった。その色調は大きく分けて緑色、黄色、茶褐色、黒色、白色と多彩で、サイズも小玉～大玉と様々である。

ソーダ石灰ガラス: アルカリガラスのうち 10 点がソーダ石灰ガラスに分類された。色の内訳は紺色が 8 点、不透明青色が 2 点である。ほとんどの資料がカルシウムを 5～8%と多く含むが、2 点(紺色)に関してはカルシウムを 3%程度しか含まず、組成の特徴に違いが見られた。紺色の 2 点は微量重元素についても他とは異なる組成を示したため、2 種類の紺色ソーダ石灰ガラスが使用されていた可能性も考えられる。紺色ソーダ石灰ガラスの着色は微量に含まれるコバルトに由来し、一方で不透明青色は銅(および鉄)による着色であった。

アルミナソーダ石灰ガラス: 分析したアルミナソーダ石灰ガラスは計 8 点である。色の内訳は不透明青色が 6 点、透明緑色 1 点、不透明黄色 1 点であり、アルカリガラスの中では比較的多くの色調が認められた。不透明青色のアルミナソーダ石灰ガラスはいずれも銅(および鉄)による着色であり、同色のソーダ石灰ガラスと類似していた。1 点の透明緑色ガラスは銅をほとんど含まず、鉄による着色であった。不透明青色と比較すると緑味が強い。宝冠に使用されたガラスの中でこのような透明緑色を呈する資料はほとんど無く、微量重元素組成も他のアルミナソーダ石灰ガラスとは異なる傾向を示した。黄色ガラスは鉛を約 3%、スズを約 0.5%含有し、古墳時代に流通した黄色アルミナソーダ石灰ガラスに多く使用された黄色顔料:スズ酸鉛 $PbSnO_3$ による着色と考えられる。図 1 に示すように、黄色ガラス中の鉛とスズの含有量比から、宝冠に使用された黄色ガラスが、日本の古墳時代やカンボジアに見られる黄色アルミナソーダ石灰ガラスと同様の組成的特徴を持つことが明らかになった。

カリガラス: 分析を行ったカリガラスは計 8 点で、色調の内訳は紺色 5 点、透明青色 2 点、宝冠で唯一検出されたガラス製の不透明青色勾玉 1 点がカリガラスであった。紺色カリガラスはいずれもコバルト着色で、不純物としてのマンガンを 1%程度含み、日本の弥生～古墳時代に見られる紺色カリガラスと同様の組成的特徴を示した。一方透明青色カリガラスは着色剤としての銅を 0.5～1.5%含んでいた。この色は弥生時代に特に多く流通していたカリガラスとよく類似しており、着色剤に関しては、いずれの色調においても日本の弥生～古墳時代と同様の特徴が見られた。また不透明青色の勾玉も銅による着色であるが、光条の裏に位置しており通常の条件での測定が困難であったため、定量結果は参考値である。またガラス中の微量重元素(ストロンチウム、ジルコニウム)に着目した組成的特性化を行ったところ、特に青色ガラスについては、我々が現在までに分析したカリガラスとは異なる領域に分布するものがいくつか存在していることが明らかになった。

4. 結言

宝冠のガラス玉の多くを占めている鉛ケイ酸塩ガラス玉は、国産品であることが判明している正倉院の鉛ガラス玉と共通する材質、色、形の特徴を持っていたことから、奈良時代の国産ガラスと考えられた。一方、アルカリガラスにみられる 3 種の組成は、弥生時代や古墳時代を通じて多量に日本に輸入されていたガラス玉の組成と共通性があることがわかった。さらに、前時代を象徴する勾玉がカリガラスであったことも重要な知見である。複数のタイプのアルカリガラスが奈良時代に同時に国内で作られていたか輸入されていたことを示す積極的な証拠はないことから、おそらく前時代に入手されていた玉を利用した可能性が高いと推定している。一方、材質分析によって、硬玉、メノウ、琥珀、真珠、水晶製の玉類の利用についても科学的に初めて確認できた。

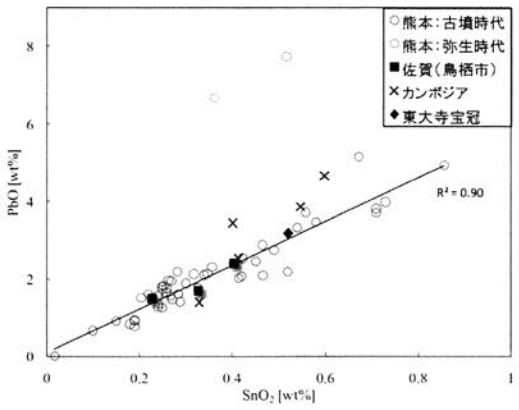


図 1 黄色系アルミナソーダ石灰ガラスにおける鉛ースズ含有量プロット

謝辞

貴重な資料の分析の機会をくださった東大寺執事長 狭川普文様、東大寺ミュージアム館長 梶谷亮治様他、関係各位に深く感謝申し上げます。また, 朝日放送の牟田口章人様には、本資料の分析実現に至るまで様々なご助力をいただきました。厚く御礼申し上げます。

ハギア・ソフィア大聖堂における析出塩類の調査

Salt Crystallization in Hagia Sophia, Istanbul, Turkey

○佐々木 淑美(日本学術振興会特別研究員PD, 東京文化財研究所),
吉田 直人, 石崎 武志(東京文化財研究所), 小椋 大輔(京都大学),
安福 勝(近畿大学), 日高 健一郎(筑波大学)
○Juni Sasaki(JSPS Research Fellow, National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Naoto Yoshida, Takeshi Ishizaki(National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo),
Daisuke Ogura(Kyoto University), Masaru Abuku(Kinki University), Kenichiro Hidaka(University of Tsukuba)

1. はじめに

2010年から発表者らが実施しているハギア・ソフィア大聖堂(現アヤ・ソフィア博物館)の保存環境調査は、2012年9月に博物館からの要請により、外壁補修に対する作業提案をおこなうなど、具体的な成果となり始めている。この作業提案には、2011年から調査・分析を進めてきた北西内壁面における表層モルタルの剥落および塩の析出といった劣化に関するこれまでの結果が反映されており、それらの中で発表者らは、北西内壁面でのこれらの劣化の進行には、2006年に西側外壁の漆喰が除去され躯体が露出したことが影響している可能性を指摘した[1]。現在は、内壁の劣化進行を抑止するために建築内外の温湿度変化の評価と建築内部への水分流入経路の特定を進めている。本発表では、北西エクセドラにおける析出塩類の種類と壁材(モルタル)の組成との関係について、また対応する外壁の状態から内壁の劣化進行に及ぼす影響について、現時点までの考察と今後の展開についてまとめる。

2. 析出塩類の種類と壁材の関係

まず、採取した析出塩(合計55点)を、蛍光X線分析法(XRF)およびX線回折分析法(XRD)を用いて分析した結果、北西エクセドラ内壁で主として析出しているのは主に硫酸ナトリウム(Thenardite)であることがわかった。また、硫酸マグネシウム七水和物(Epsomite)、硝酸ナトリウム(Nitratine)、炭酸カルシウム(Calcite)、硫酸カルシウム二水和物(Gypsum)の析出も確認した。

次に、北西エクセドラを構成する壁材の種類と劣化状態の関係を考察した。目視観察から、北西エクセドラで確認できるオリジナルの壁材と、材質および色彩が異なる4期の修復モルタル(時期の早いものから修復①～④とする)の分布とその状態、そして各モルタルから析出している塩の種類を確認した。各壁材の組成は次の通りである。

オリジナル	：石灰を基材とし、砂が多く含まれる。レンガ片やレンガ粉末はほとんど含まれない。
修復①	：砂をほとんど含まない石灰モルタル。表面にペイントの痕跡あり。
修復②	：基材である石膏の割合が高く、レンガの粉末と小片が混合されている。
修復③	：成分は不明。表面に黄色のペイントを施している。
修復④	：石灰を基材とし、レンガの粉末を多く含む粗目な質感の赤茶色のモルタル。

オリジナルの壁材は、エクセドラ下部ではほとんど残っておらず、上部壁面の残存箇所からは主にThenarditeが析出している。

最も早い時期に実施された修復①は、エクセドラ内壁下部でのみ確認され、塩の析出は見られない。この場所で早くから剥落が発生していたこと、また、付近で躯体が露出するほど剥落した場所があることか

ら劣化進行の著しいことがうかがえる。

修復②は、エクセドラ全体に対して実施され、それらの多くの場所で、最も遅く実施された修復④の下層となっていることを確認した。このことから、修復②の上に修復④が重なっている場所は、他に比べて近年劣化が進行した場所と言えるだろう。あまり剥落は起きておらず、塩の析出も少なく、基 材であるGypsumが再結晶化し析出しているのが確認された。

修復③は、剥落箇所に対して最小限の範囲でモルタルが充填されている。新たな剥離・剥落は生じておらず、塩も析出していなかった。サンプルを採取できていないため、組成はわかっていないが、2002年のUNESCOプロジェクトによる修復[2]である可能性が高い。

最も遅い時期、おそらく2009年頃に実施されたと思われる修復④であるが、その大部分がすでに粉状化ならびに再剥落をおこしている。一度に広範囲にわたって充填されていること、また先に述べたように、先行する修復②に上塗りしていることなどから、性急な作業であったことがうかがえる。下層に他モルタルを持つ場所からは、CalciteとGypsumが混合して採取されている場合が多くみとめられた。特にエクセドラ東側で上塗りした場所では、表層の修復④が下層モルタルを伴い剥落しかけている場所があり、Nitratineの析出が確認されている。

3. 外壁の状態

また、塩の種類は外壁の状態にも関係していることが分かってきた。まず、エクセドラ全体を通して、壁面内部の含水率が高い場所での塩析出の進行については、これまでも指摘してきた(佐々木ほか、2012)。エクセドラ東側の内壁で壁内含水率が高いことは測定からわかっているが、これについても、その外壁で植被がみとめられることから、雨水が浸透および保持されていることに起因していると言える。含水率の高い場所からはThenarditeの析出が著しい。

次に、Epsomiteは、北西エクセドラ西側の一部から析出しており、特に窓縁に集中している。その外壁では、補修モルタルが劣化し剥落した部分からの水の浸入が確認されており、屋根との接続部分、つまり窓縁から浸入した雨水が、窓縁内側および窓下部壁面で大量の塩を析出させていると推測される。

最後に、Nitratineは局所的に析出しており、外壁にこれといった特異な劣化は見られないことから、壁材の分布に依存している可能性が高いと言える。

4. 結論

北西エクセドラでは長期的に劣化が進行してきたこと、そしてそれらの劣化は、植被や穴隙に起因する雨水の直接的な流入によって促進されていることは明らかである。また、析出塩の種類はモルタルの組成によって決定されている可能性が指摘できる。

今後は実験等からさらに、析出する塩の種類の決定要因について考察を進めていく必要がある。

2012年9月の外壁補修に対する作業提案では、以上の結果に加え、壁体内の含水率分布ならびに熱水分解析の結果から、1) 外壁を再び漆喰で覆うこと、2) その作業は雨の降らない夏季に実施すべきこと、3) 入念に穴隙を補修材で事前に充填した後に漆喰で被覆することで完全に水の浸入経路を断つこと、が必要不可欠であるとした。今後も、本研究の成果がハギア・ソフィアの保存に貢献できることを望んでいる。

本研究は、平成２２年度科学研究費補助金基盤(S)(課題番号：21226014 研究代表者：日高健一郎)の成果の一部である。

1) 佐々木淑美、吉田直人、小椋大輔、石崎武志、日高健一郎、「ハギア・ソフィア大聖堂内壁の析出塩類の調査」、『保存科学』、第５１号、pp.303-312 (2012).

2) Hagia Sophia Dome Mosaics Conservation Project：Report on the conservation work carried out during the period from May-November (2002).

ブルガリア、プロヴァディア - サルニツァタ遺跡出土土器の化学分析(2) : 製塩、非製塩土器に対する塩化物の分析

The chemical analysis of potteries from Provdia-solnitsata site in Bulgaria; chloride analysis toward salt making and non-salt making potteries

○大木　伽耶子(国際基督教大学)、高井響子(同左)、朝倉純(同左)、堀内晶子(同左)、宮田佳樹（名古屋大学)、ヴァッセルニコロフ（ブルガリア国立考古博物館）

○Ogi Kayako, Takai Kyoko, Asakura Jun, Horiuchi Akiko(International Christian University), Miyata Yoshiki(Nagoya University), Vassil Nikolov(National Institute of Archaeology and Museum, Bulgaria)

1. はじめに

プロヴァディア - サルニツァタ遺跡はブルガリアの北東部で発掘されたヨーロッパ最古の都市であると考えられている。

この地域はバルカン半島有数の岩塩の埋蔵地であり、古代から製塩がさかんに行われていたとされ、製塩に用いられた可能性のある土器が多数出土している。この遺跡からは新石器時代(5400-5000BC)と銅器時代(4600-4500BC)の製塩遺構が発掘されている。銅器時代の遺跡をPCとする。新石器時代の製塩遺構は、次に述べるドーム状のオーブン(PN)と近年発掘が始まったばかりの新しい遺構(PN2)が報告されている。PN2から出土した土器の塩化物イオン分析は石野がすでに報告している[1]。本研究では考古学者が識別した、PC、PNの遺構から出土した土器の製塩、非製塩土器と土壌に強く保持されている塩化物イオンの比較を行い、化学的識別の可能性を検討した。

塩は生き物にとって欠かせない物質で、正常な細胞の機能や感覚の伝達に必要となる。また薬剤や食品の保存、味付けにも使用され、生活に無くてはならないミネラルとして古代より社会的にも大きな役割を担っており、多くの地域で塩は貨幣としての役割を果たしていたと考えられている。そのため人類は古代から土器を用いて製塩を行ってきた。

塩は水への高い溶解性から地下水や雨などにより流されてしまい土器中には残留せず、分析は不可能だと考えられてきた。しかし落合による研究で塩分の指標である塩化物イオンが土器内に残留する事が報告されている[2]。

2. 試料と実験手法

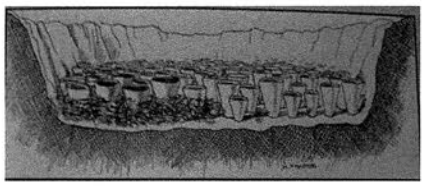
新石器時代の製塩方法として考えられているのがドームオーブンを利用したものである(図

1)。火をたいた後のオーブン内にかん水で満たした土器を並べ加熱していたと考えられている。使用された土器は、底部が直径 11－18cm なのに対し淵部は直径 32－56cm となり、口が大きく開いた形をしている。(製塩土器 PC1～8、非製塩土器 PCN2～8、土壌 PCS1，2，4)

銅器時代は地面に掘った巨大なピットを利用して新石器時代より大きな規模で製塩がおこなわれていたと考えられている(図 2)。ピット内に土器を敷き詰め、隙間に薪をくべて一度に大量の土器を加熱したと考えられている。使用された土器は新石器時代のものよりも高さがあり、大きなものとなっている[3]。(製塩 PN1～24、非製塩 PNN1～9、土壌 PNS1～7)

試料はすでに報告されている方法を用いて、土器に強く保持されている塩化物イオン（Cl^-）を塩化物イオン選択電極を用い測定した[1]。

〈図 1．新石器時代のドームオーブン〉



〈図 2．銅器時代の製塩機構〉

3．結果と考察

すべての試料の比較は胴部のみを使用した。銅器時代の製塩（PC)と非製塩（PCN)土器から抽出された Cl^- 量の平均は PC = 0.33±0.11(mg/g pot)、PCN = 0.14±0.04(mg/g pot)、新石器時代の製塩土器 PN2 = 4.11±2.98(mg/g pot)、非製塩 PN2N= 2.72±1.05(mg/g pot)、ドームオーブンの製塩 PN＝0.17±0.07、非製塩 PNN=0.06±0.07 となっており、いずれの場合も製塩・非製塩土器間で統計学的有意差認められた。PN2 からは他と比較して 10 倍以上の塩分が検出されている。PN2 の土壌からも多くの塩分が検出されたため塩泉が近くに存在しており値に影響した、と推測される。

PN のドーム内で繰り返し鹹水を加熱蒸発させた製塩方法が行われたかは議論の余地があるが、内部と外部の土壌中に含まれる塩分量には有意差が見られたため、PN のドームの中で塩を扱っていた可能性は高い。他の場所で作った粗塩を運搬しやすくするためにさらに乾燥させるなどの目的でドームは使用された等の可能性も考えられる。

[1] 石野萌，堀内晶子，宮田佳樹，ヴァシル・ニコロフ，「ブルガリア、プロヴァヂア-サルニツァータ遺跡出土土器の化学分析（1）：新石器時代の新型式土器は製塩に用いられたのか」，日本文化財科学会第 29 回大会要旨集, 34-35, 2011.

[2] Detection of chloride from pottery as a marker for salt: A new analytical method validated using simulated salt-making pottery and applied to Japanese ceramics. Horiuchi, Akiko; Ochiai, Nobuo; Kurozumi, Hitomi; Miyata, Yoshiki. *Journal of Archaeological Science* vol. 38 issue 11 November, 2011. p. 2949-2956

[3] Nikolov, Vassel. 『Salt and gold : the role of salt in prehistoric Europe : proceedings of the international symposium (Humboldt-Kolleg) in Provadia, Bulgaria, 30 September - 4 October 2010』. P11-65. Provadia. 2012.

大坂城普請における石垣データベースの構築

Database on the construction of Osaka Castle stone wall

○高田祐一（奈良文化財研究所）
○Yuichi TAKATA (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1.はじめに

近世初期に大坂城は徳川幕府によって再築された。再築にあたって石垣の石材を、兵庫県東六甲を始め小豆島などの瀬戸内海島嶼部、遠くは北九州から運び石垣を築き直した。また幕府は石垣を西日本各地の大名に割り当てることによって、大名の責任のもと石垣構築を推進した。その結果、大名、石工、作業工程などの明示を目的とした刻印が石垣毎に異なることとなった。しかし、現状では刻印の分布や担当大名などの情報は紙ベースで残されており、動的な分析が可能となる情報基盤となっていない。そこで本研究では、石垣に関する各種情報をリレーショナルデータベース（以下、RDB）にて構築することで、各種情報を結合し様々な分析が可能となる情報基盤を提示する。

2.データ種類

（1）刻印

昭和34年(1959)、大阪城総合学術調査によって大坂城石垣を対象に大規模な刻印調査が行われた。この調査では現存石垣に一意となる壁番号を付与し壁毎に刻印種と個数が調べられ、村川行弘氏、藤井重夫氏らによって刻印の大名比定や意味など研究が進展した。しかしながら刻印種が膨大であることから定性的な研究では限界があり、近年は停滞している。刻印は石垣石材の生産地である各地の石切丁場を始め、各地の近世城郭で確認されている。森岡秀人氏は刻印を「石工・石人足たちの生業活動の一端や集団秩序」を知る「有力な歴史資料」と評しており、石切丁場と石垣を結合し採石・石垣構築の集団を区別することが可能になるキーである。

（2）普請丁場割図

普請に参加した大名の担当石垣と担当間数を記載した「大坂城普請丁場割之図」が残されている。この図によって現在の石垣をどこの大名が築造したか判明し検出された刻印と突き合わせることが可能である。この図を使用した文献史学の研究はあるが、この図自体をRDBにて情報化した例はない。

（3）その他

民間団体である築城史研究会(1968年結成)は、大阪城石垣を実地で調査し刻印・石垣石の形まで記録した立面図を残している。また各大名家に残された古文書などある。

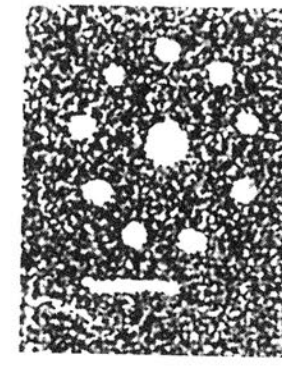


図1 兵庫県芦屋市で見つかった刻印

3．データベース化

情報を整理しデータベース化するためにはキーが必要である。石垣普請に関するキーの一つに、生産地

である石切丁場と消費地である石垣を結合しうる記号である刻印が有用である。別のキーでは石垣の壁番号と担当大名が有用である。今回は試行として石垣・石切丁場・担当大名・刻印に関するカラムに絞り、最低限の構成とした。RDBの操作ではSQLを使用する。大坂城総合学術調査の成果である石垣ごとの刻印集成を基に刻印マスターテーブルを作成した。集成にて掲載されている刻印についてすべて重複をなくし、1種類の刻印に1コードを付与することで一意にした。村川氏は刻印の種類を1247種類と報告しているが、本報告では1333種類となった。微妙に形が違う刻印を同一とみなすかどうかで差異が発生したものとみられる。総合学術調査時の原資料は公開されておらず、詳細な検証はできない。

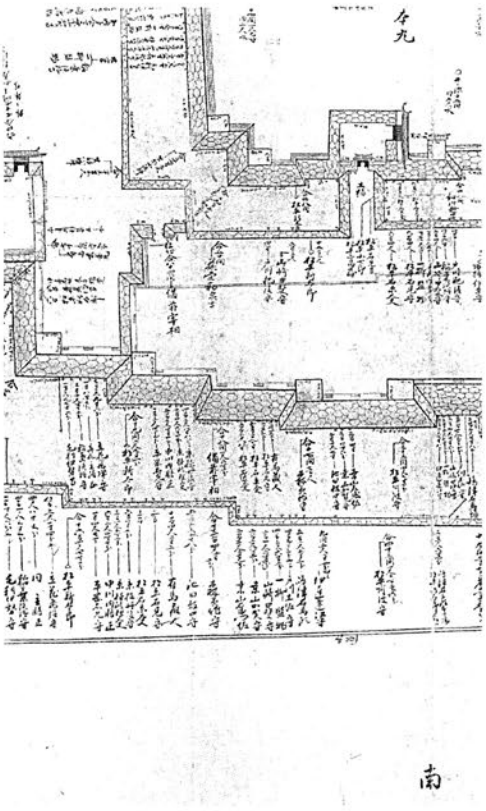


図2「大坂城普請丁場割之図」
（大阪府立中之島図書館蔵）

4. まとめと今後の展望

石垣普請に関する情報を有機的に結合しうるキーの一つがが刻印である。刻印をキーにリレーショナルデータベースの技術でデータベースを構築すれば多様な分析が可能となる。　データベース化する際の課題にメタデータの統一がある。各調査報告書によりデータ項目にバラつきが生じている。また用語や石材分類の統一も課題となる。兵庫県の分類では割石・矢穴石・調整石であり、小豆島の分類では種石・角取石・そげ石となっている。データマッピングが可能か検討するとともに、メタデータの検討も必要となろう。

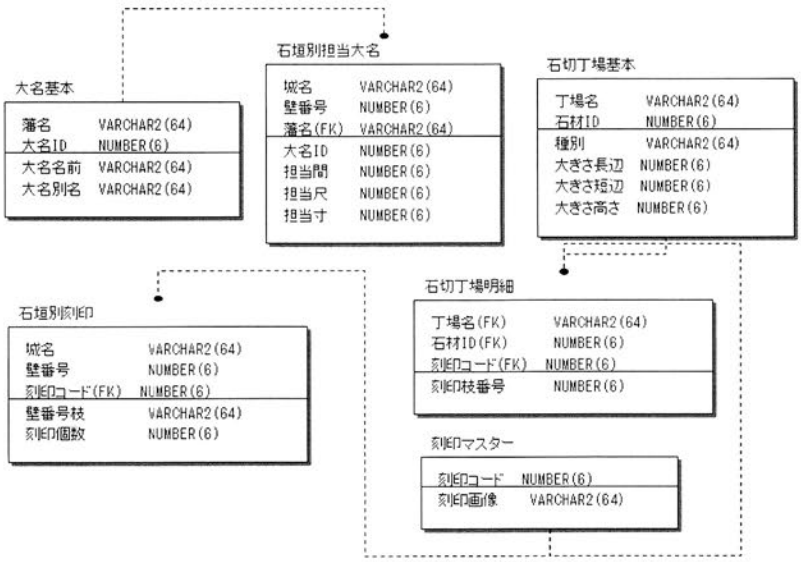


図3　石垣普請データベースのデータモデル
※基本モデルであり実装のモデルではない

参考文献
森岡秀人「書評　築城史研究会編『大坂城石垣調査報告書（二）』」『歴史と神戸』277、2009
『史跡　大坂城石垣石切丁場跡保存管理計画報告書』内海町教育委員会、1979
『徳川大坂城東六甲採石場-国庫補助事業による詳細分布調査報告書-』兵庫県教育委員会事務局文化財室、2008

ウズベキスタン・カンカ遺跡の詳細測量調査と微地形評価
－ユネスコ・ドキュメンテーションプログラム－
Detailed surveying and Microtopography evaluation in Archaeological site of Kanka in Uzbekistan
－Documentation program of UNESCO－

○渡邊俊祐(同志社大学文化情報学研究科・文化遺産情報科学研究センター)　津村宏臣(同志社大学文化情報学部)　福原啓介(同志社大学文化情報学研究科・文化遺産情報科学研究センター)
茂木孝太郎(同志社大学文化情報学研究科)
○Shunsuke Watanabe(Graduate School of culture and information science, Doshisha University),
Hiroomi Tsumura (Faculty of culture for Knowledge in Cultural Heritage, Doshisha University),
Keisuke Fukuhara(Graduate School of culture and information science, Doshisha University),
Kotarou Mogi (Graduate School of culture and information science, Doshisha University)

はじめに

2012年度、ユネスコと同志社大学文化情報科学研究センターの共同研究の一環として、ウズベキスタンにおけるシルクロード関連遺産を他のシルクロード関連国と越国境申請のためのデジタル文書基準制作支援とアーカイブ技術移転を目的としたレクチャーを首都のタシュケントで実施した。このセミナーでは、GIS（Geographic Information System）をシステムの基礎として据え、遺跡や遺構のデータ化と構造化（総合化）コンテンツを作成する方法の一般化をすすめた。本報告では、文書作成基準セミナーのフィールドコースを行ったカンカ遺跡でのデジタル技術の検討と調査報告を行う。

デジタル技術の検討

今回の調査では、DGPSを単に基準点の設置を行うだけではなく、静止測量方式で支局を歩いて移動し、調査対象区域内外の領域把握に使用した。さらに、簡易GPSは機械点の位置把握に使用し、広範囲にわたる測量範囲の進捗状況を即時に把握し効率的な作業進捗を目指した。

カンカ遺跡における調査

カンカ遺跡は、中央アジアに位置するウズベキスタンに存在し、シルクロード関連遺跡として世界遺産リストに登録されている。首都タシュケントから南西に80キロほど離れ、車で2時間ほどの場所に位置している(Fig1)。現状、把握できる範囲だけでも、王族、貴族、商人の居住区合わせて約150haになると考えられている(Fig2)。

しかし、実際には商人の居住区の一部は、現状では農地や宅地になっていると考えられており、カンカ遺跡の全体像はまだ判明していない。

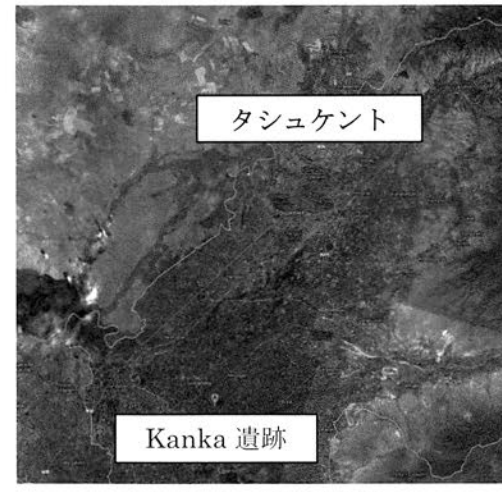


Fig 1　カンカ遺跡位置図

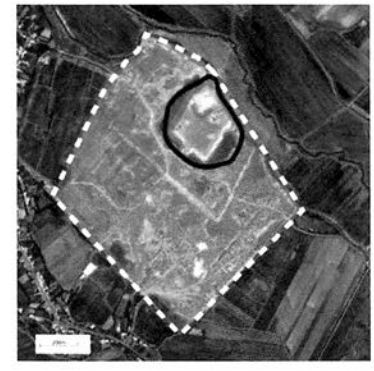


Fig2　調査区域と現状の全体区域

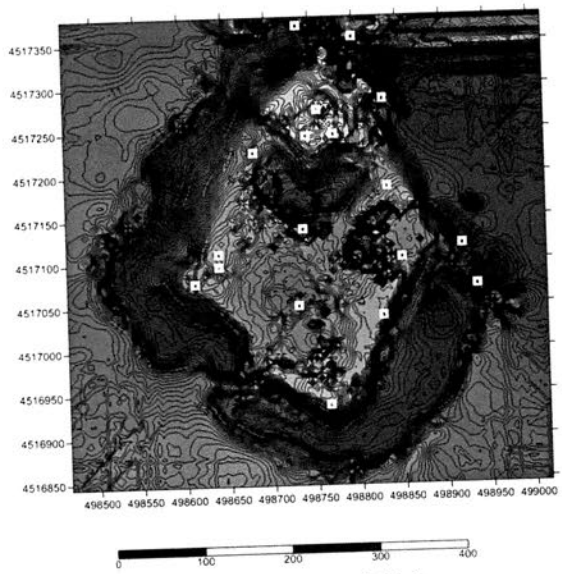


Fig 3　等高線図と視準点

1970 年代に制作された 2000 分の 1 の測量図があるが、遺跡の詳細を把握するには不十分であった。そこで、①DGPS 静止測量による基準点設置、②トータルステーションとレーザーレンジファインダーによる 3 次元測量、③それらのデータアーカイブを行った。測量調査日程は、レクチャー終了後の 2012 年 10 月 17 日から 22 日までの 6 日間行った。ただし、12 日から 15 日の屋外において行っていたレクチャー期間中もレクチャー担当者以外は GPS とレーザーレンジファインダーによる 3 次元測量を同時並行で行った。DGPS 静止測量は、基準点と測量用の視準点を 17 点設置した(Fig3)。

詳細測量は、トータルステーション 1 台、レーザーレンジファインダー2 台を使用して行った。測量結果は、総点数 20387 点、点密度は 1.97 ㎡であった(Fig4)。上面に関しては、十分な点が計測できていると考えられる。しかし、斜面部分に関しては植生や地形の問題で近づけないなどの障害により等高線生成時の精度が低いと考えられる。

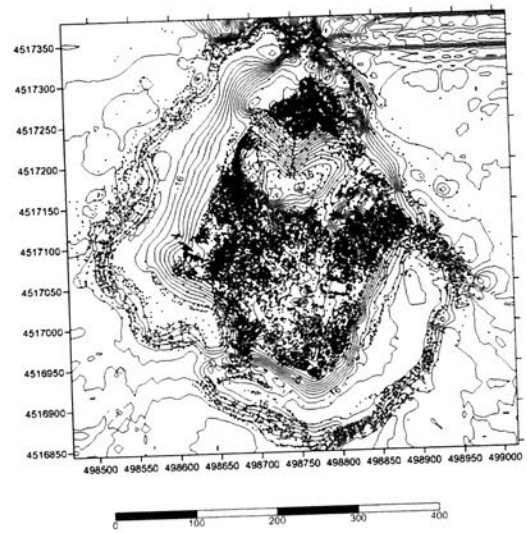


Fig 4　測位点分布図

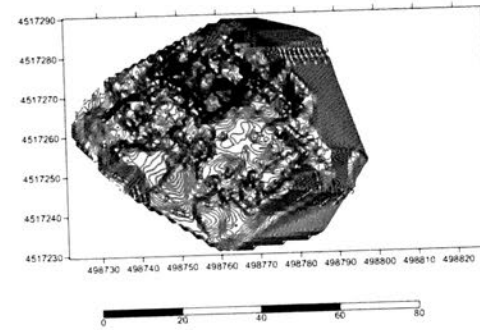


Fig 5　シタデル等高線図

今回、調査対象となった区域が(Fig2) であり、得られた等高線図が(Fig3)である。
さらに、シタデル（王族の居住域）だけの等高線図が(Fig5)である。

全体の等高線からはわからなかった地形の隆起が確認できる。今回の調査では、詳細測量の範囲は遺跡全体の一部であった為、今後は、残りの部分の調査とその結果に対する精査を行っていく予定である。

参考文献

村上智見　2012　中央アジアのチャチ出土織物類について　ラフィーダーン第 33 巻

Hiroomi TSUMURA, Shunsuke WATANABE, Report of The Theoretical and Practical Seminar on Documentation Standards in Tashkent,2012"(7 – 15, 17-22 November 2012), 2013

土器マトリックス内に残留するデンプン質の化学分析の試み

An attempt to analyze starch remained within the pottery matrix

○大久保徹朗（国際基督教大学）、堀内晶子（同左）
○ Tetsuro Okubo, Akiko Horiuchi (International Christian University)

1. はじめに

農耕の開始は現代社会の礎である。農耕によって人類は食料を自ら生産し始め、定住生活を開始することによって複雑な社会制度を構築する道を歩み始めた。よって、各地域でいつ頃に農耕が開始されたかということは考古学的に重要な意味を持っている。農耕開始時期の推定は今まで様々な手法が試みられてきたが、本研究は土器内部に残留しているデンプンを定量することで新たな観点からのアプローチを提供することを目的としている。これまで土器に残留しているデンプン粒の形態学的な分析は行われてきたが、一つの土器試料からデンプン粒を見出すことには手間が掛かる上、定量性はなかった。本研究はまだ予備研究ではあるが、一度に多くの土器試料を短時間かつ簡便に定量分析可能となることを目指している。デンプンの定量にはフェノール硫酸法による490nmでの吸光度分析[*1]を用いた。

2. 実験方法

本研究では２種類の土器試料を使用した。①本研究室に保管されていた現代で作成された未使用の土器片に粥を付着させたモデル実験土器。②東北芸術工科大学において作成した未使用の土器で粥を調理した実験調理土器。土器の外部に付着している物質からの影響を排除するため、土器片は予め蒸留水と0.5M NaOHに浸した状態で複数回ソニケートして洗浄した。土器片の外側にまだデンプンが残留している可能性が考えられるため、土器試料の洗浄・乾燥後、土器片を二分して片方を粉末にし、粉末と固形それぞれから0.5M NaOHに浸してソニケートしてデンプンを抽出・定量し、粉末にした土器片のデンプン量から固形の土器片のデンプン量を引いた値を土器マトリックス内に残留していたデンプン量とした。フェノール硫酸法として、抽出溶液1mLに80%フェノール水溶液を25 μLと濃硫酸2.5 mLを加えて振り混ぜ、40℃のアルミニウム製ヒートブロックで30分間保温して発色させた。検量線は3.6, 7.2, 14.4, 28.8, 36.0 mg/Lのデンプン溶液を用いて作成した。土器を使用した実験では、未使用の土器片に粥を付着させたモデル実験土器及び粥を調理した実験調理土器を作成・使用し、デンプンの抽出には0.5M NaOHを用いた。

3. 結果

3-1　検量線

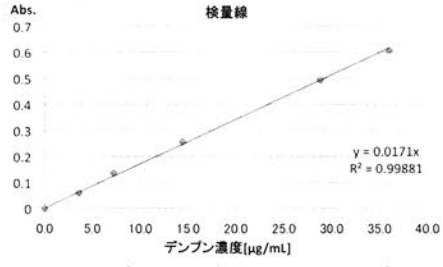


図1. デンプン溶液による検量線

非常に直線性の高い検量線が得られた。この結果により、デンプン水溶液の定量に対してフェノール硫酸法は適した実験法であることが確認できた。

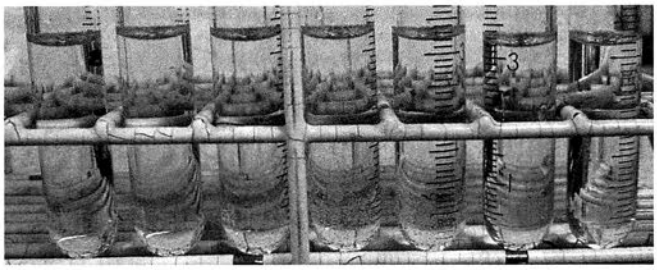


図2. フェノール硫酸法によって発色させたデンプン溶液

3-2　粥を付着させたモデル実験土器

土器番号	粉末土器 [μg/g pot]	固形土器 [μg/g pot]	土器マトリックス内 [μg/g pot]
1	6.27	8.17	-1.90
2	9.94	3.42	6.52
3	24.03	1.98	22.05
4	6.09	-0.98	7.06
5	-0.95	1.75	-2.71
6	-0.38	4.57	-4.96

表1. モデル実験土器1gあたりに含まれるデンプン量

1〜3は粥を付着させた土器片、4〜6は粥を付着させていない土器片である。粥を付着させていないものでも4（粉末）や6（固形）で糖質由来と考えられる反応が見られ、外部から何らかの糖質（デンプンやセルロース等）が混入した可能性が高い。1〜3では検出されたデンプン量にばらつきがあったが、土器の分割方法の改良などの実験手法の工夫により改善できると考えられる。

3-3　粥を調理した実験調理土器

土器の口部から底部にかけて順にa〜eと名付けた。cで検出されたデンプン量がマイナスの値になってしまったが、c(粉末)での吸光度分析のベースラインの乱れが原因であると考えられる。今回の実験では、喫水線周辺（b）と土器底部（e）において比較的多量のデンプンが検出された。

土器番号	粉末土器 [μg/g pot]	固形土器 [μg/g pot]	土器マトリックス内 [μg/g pot]
a	20.54	14.62	5.92
b	29.95	8.39	21.56
c	12.45	14.98	-2.53
d	23.33	17.18	6.15
e	26.09	6.30	19.79

表2. 実験調理土器1gあたりに含まれるデンプン量

図3. 調理実験後の実験調理土器

4. 考察・結論

水に懸濁したデンプンは土器内部に浸透し、アルカリ溶液を用いると分解、抽出され、フェノール硫酸法で測定できることが、粥を煮たモデル実験から明らかになった。まだ、十分に実験条件が確立されていないが、本分析手法は土器内部に残留したデンプンの定量法として期待できると考えている。

*1: 坂野好幸 著. chapter II-7 「糖」. 『生物化学実験法 19 澱粉・関連糖質実験法』; 中村道徳・貝沼圭二 編; 学会出版センター: 東京, **1986**; p.45.

岡山県鹿田遺跡における種子遺存体の形態分析およびDNA分析が示すメロン仲間の選抜
Selection of cultivated melon inferred by morphological and DNA analysis for melon seed remains at Shikata archaeological site in Okayama

○田中 克典 (弘前大学人文学部)、山本 悦世 (岡山大学埋蔵文化財調査研究センター)、
加藤 鎌司 (岡山大学大学院環境生命科学研究科)
○Katsunori Tanaka (Faculty of Humanities, Hirosaki Universtiy), Etsuyo Yamamoto (Archaeological research center, Okayama University), Kenji Kato (Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University)

1．緒言

日本においてメロンの仲間 (*Cucumis melo* L.)は古文書に記載されているだけでなく、井戸などの遺構から種子遺存体が発掘されており、人々に利用されていたことが明らかである。前回大会では、11 世紀以前の種子遺存体が長さにおいて幅広い変異を示し、遺伝的に多様であることを明示した。一方、中世以降の本州では、メロン仲間は主に種子長が 6.10～8.10 mm で構成されることが報告されている (藤下 1983)。そこで、本報では鹿田遺跡における近世の種子遺存体の 8 集団について種子タイプおよび細胞質型を特定し、メロン仲間に加えられた選抜を検討した。

2．材料及び方法

材料は、鹿田遺跡において 2011 年度に D 地点 (土抗 2)および立体駐車場 (土抗 2)において発掘された各 4 集団で (それぞれ、32, 34, 35, 36 および 41, 42, 44, 48)、各集団 20 粒を分析に用いた (第 1 表)。各種子は長さと幅を計測して、藤下 (1983)の方法に従って 3 つの種子タイプに分類した。その後、立体駐車場出土の 4 集団 (80 粒)は、青木ら (1999)の改変アルカリ法で DNA を抽出した。DNA マーカーは、前報で利用した葉緑体ゲノムにおける 4 箇所の一塩基多型 (SNP 2, 8, 19, 25)であり (第 2 表)、SNP を含む領域を特異的 PCR プライマーで増幅した。これらの標的領域は、1 回目の PCR 増幅産物を鋳型に用いて 2 回目の PCR 増幅を行い、アガロースゲル電気泳動によって増幅を確認した後に、ダイレクトシーケンス法により塩基配列を決定した。塩基配列を現生メロン 115 系統の SNP 配列と比較して各種子の細胞質型を同定した。その後、既報の結果を含めて各集団や現生メロンとの対応関係を検討し、日本におけるメロン仲間の選抜過程を考察した。

3．結果及び考察

種子遺存体 160 粒の長さは 4.90～7.58 mm (平均 6.36 mm)であり、鹿田遺跡の近世の種子遺存体は現生の雑草メロン (6.10 mm 未満)とマクワウリ・シロウリ (6.10 - 8.09 mm)に相当する種子で構成されていた (第 1 表)。また、古墳時代や 11 世紀の集団よりもばらつきが小さかった (第 1 図)。特に、立体駐車場の 4 集団 (41 - 48)においてマクワウリ・シロウリ型の種子が 16～18 粒 (平均 86.3 %)と高頻度で含まれており、本州の同時期の遺跡(新潟、東京、京都、広島)と同じ種子タイプで構成されていた (藤下 1983)。また、11 世紀の集団と比較して短いことが明らかになった ($P < 0.01$)。DNA 分析の結果、29 粒 (32: 8 粒, 34: 8 粒, 41: 5 粒, 48: 8 粒)について、1～3 箇所の SNP において塩基配列を決定することができ、いずれも細胞質型は Ib 型であった (第 2 表)。

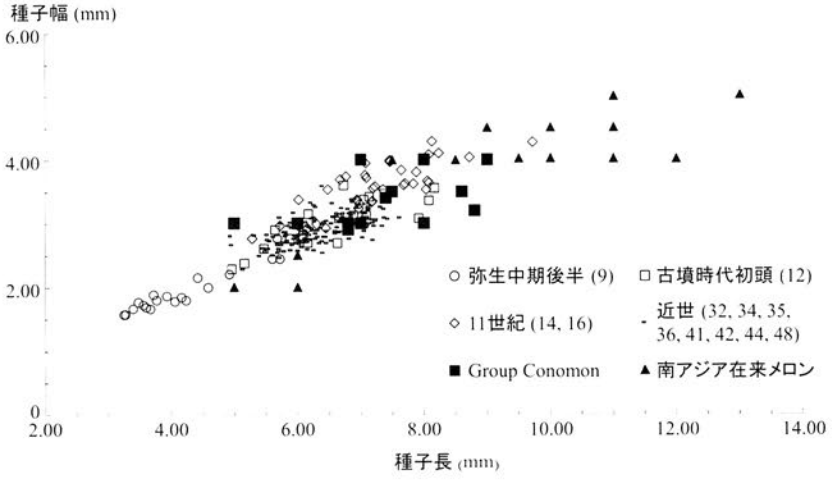
以上の結果は、メロン仲間は 11 世紀から近世にかけて選抜を受けていたこと、選抜により近世の集団において細胞質型が均質 (Ib 型)になり、種子のサイズ変異が 11 世紀の集団よりも小さくなったことが示唆された。近世において、鹿田遺跡では野壺が普及し農村地帯へと変化している。また、周辺遺跡の調査から水路の整備も伴っている。農業生産の基盤が整備される過程において、メロン仲間は遺跡周辺で選抜を受けたか、他の地域において改良された後に導入されたと考えられた。一方、現生のマクワウリ・シロウリは細胞質型が Ia 型であることから、近世の鹿田遺跡で認められた Ib 型の母系はマクワウリ・シロウリの成立過程において消失したと考えられる。

第1表 岡山県・鹿田遺跡のメロン仲間における種子遺存体の長さとタイプの構成

集団番号	時代・時期	調査次	地点/ 遺構/ 層位/ メロンGroup	粒数	種子の長さ 平均 (mm)	標準偏差	変動係数 (%)	種子の頻度 (粒)[2] < 6.10 mm	6.10 - 8.09 mm	≥ 8.10 mm
9	弥生中期後半	1	井戸1	20	4.20	0.80	19.1	20	-	-
12	古墳初頭	6	土坑1/ 4層	20	6.57	0.92	14.1	7	12	1
14	11世紀	5	土壙15/ 中間層	20	7.19	1.01	14.0	3	15	2
16	11世紀	5	土壙15/ 15-18層	20	7.20	0.73	10.2	2	16	2
32	近世	20	D地点/ 土坑2	20	6.05	0.49	8.1	10	10	-
34		20	D地点/ 土坑2	20	6.16	0.58	9.4	8	12	-
35		20	D地点/ 土坑2	20	6.06	0.58	9.6	12	8	-
36		20	D地点/ 土坑2	20	5.97	0.36	6.0	14	6	-
41		2011年	立体駐車場下/ 土坑2	20	6.65	0.50	7.5	3	17	-
42		2011年	立体駐車場下/ 土坑2	20	6.65	0.38	5.7	2	18	-
44		2011年	立体駐車場下/ 土坑2	20	6.74	0.48	7.1	2	18	-
48		2011年	立体駐車場下/ 土坑2	20	6.62	0.50	7.5	4	16	-
	現世		Agrestis	23	4.97	0.91	18.3	21	2	-
			Conomon	26	7.09	1.14	16.0	9	17	2
			南アジアの栽培メロン[1]	66	8.65	1.82	21.1	11	10	45

[1]インド、バングラデシュおよびミャンマーのモモルディカメロンおよびその他の栽培メロン。

[2]藤下 (2008)に従って、種子遺存体を種子の縦幅の長さにより3つの種子群に分類した。6.10 mm未満、6.10 - 8.09mmおよび8.10 mm以上の種子は、それぞれ雑草メロン型、マクワウリ・シロウリ型およびモモルディカ型である。



第1図 鹿田遺跡の種子遺存体および現生メロンの種子における長さと幅の変異
[1]凡例の括弧内は集団番号を示す。

第2表 岡山県・鹿田遺跡の種子遺存体と現生メロンにおける葉緑体ゲノムの配列変異に基づいた葉緑体型の構成

葉緑体型	葉緑体配列 *TrnK-MatK*	*PsbK-PsbI*	*NdhF-Rpl32*	*NdhA* intron1	種子遺存体 (粒数) 弥生中期後半	古墳初頭	11世紀	近世				現生栽培種 (粒数) マクワウリ・シロウリ	南アジアの在来メロン
	SNP2	SNP8	SNP19	SNP25	9	12	14 / 16	32	34	41	48		
Ia	C	G	A	G	-	-	-	-	-	-	-	27	52
	C	-	A	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
	C	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
	-	G	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	A	-	1	3	2	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	G	-	-	2	-	-	-	-	-	-
Ib	A	A	G	C	-	-	-	-	-	-	-	1	23
	A	-	G	C	-	-	-	1	-	-	-	-	-
	A	A	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
	A	-	G	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
	A	-	-	C	-	-	-	-	-	2	-	-	-
	-	A	G	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-
	A	-	-	-	1	1	3	3	1	1	3	-	-
	-	A	-	-	1	1	3	1	1	1	-	-	-
	-	-	G	-	2	-	5	3	5	1	4	-	-
不明	-	-	-	-	12	14	22	12	12	15	12	-	-
		計			20	20	40	20	20	20	20	28	75

[1]各マーカーにおいて記号は一塩基多型の配列を示す。また、「-」はPCR増幅で標的領域が増幅しなかったことを示す。

茨城県石岡市舟塚山古墳の物理探査　—後円部墳頂—

Geophysical Prospection of Funatsukayama Mounded Tomb, Ishioka City, Ibaraki Prefecture, Japan - on the round part of its keyhole shape -

亀井宏行(東京工業大学)、千島史彦(同左)、○藍野健大(同左)、山本達也(同左)、木村真大(同左)、田中裕(茨城大学)、佐々木憲一(明治大学)

Hiroyuki Kamei , Fumihiko Chishima, ○Takehiro Aino, Tatsuya Yamamoto, Masahiro Kimura(Tokyo Institute of Technology), Yutaka Tanaka,(Ibaraki University), Ken'ichi Sasaki(Meiji University)

1. はじめに

茨城県石岡市にある舟塚山古墳は東日本で2番目の大きさを誇る前方後円墳で、前方部を西に向け霞ヶ浦を望む台地に位置する。全長182m、後円部径90m、高さ11m、前方部幅99m、高さ10mという大きさを誇り、5世紀前期から中期の築造と推定されている。1972年に行われた古墳周溝の発掘調査では円筒埴輪が出土した。舟塚山古墳自体の発掘調査は行われていないが、後円部には撹乱や盗掘の痕跡がないことから埋葬施設が残存していることが推定されている。そこで2012年9月に、内部施設の確認のため後円部墳頂および前方部墳頂において地中レーダ探査と磁気探査を行った。本発表ではこれら後円部墳頂での探査結果の詳細について報告する。

2. 探査の概要

図1に示すように後円部墳頂上に探査領域を設定した。地中レーダ探査はSensors&Software社製PulseEKKO pro+250MHzアンテナを用い、東西19m×南北18mの範囲を0.5m間隔の測線配置で、東西(X)と南北(Y)の2方向に走査した。磁気探査は、Geometrics社製セシウム磁力計G-858 MagMapperを用い,東西15m×南北14mの範囲を0.5m間隔の測線配置で、南北方向に走査した。

3. 探査結果

図2に深度52nsでの地中レーダ平面図を示す。図2では、主軸方向である東西(X)方向に14m、主軸と直交する方向に5mの矩形状のひろがりをもった強い反射領域が見られ、これは長大な埋葬施設である可能性が高い。この反射領域を、南北方向に走査した地中レーダ断面図（例として図3に4断面示す）で見てみると、南北方向に長さが5ー6mあり、その中心付近Y=8mの約40ns（概算深度約1.4m）を頂点とした反射像であることがわかる。さらにこの頂点の両側（Y=7mと9m付近）では窪んだ形状をしていて、この窪みの度合いは場所（Xの位置）によって異なっている。一方、頂点部分については、Y= 8mで東西方向に走査した地中レーダ断面図(図4)から、ほぼ一定の深さ約40nsで東西方向に延びていることがわかる。また、指摘した反射像とは別に、図3の各断面では約60ns（概算深度約2.1m）の深さに画面の端から端まで連続する反射面も見られる。図5には磁気探査の結

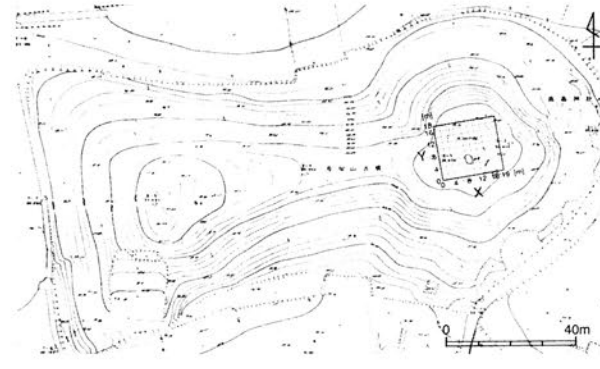


図1. 墳丘測量図と探査領域

果を示す。図5では探査領域の南西角に(X, Y)=(5.5m, 7m)に正のピークを持つ磁気異常が観測された。単純な双極型分布ではないので複数の磁性体の存在が考えられる。

4. まとめ

地中レーダ探査の結果、舟塚山古墳の後円部墳頂には、東西14m、南北6mの長大な埋葬施設と思われる反応が得られ、さらに磁気探査の結果、埋葬施設の南西角付近には鉄製品の埋納が予測される大きな磁気異常が得られた。

参考文献

石岡市教育委員会1978：舟塚山古墳群（10号・12号）発掘調査報告書II

本報告は，明治大学大学院研究科共同研究「文献・埴輪からみた6世紀出前葉における中央・地方の政治的関係に関する研究」の一部を含む。

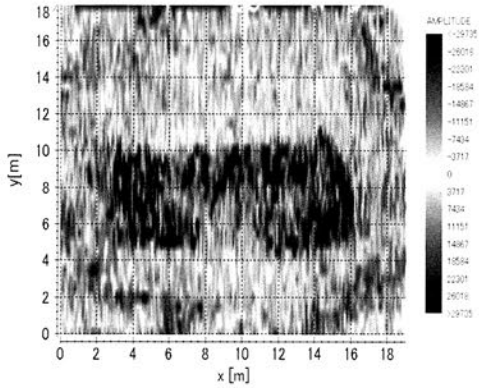


図2. 地中レーダ平面図(52ns)

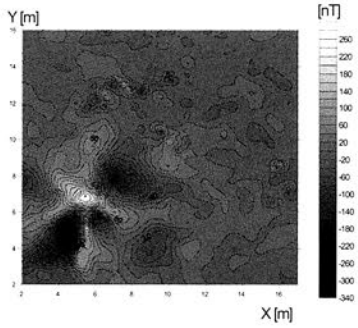


図5. 磁気探査結果

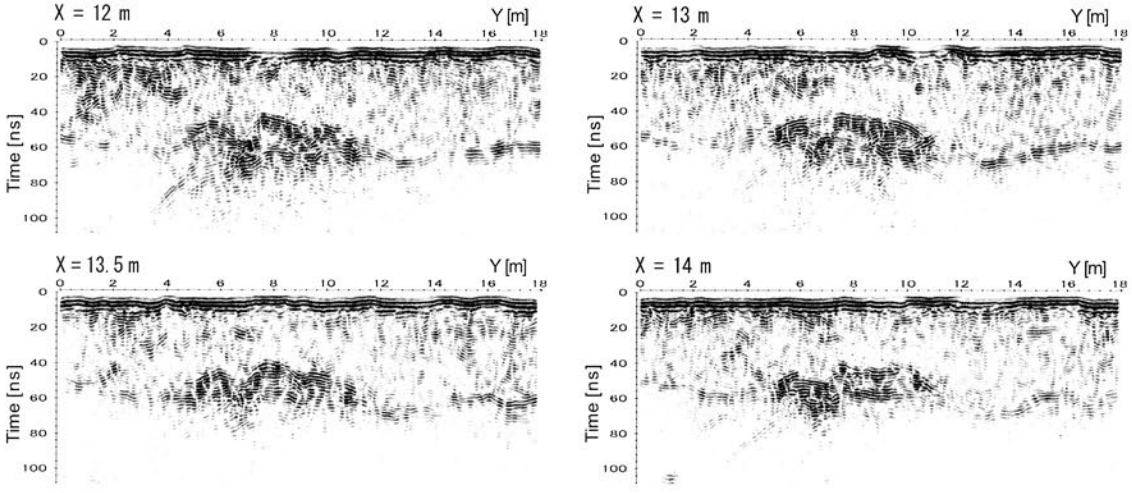


図3. 地中レーダ断面図（南北測線）

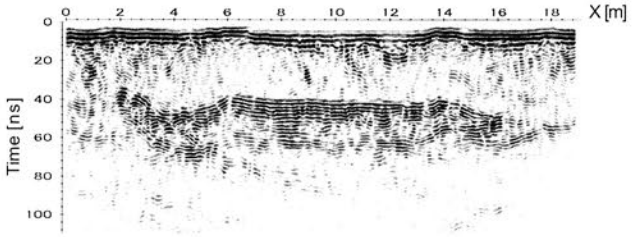


図4. 地中レーダ断面図（東西測線　Y=8m）

秋田県仙北市角館町白岩における登り窯の調査

Geophysical exploration of climbing kiln in Shiraiwa area, Kakunodate machi, Senboku city, Akita Prefecture

○西谷忠師（秋田大学）、坂中伸也（同左）、山口大輔（同左）、高橋綾子（同左）、
武田裕介（同左）、河野輝樹（同左）、大本将行（同左）
○Tadashi Nishitani, Shin'ya Sakanaka, Daisuke Yamaguchi, Ayako Takahashi,
Yusuke Takeda, Teruki Khono, Masayuki Ohmoto (Akita university)

1. はじめに

秋田県仙北市角館町白岩地区にある白岩焼窯跡の調査を行った。白岩焼は、1770 年代に松本運七によって現在の白岩地区に開窯され、庶民向けの品から藩主への献上品まで様々なものがあり、なまこ釉を特徴とする青色が有名である。1896 年に起きた陸羽地震の影響により数年後に廃窯となった。現在では、秋田藩最初の本格的な登り窯の遺跡として、秋田県指定史跡となっている（図１）。

図１　測定範囲

2. 白岩焼窯跡について

窯跡は瀬戸山と呼ばれる白岩集落東方の丘陵斜面に東側から運七窯(古窯)、儀三郎窯(イ窯)、吉五郎窯(ロ窯)、多一郎窯(ホ窯)、と並んでいる。また集落の近辺には勘左衛門窯(ハ窯)、孫兵衛窯(ニ窯)、吉重郎窯(ヘ窯)がある。なお窯の名称は古窯を最初とし築窯された年代が早いものからイ窯、ロ窯、ハ窯・・・とイロハ順に名づけられていった。1932 年に渡辺為吉によってこれらの窯跡は調査され、調査結果を基に「白岩瀬戸山」としてまとめられている。しかし窯跡の位置や規模を特定することは難しい。

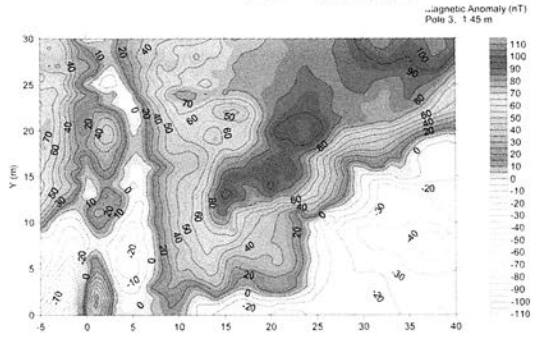


図２　磁気異常（センサー高 1.45m）

3. 磁気探査の結果

磁気探査は、センサーの高さを 1.45m と 2.35m の２種類で、測点間隔を 1m として測定を行った。定点で観測した値で地磁気変動を補正して測定値とした（図２）。測定値の平面的な位置と、高さの変化を考慮して磁気的変化の大きさに変換した（図３）。この図には同時に等高線と、推定した窯の跡置を示した。

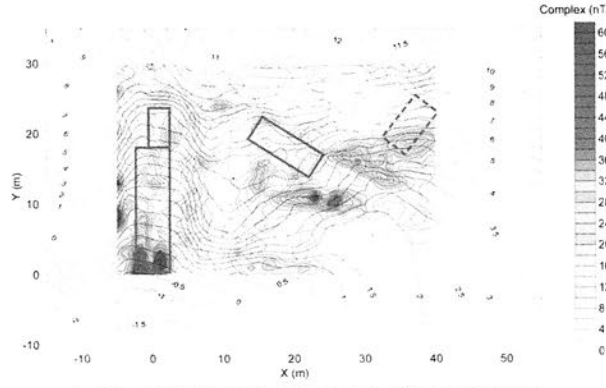


図３　磁気的変化の大きさと窯の位置推定

4. 電磁気探査の結果

電磁気探査の一種である、超長波帯（ＶＬＦ帯）の電磁波を用いたＶＬＦ－ＭＴ探査を実施した。この方法は、九州えびの高原から大電力で出力されている２２．２ｋＨｚの電波を利用して、発信局方向の電場成分とこれに直交する磁場成分から地下の電気構造を推定する方法である。図４が測定によって得られた電気構造（見掛比抵抗）である。この図にも地表の等高線と推定したイ窯、新古窯、旧古窯の位置を示してある。

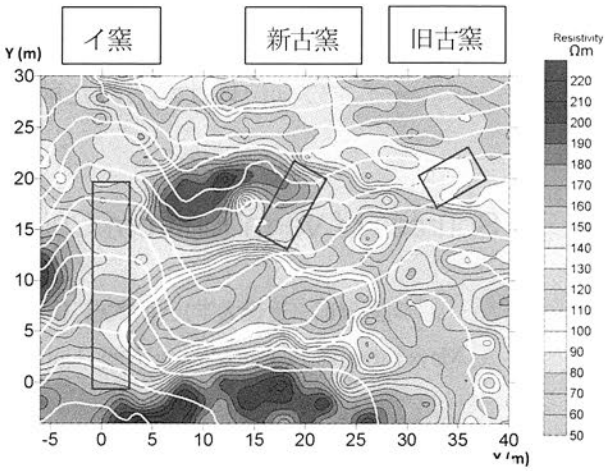


図４　電磁気探査による結果

5. 古地磁気調査の結果

この調査では地表から試料を採集して、残留磁気強度とその試料の保持していた残留磁気方向、および帯磁率を測定した。この調査により、高い温度にさらされていた部分とそうでない部分に違いが現れると期待できる。試料の保持していた残留磁気の安定性と帯磁率から温度分布の推定が可能になると思われる。図５はイ窯跡周辺の帯磁率（単位体積当たり）分布である。

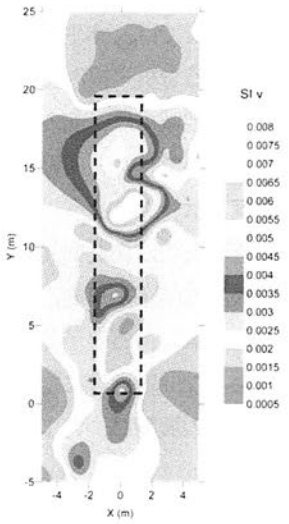


図５　帯磁率分布

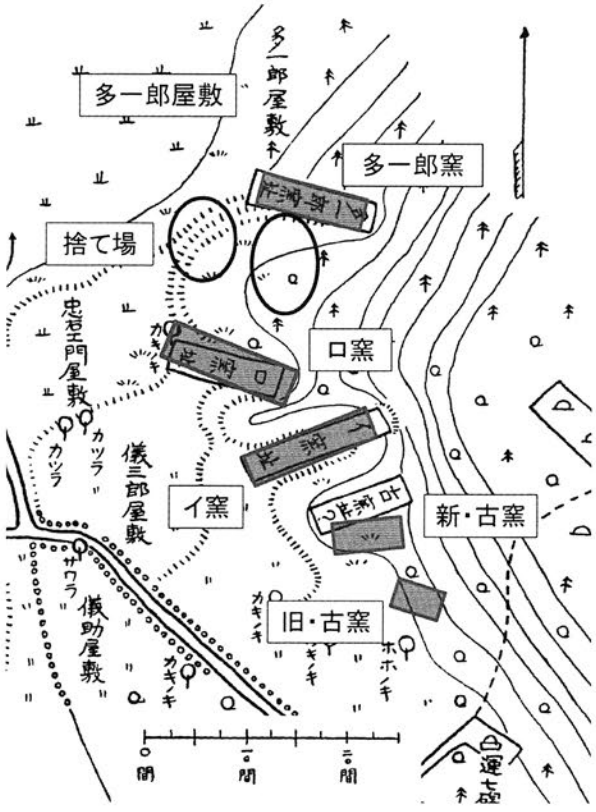


図６　統合解釈による窯跡の位置推定

6. 探査結果を統合した解釈とまとめ

本調査地域では、さらに多電極方式を用いた電気探査を行った。電気探査に加え、上で説明した、磁気探査、電磁気探査、古地磁気調査を統合して窯跡の位置を推定した（図６）。

窯跡の推定位置を過去の調査による推定位置と比較検討し、これまで不明とされていた窯跡の位置も明らかにした。本調査で実施した複数の手法で探査を行い、総合的に解釈を行うことで、より信頼性の高い推定が可能であることを示した。

北部九州における朱の産地

ーイオウ同位体比からみた前方後円墳発生期の地域相ー

Sources of Vermilion from Chief Tombs in Northern Kyushu

○河野摩耶（近畿大学）、南武志（同左）、今津節生（九州国立博物館）
○Maya Kawano, Takeshi Minami (Kinki Univ.), Setsuo Imazu (Kyushu National Museum)

1. 問題の所在

赤色顔料は縄文時代に登場し、墳墓や集落遺跡などで使用されていたが、産地を推定する方法がなかった。そのような中、イオウ同位体比分析によって朱の産地推定が可能になった（今津 2005）。このことから、前発表では、弥生時代中期から古墳時代中期にかけて墳墓出土資料を３８箇所とりあげ、イオウ同位体比による分析・検討をおこない産地推定を試みた。その結果、古墳文化を主導した北部九州から東海にかけての地域では、前方後円墳の発生を契機として、中国産朱から国産朱へ転換する大局的な傾向を看取することができた（河野他 2012）。

本発表では、これをうけて、よりこまかい詳細な地域的展開過程を明らかにすべく、北部九州をとりあげた。その理由は、北部九州は朱の輸入先である大陸に最も近く、国産朱の転換をみていく場合には、今後詳細な産地同定が可能になっていく想定を踏まえると、時間的および地域的な展開をおさえておくことが重要な地域であると予測されたからである。

このような問題意識にたち、本発表では弥生時代中期から古墳時代前期にかけての北部九州地域における朱の産地の展開について考察を加えたい。

2．材料と方法

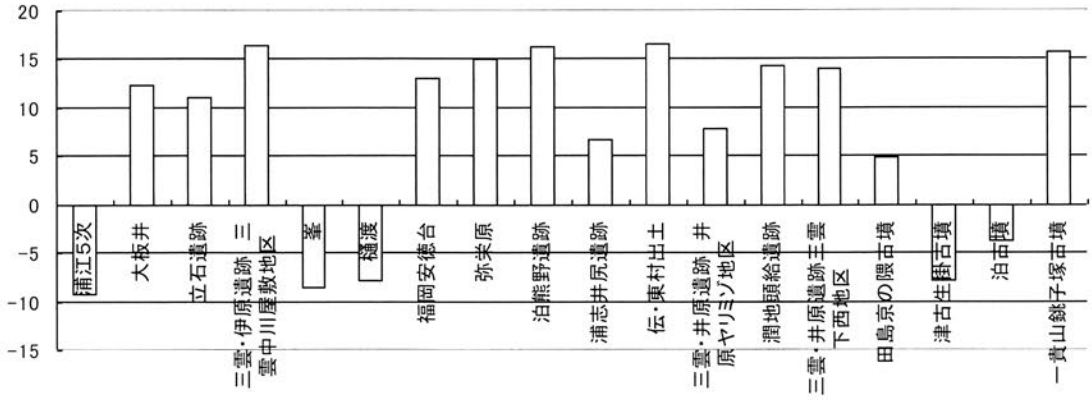
試料より朱とそれ以外とに分け、朱の部分をイオウ同位体比分析の試料として測定した。分析方法は、Minami et al （2005） の手法に基づいた。すなわち、^{32}S に対する ^{34}S の存在比を標準物質の同位体比と比較し $\delta^{34}S$ (‰) で表した。この分析で対象としたのは、弥生時代集落からの試料３点、墳墓試料９点、古墳時代の集落１点、古墳４点を対象とした（注：この分析においては調査にご協力いただいた各機関より試料の提供をうけたことに深謝したい。あわせて未報告の試料について今回は言及していない）。

3．結果

北部九州地方では、弥生時代前期初頭に登場する福岡県曲り田遺跡 10 号甕棺を先駆けとし、前期末の王墓である吉武高木遺跡で王墓の儀礼に採用されるが、本格的に普及するのは、弥生時代中期後半以降である。この時期は、北部九州の伊都国・奴国の領域を中心として大型甕棺を利用した墳墓が造営され、そのような王墓の埋葬儀礼として朱が採用された可能性もある。その朱はほとんどが中国産とみられ、墳墓や集落を問わず中国産朱が利用されているという特徴がある。この時期では、鏡やガラス壁、金銅製三葉形飾金具等、中国から舶載された文物が副葬されていることが知られており、朱もその一端としてもたらされたことが想定される。

(d³⁴S‰)

表1　集落および墳墓（古墳）から採取された朱のイオウ同位体比



弥生時代後期になると、博多湾に面した都市的集落である福岡県比恵那珂遺跡群や糸島水道に隣接する福岡県潤地頭給遺跡などで辰砂を埋納した土坑が検出されているのは他地域に見られない北部九州の特徴である。これらの遺跡は、韓半島や九州以外の地域から搬入された土器が多数出土しており、朱もそのひとつである文物の流通拠点として、機能した港湾的な集落であった。

弥生時代終末期から古墳時代前期にかけては、北部九州に魏志倭人伝に登場する奴国および伊都国が想定される地域である。この時期の墳墓および集落の朱の利用については不明な部分が少なくない。

しかし、奴国の南端に立地する北筑後では福岡県津古掛古墳が登場する。これは、纏向型前方後円墳であり、鶏を形象した二重口縁壷や方格規矩鏡等が副葬されており、大和王権との密接な関係が否定できない古墳である。この古墳出土の朱は国産であり、前稿でみた前方後円墳での出土傾向と軌を一にしている。一方、伊都国にある一貴山銚子塚古墳では、三角縁神獣鏡の他、伝世された漢鏡が副葬されており、埋葬施設も天井石をもたない竪穴式石槨を採用するなど在地的な色彩の強い前方後円墳である。分析によれば、この古墳に副葬された朱は中国産であり、この時期の古墳に副葬された朱の中では特異な位置を占める。さらに、同時代の三雲遺跡群でも中国産朱が検出されており、伊都国の中では国産朱よりも中国産朱が流通していたことがうかがえる。これは、魏志倭人伝に「世々王あり」と記された伊都国の独自性を示唆しており、興味深い事例といえる。

4．まとめ

本論では、北部九州の墳墓・集落から出土した朱を対象とし、イオウ同位体比で推定される産地の変遷に、副葬品や埋葬施設の要素を加味して考察を行った。この地域では、弥生時代前期初頭から朱の利用が開始され、中期後半に王墓を頂点とする階層的な中国産朱の保有が確認される。続いて、弥生時代後期には、港湾的な性格をもった集落が他の舶載文物とともに中国産朱の流通拠点として発達したことも想定される。古墳時代前期初頭になると、大和の影響を強く受けた津古生掛古墳で国産朱の利用が認められるが、古墳時代前期中葉の一貴山銚子塚古墳まで中国産朱の利用が残存しているのは北部九州の独自性を示すものと言える。この背景には、被葬者が中国との直接的交易を構築した可能性もある。北部九州では倭王権と同調する勢力以外に強い在地の首長権があったようである。これは、北部九州の大陸に近いという地勢的な条件に基づくものか、他地域にも詳細にみていけば同じ状況が看取できるのかは今後の課題としたい。

今津節生、南武志2005「綾部山39号墳出土朱の硫黄同位体比」『綾部山39号墓発掘調査報告書』御所町教育委員会

河野摩耶他2012「前方後円墳発生期における朱の交易-イオウ同位体比分析をとおして-」『日本文化財科学会第29回研究発表要旨集』

同位体分析法を組合せた桜井茶臼山古墳出土朱の産地同定

Identification of original source of vermilion collected from Sakurai Chausuyama burial mound using combined analyses of sulfur, mercury, and lead isotopes

◯南　武志（近畿大学）、河野摩耶（同左）、高橋和也（理研）、武内章記（国立環境研）、東影　悠（橿考研）、奥山誠義（同左）、寺沢　薫（同左、纏向学研究センター）、今津節生（九博）

◯Takeshi Minami, Maya Kawano (Kinki Univ.), Kazuya Takahashi (RIKEN), Akinori Takeuchi (NIES), Yuu Higashikage, Masayoshi Okuyama (Archaeol. Inst. Kahashira), Kaoru Terasawa (Archaeol. Inst. Kashihara & RC for Makimukugaku), Setsuo Imazu (Kyushu Natl. Meseum)

1. はじめに

古墳時代が始まる前後の時代で、10kg を超える多量の朱を用いた遺跡が西日本各地で発見されている。墳墓に朱を用いる儀式は、遺体の保存という目的だけでなく、権力を誇示する手段の一つであると思われる。その中でも初期大和政権の大王級の墓と考えられている奈良県桜井茶臼山古墳では、竪穴式石室内全面に朱が塗られ、その総量は 200kg 以上と推定されている。これだけの朱を 1 墳墓に用いるには数十年かけて集めた可能性もあり、あるいはいくつもの辰砂鉱山から集めた可能性も否定できない。我々は、朱に含まれる硫黄に着目し、硫黄同位体比を測定することで朱の産地同定を行ってきた。古代に辰砂鉱石が採取された辰砂鉱山の可能性が高い、中国の辰砂鉱山と日本の辰砂鉱山では、硫黄同位体比の δ 値が全く異なり、日本産でも三重県丹生鉱山産と他の 2 つの鉱山（奈良県大和水銀鉱山と徳島県水井鉱山）産で有意に異なる δ 値が得られ、遺跡出土朱の産地同定に使えることを本学会でも報告している。しかしながら多くの墳墓から採取される朱は、たとえ大型墳墓であっても数点あるいは 1 点の場合も多々ある。さらに分析前処理として実体顕微鏡下で朱と他の物質を分離しているが、完全に分離することはできずに硫黄を含む有機物質が混在する可能性も否定できない。このように、わずかなサンプル数あるいは混在物の影響も考えなければいけない場合、あるいは産地の異なる朱を混合した場合など、硫黄同位体比分析だけで遺跡から採取された朱の産地を特定するには常にリスクがつきまとうと考えていた。朱を構成するもう一つの元素である水銀は、^{196}Hg, ^{198}Hg, ^{199}Hg, ^{200}Hg, ^{201}Hg, ^{202}Hg, ^{204}Hg の 7 つの安定同位体がおよそ 0.15%、9.97%、16.87%、23.10%、13.18%、29.86%、6.87%の割合で存在するが、一番軽い ^{196}Hg と一番重い ^{204}Hg の質量の相対的な差は約４％しかない。しかも ^{198}Hg と ^{202}Hg の同位体比最大変動は自然界において約６‰であり、通常の ICP-MS 装置などではバラツキが大きくなり、同位体比測定が無理であった。近年、0.1%以下の測定精度で同位体比測定が可能なマルチコレクターICP-MS 装置を用いた水銀同位体比の測定が可能となったので、本装置を用いることとした。また、朱は自然界において結晶化に際して他の金属元素を包有しにくい化合物であるが、鉛は比較的朱化合物内に混在することから、鉛同位体測定も試みた。硫黄や水銀のような安定同位体は、結晶化に伴う酸化還元作用や蒸発・拡散などの地球化学的作用によって存在割合が異なる。一方、鉛のような放射起源同位体は、かつてその場にあった放射性元素の量ならびに経過した時間に応じてその量が変動する。そのためこれらを含む物質の場合、同位体同士の比率はその産地によって変化し、発生源の探索やその特徴を生かした環境動態の追跡などに利用できると考える。

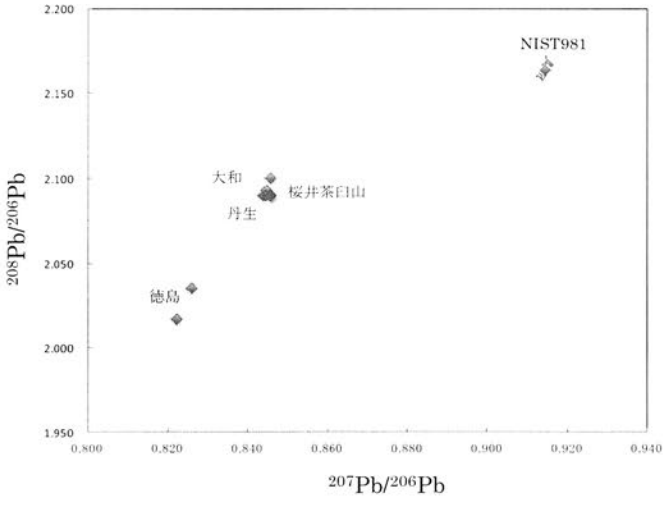
2. 材料と方法

桜井茶臼山古墳の石室の壁部分を構成している板状の石に付着していた朱を採取し、分析に供した。硫

黄同位体比分析は、朱サンプルを直接ガス発生装置に入れて発生した二酸化硫黄ガスを同位体分析用質量分析装置に導入する方法を用いた。水銀同位体比分析は、王水による加熱酸分解した溶液を希釈し、測定直前に約 25 ng/g になるように調整を行った後、還元気化・多重検出器型誘導結合プラズマ質量分析装置（CV-MC-ICP/MS）を用いた水銀同位体分析システムで計測した。鉛同位体比分析は、朱を逆王水 5 ml で加熱分解して蒸発乾固後に 1M 塩酸で溶解させ、陰イオン交換樹脂充填カラムに通して水銀を吸着させ、1M塩酸 10 ml 及び 6M塩酸 20 ml で鉛を回収した。回収した鉛を含む溶液に硝酸を加えて再度蒸発乾固した後、^{204}Pb, ^{206}Pb, ^{207}Pb, ^{208}Pb を同時に検出できる 4 個のファラデーカップを用いた VG SECTOR-54 (7 コレクター) を使った表面電離型質量分析装置 (TIMS)で測定した。

3. 結果および考察

桜井茶臼山古墳出土朱の硫黄同位体比を測定したところ、−3.85±0.93 ‰のδ値が得られ、奈良県大和水銀鉱山産か徳島県水井鉱山産が使用された可能性が示唆された。一方、水銀同位体（δ^{202}Hg 値）については、中国貴州省鉱石は−0.88±0.32‰、陝西省鉱石は−0.92‰、日本産では三重県丹生鉱山鉱石は−0.26±0.27‰、徳島県水井鉱山鉱石は−0.16±0.36‰、奈良県大和水銀鉱山鉱石は+0.40±0.16‰と、中国産は日本産より大きくマイナスの値を示し、日本産の中でも奈良県大和水銀鉱山産は大きくプラスの値を示し、桜井茶臼山古墳出土朱 3 サンプルの水銀同位体比は+0.36±0.30‰となり、奈良県大和水銀鉱山産の可能性を高く示していた。そこで、鉱山鉱石の ^{206}Pb、^{207}Pb, ^{208}Pb を測定して鉛同位体比の二次元グラフを作成したところ、鉛同位体比は三重県丹生鉱山産と奈良県大和水銀鉱山産で違いは認められなかったが、徳島県水井鉱山産は明らかに両者と異なった値を示しており、桜井茶臼山古墳出土朱の値をプロットすると、丹生鉱山あるいは大和水銀鉱山産と重なる位置にプロットでき、遺跡出土朱は丹生鉱山産あるいは大和水銀鉱山産の可能性が示唆された。古代において 200kg を超える多量の朱を一度に精製して使用できる可能性は低く、長い年月をかけて精製して保管した可能性が高い。その場合、いくつかの鉱山から精製された朱が混ぜられた可能性も否定できない。しかし今回の 3 つの元素の同位体比分析の結果、いずれの分析値も鉱石産地の値とそれほど離れていない値となったことより、奈良県産辰砂鉱石から多量に精製した朱を保管して桜井茶臼山古墳に用いたと考えられる。



XRF,ESR法による寺田遺跡出土滑石・緑泥石片岩製玉類の産地分析

Sourcing of the talc and chloritschist beads excavated from the Terada Site in Osaka on the basis of XRF and ESR analysis.

○藁科哲男(遺物材料研究所)、三好　玄(大阪府教育委員会)
○Testuo Warashina(Artifacts and Materials Laboratory)、Gen Miyoshi (Osaka Prefectural Board of Education)

1. はじめに

大阪府和泉市寺田遺跡古墳時代中期出土の滑石、緑泥石片岩製玉類１６９個の産地分析を行った。ＸＲＦ分析法により、遺物相互の組成比較は、元素比組成を求め遺物の形の影響を取り除き、また比重を求めて、各産地の滑石・片岩原石群および各地遺跡から遺物群の合計６３個と比較しマハラノビスの距離を求めてホテリングのＴ２乗検定によって同定を行った。また、ＥＳＲ信号から、各原石・遺物群との比較を行った。

２．蛍光Ｘ線分析法による産地分析

産地同定に使用する滑石・片岩原石は、和歌山県・岩橋千塚Ａ・Ｂ・Ｃ地点、岡山丁、雑賀崎-1、-2、三谷-1・-2、荒見、上田、学文路、鞆渕八幡神社、竜門山（仲原知之氏提供）

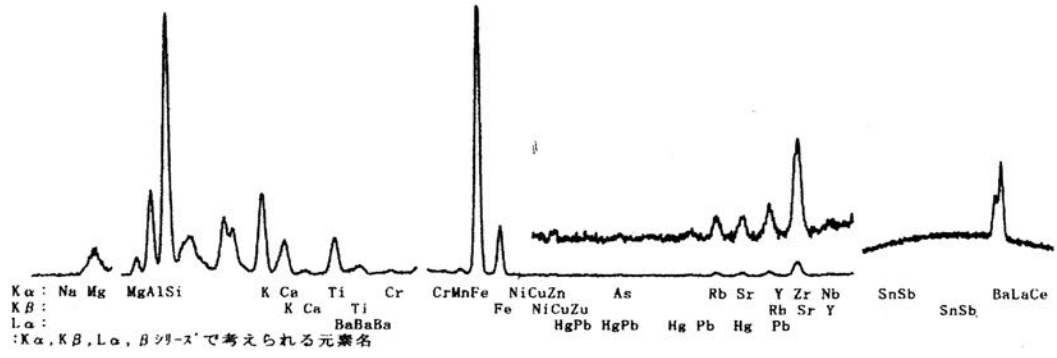
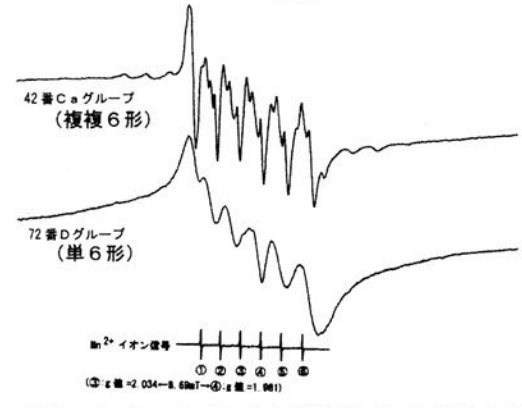


図1　寺田遺跡出土臼玉７２番Ｄグループの蛍光Ｘ線スペクトル

福岡県・古屋敷、兵庫県・満福寺、聖長鉱山、関宮、沼島アミダバエ、和歌山県・石筆山、金神、船戸鉱山、三和、寺山古墳鉱床、下三毛、亀和本流、上三毛、最初ヶ峰、中ノ宮、埼玉県・波久礼、神流上流、茨城県・白羽、（山岡邦章氏提供）徳島県・眉山、落合谷、鮎喰川、大谷、蛇谷、鈴江谷、高越山、（中村豊氏提供）で、また遺物群は、岐阜県・昼飯大塚遺跡諸群、和歌山県・秋月遺跡諸群、神奈川県・塚越遺跡諸群、岡田西河内遺跡群、島根県・大蔭遺跡群などの合計６３個と比較を行った。同定の元素比組成指標は、図１に示す分析元素からMg/Si, Al/Si, K/Si, Ca/Si, Ca/Ti, Cr/Fe, Cr/Mn, Mn/Ti, Mn/Fe, Ni/Fe, Y/Fe, Zr/Fe, Sr/Feから群毎に各元素比を組み合わせて同定に使用した。

図２ 寺田遺跡出土臼玉のMnイオン ＥＳＲ信号



２．ＥＳＲ分析法による産地分析

滑石、緑泥石片岩に含有されているイオンとか、岩石が自然界からの放射線を受けてできた色中心などの常磁性種を分析し、その信号の違いから産地間を区別する指標を見つけて、産地分析に利用する。図２は臼玉の中の Mg を置換した Mn に関係した信号と推測した。Mn イオンの６本の信号は分裂し超微細構造を示し複雑な形となる（仮に複複６形と呼ぶ）。幅の広い単純な６本（仮に単６形と呼ぶ）の信号を示す遺物は、回転させても、信号の形の変化はない。複複６形と単６形は異なった鉱物の可能性が推測され、岩石を区別する指標になると思われる。同じ変成度で同じ鉱物であれば、同じ信号になることは想像でき、ＥＳＲ信号が産地の特徴を反映する可能性が推測される。

３．寺田遺跡出土玉類 169 個の産地分析結果

表1　寺田遺跡出土玉類169個の各群一致頻度

XRF分析による各遺物群名	一致頻度 個数・(%)	ESR信号-Mn イオン波形(個数)	肉眼観察 グループ名(個数)	比重・平均値 ±標準偏差
昼飯大塚A遺物群	1(0.6%)	単6(1)	無(1)	2.651
昼飯大塚B遺物群のみ	1(0.6%)	単6(1)	Ca(1)	2.715
昼飯大塚C遺物群のみ	96(56.8%)	単6(92),不明(4)	A(1)Ca(1)D(5)E(3)F(4) G(4)H(4)K(2)無(72)	2.696±0.104
昼飯大塚CとB両遺物群	25(14.8%)	単6(23),不明(2)	G(1)H(1)A(1)無(22)	2.715±0.085
昼飯大塚諸群	小計123個 (72.8%)			
寺田B遺物群のみ	2(1.2%)	複複6(2)	B(2)	2.795
寺田Cab遺物群のみ	12(7.1%)	複複6(11),不明(1)	Ca(7)Cb(3)無(2)	2.797±0.086
寺田CabとB両遺物群	10(5.9%)	複複6(8),単6(1) 不明(1)	B(6)Cb(1)無(3)	2.801±0.020
寺田G遺物群	3(1.8%)	単6(2),不明(1)	G(1)無(2)	2.673±0.207
寺田AD遺物群	6(3.6%)	単6(6)	A(5)D(1)	2.872±0.034
寺田3・30・45遺物群	3(1.8%)	不明(3)	無(3)	2.698±0.091
寺田2遺物群	1(0.6%)	単6(1)	無(1)	2.792
寺田5遺物群	1(0.6%)	単6(1)	無(1)	3.161
寺田12遺物群	1(0.6%)	単6(1)	無(1)	3.161
寺田38遺物群	1(0.6%)	単6(1)	無(1)	2.669
寺田40遺物群	1(0.6%)	不明	K(1)	2.895
寺田47遺物群	1(0.6%)	単6(1)	K(1)	2.973
寺田82遺物群	1(0.6%)	単6(1)	無(1)	2.844
寺田153遺物群	1(0.6%)	複6？(1)	無(1)	3.068
寺田7-1遺物群	1(0.6%)	不明	無(1)	3.073
寺田7-2遺物群	1(0.6%)	単6(1)	無(1)	2.967
寺田遺物諸群	小計46個 (27.2%)			
総合計	196個(100.2%)			

今回分析された遺物１６９個の中の１２３個（７２．８%）が昼飯大塚遺跡の遺物群に同定され、何処の群にも一致しなかった遺物は４６個（２７．２%）で、同じ遺物の分析場所を変えて、統計処理が可能な合計分析数にして寺田遺物諸群を作った（表１）。分析の目的の中に石質の肉眼観察によるグループ分類とＸＲＦ、ＥＳＲ分析法の結果との関係を調べることもあり、肉眼でＥ、Ｆ、Ｈのグループは全て昼飯大塚Ｃ遺物群に同定された。Ｃａの一部とＣｂグループで寺田Ｃａｂ遺物群をつくった。ＡとＤグループで寺田ＡＤ遺物群を、Ｇと無（分類外）グループで寺田Ｇ遺物群を、Ｂグループをまとめて寺田Ｂ遺物群を作った。寺田遺物諸群を作ったことにより、将来、他の遺跡で同じ組成の遺物が使用されていたか、また新たに見つかった原石産地の原石に一致するか判定できるようにした。寺田遺跡の臼玉と同じ石材の遺物は、岐阜県昼飯大塚遺跡、和歌山県秋月遺跡で見られた。

茨城県つくば市桜塚古墳，甲山古墳出土ガラスの蛍光X線分析データから見た古代ガラスの流通と組成的変遷に関する一考察

Chemical compositions of glass beads excavated from Sakurazuka and Kabutoyama Kofun in Ibaraki determined by X-ray fluorescence analysis showing an aspect of distribution of glass in ancient Japan

○澤村 大地[1]、松崎 真弓[1]、加藤 千里[2]、谷口 陽子[2]、中井 泉[1]
（1 東京理科大学、2 筑波大学）
○Daichi Sawamura[1], Mayumi Matsuzaki[1], Chisato Kato[2], Yoko Taniguchi[2], Izumi Nakai[1]
(1 Tokyo University of Science, 2 Tsukuba University)

1. はじめに

ガラスは紀元前2300年頃の西アジアに起源を持ち、シルクロードを経て東方へと伝播した。極東の日本に初めてガラスが伝わったのは、誕生から約2000年後の弥生時代前期末のことである。しかし、当時の日本には原料からガラスを製造する技術はなく、古墳時代末期まではその全てが海外からの搬入品とされる[1)]。一般的に、ガラスの化学組成はその原料の産地や時代を反映することから、生産地を議論する際に非常に重要な指標となる。我々は近年、弥生～古墳時代の九州地方および関東地方の遺跡から出土したガラスビーズに着目し、蛍光X線による非破壊オンサイト化学組成分析を行っている[2-3)]。しかし、古墳時代における関東地方出土の古代ガラスを分析した例は少なく、当時の関東地方におけるガラスの流通形態は不明である。そこで、本研究では未だ報告例の少ない古墳時代の関東地方の資料として、茨城県つくば市出土の古代ガラスの化学組成分析を行い、その組成的特性化を行った。さらに九州地方のそれらと比較することで、東西日本の古代ガラスの時代による組成的変遷の様相について考察を行うことを目的とした。

2. 分析資料および分析装置

分析資料は桜塚古墳出土のガラス製品29点および甲山古墳出土のガラス製品53点の合計82点である。両古墳はいずれも現在の茨城県つくば市に位置し、桜塚古墳は4世紀末、甲山古墳は6世紀末のものとされる。資料の多くはビーズ状で、径が3～4 mm、高さが1～3mm程度と非常に小さいものであった。また、1点の勾玉を除いて、すべてが透明で紺色または青緑色を呈していた。特に桜塚古墳出土のものについては全てが透明青緑色ガラスビーズであった。また、比較資料として先行研究[2)]で得られた弥生時代～古墳時代の九州地方出土のガラス製品の分析データを使用した。

化学組成分析には当研究室が OURSTEX（株）と共同で開発した可搬型蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-IV を用いた[2)]。得られた蛍光X線スペクトルから、検量線法を用いて計18元素の酸化物換算濃度を算出した。また、ガラス中に散在する顔料の相同定には可搬型顕微ラマン分光分析装置 MiniRam（B&W TEK 製）を用いた。

3. 分析結果および考察

今回測定した2つの遺跡から出土したガラス製品全82資料を蛍光X線分析し、定量した結果、その化学組成からカリガラス（K_2O-SiO_2）、ソーダ石灰ガラス（Na_2O-CaO-SiO_2）、アルミナソーダ石灰ガラス（Na_2O-Al_2O_3-CaO-SiO_2）の3種のアルカリケイ酸塩ガラスに分類された。これらアルカリガラスについて、基礎ガラス原料に由来する微量重元素 SrO、ZrO_2 に着目し、特性化を試みた（Fig. 1）。これより、ガラスの材質によって異なる組成的特徴を示す一方で、同種の基礎ガラス組成をもつ資料は出土地域に因らず類似した組成を示すことが分かった。これら3種類のアルカリガラスは異なる起源を持つことが指摘されているため[1]、少なくとも3種の異なる起源をもつ古代ガラスが関東地域まで流通していたことが明らかになった。一方で、先行研究も含めて時代による古代ガラスの組成的変遷（Fig. 2）を見てみると、関東と九州で大きく様相が異なることがわかった。弥生時代に両地域でカリガラスが流通していたが、古墳時代に入ると、九州地方ではアルミナソーダ石灰ガラスに、関東地方ではソーダ石灰ガラスへと変遷していく。このことから、古墳時代に両地域で流通したガラスは異なる搬入経路をもつ可能性が示唆される。

また、先行研究[2,3]において半透明黄色系ガラスには黄色顔料であるスズ酸鉛（$PbSnO_3$）が使用されていることが顕微ラマン分光分析によって明らかとなっている。しかし、今回分析した茨城県出土の資料においてスズ酸鉛は1点も検出されなかった。現在のところ、九州地方、岡山県、和歌山県の資料においてのみスズ酸鉛が検出されていることから、関東圏と関西以西においてスズ酸鉛着色ガラスの分布に差が生じているのではないかと考え、今後の課題としている。

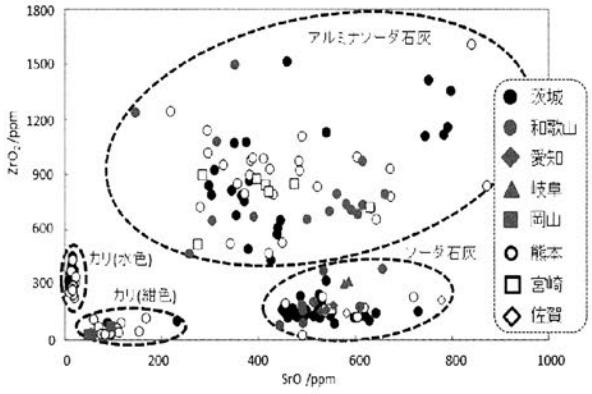


Fig. 1　微量重元素による古代ガラスの特性化

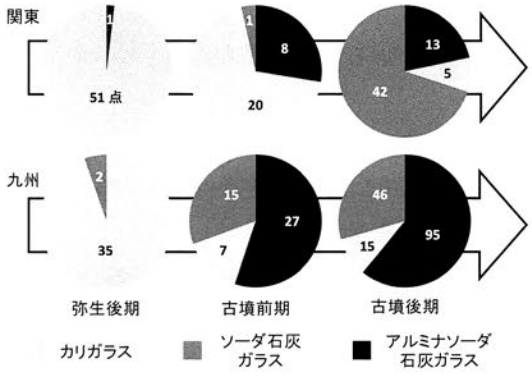


Fig. 2　関東・九州地方出土ガラスの組成的変遷

【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) 白瀧絢子, 阿部善也, K. タンタラカーン, 中井 泉, 池田朋生, 坂口圭太郎, 後藤克博, 荒木隆宏：考古学と自然科学, **62**, 29-52 (2012).
3) 松崎真弓, 白瀧絢子, 池田朋生, 中井 泉：X線分析の進歩, **43**, 437-452 (2012).

平城京跡出土鉛釉瓦の化学的特徴
Chemical characteristics of the lead-glazed tile excavated from the Heijo Palace site

○降幡順子（奈良文化財研究所）、今井晃樹（同左）、齋藤努（国立歴史民俗博物館）
○Junko Furihata (Nara National Research Institute for Cultural Properties[*1]), Koki Imai[*1], Tsutomu Saito(National Museum of Japanese History)

1. はじめに

平城京内から出土した施釉瓦に着目し、出土地点や時期による差異について検討した。対象資料は、鉛ケイ酸塩が施釉されている鉛釉瓦であり、考古学的には奈良時代前半および後半に属すると考えられる。これらに対し、釉薬と胎土の化学組成分析と、釉薬の鉛同位体比分析を行った。それらの結果を、瓦の時期や型式と照らし合わせながら詳細に検討したところ、同一型式であっても胎土の化学組成は出土地点によって差異が認められることや、東院地区出土資料は釉薬の鉛同位体比にばらつきのあることが分かったので報告をおこなう。

2. 分析資料

分析に供した資料は、平城京内出土資料8点、平城宮内出土資料4点、素地と考えられている歌姫西瓦窯出土資料1点、平城宮東院地区出土資料5点の計18点である。6667D型式は8世紀前半、それ以外の資料は8世紀後半と考えられている。資料の詳細を表1に示す。

表1　資料詳細

	出土地	点数		亜鉛を検出した点数
奈良時代前半	平城京内[*1]	5	内6667Dは4点	0
	平城宮内	1	6667D	1
	歌姫西瓦窯	1	6667D素地	—
奈良時代後半	平城宮内	3		0
	平城宮東院地区	5		2
	平城京内	3		2

*1 平城京左京二条二坊十坪出土瓦

3. 分析方法

各分析法における測定条件は以下のとおりである。

(1)釉薬の蛍光X線分析

釉層から約0.5～1mm大の破片を採取し分析試料とした。分析には蛍光X線分析装置EAGLEIIIを使用した。測定条件は管電圧20kV、管電流200μA、X線照射径50μm、測定時間300秒、真空雰囲気中である。定量分析の標準試料には、NIST（アメリカ国立標準技術研究所）発行の1412、620、BAS（Bureau of Analyzed Samples Ltd.）発行のSGT-5、6、7および産業技術総合研究所地質調査総合センター岩石標準試料JB-1aを用い、検出元素の各酸化物の合計が100wt%になるよう規格化し、FP法によって定量値を求めた。分析は3箇所を測定して平均値をとった。表面風化層を含むため、風化の影響による組成の変動はあるものと考える。

(2)釉薬の鉛同位体比分析

(1)において蛍光X線分析に用いた釉薬を分析試料とした。鉛の分離は高周波加熱分離法によって行った。分析には表面電離型質量分析装置Finnigan MAT-262を使用し、鉛200ng相当量の試料溶液を分取し、テフロン容器内で蒸発乾固したのち微量の希硝酸で溶解し、レニウムシングルフィラメント上にリン酸・シリカゲルとともに塗布して測定に供した。測定条件はフィラメント温度1200℃とし、同一条件で測定した標準試料（NIST　SRM-981）のデータを用いて質量分別効果の補正をおこなった。

(3)胎土の蛍光X線分析

胎土部から約4～10mg程度を採取して分析試料とした。分析に使用したのは蛍光X線分析装置EAGLEⅢで、測定条件は管電圧20kV、管電流100μA、X線照射径50μmφ、測定時間300秒、真空雰囲気中である。定量分析の標準試料には、産業技術総合研究所地質調査総合センター岩石標準試料JB-1a、JF-1、JF-2、JG-1a、JG-3、JGb-1、JGb-2、JR-1および窯業協会標準試料（R701）を用い、検出元素の各酸化物の合計が100wt%になるよう規格化し、FP法によって定量値を求めた。分析は3箇所を測定して平均値をとった。

4. 結果と考察

釉薬の鉛同位体比分析結果（a式図）を図1に示す。奈良時代前半の平城京内出土資料は値が近接しているため、同一の鉛原料であった可能性がある。平城宮出土資料の値は、それらからはわずかに離れている。

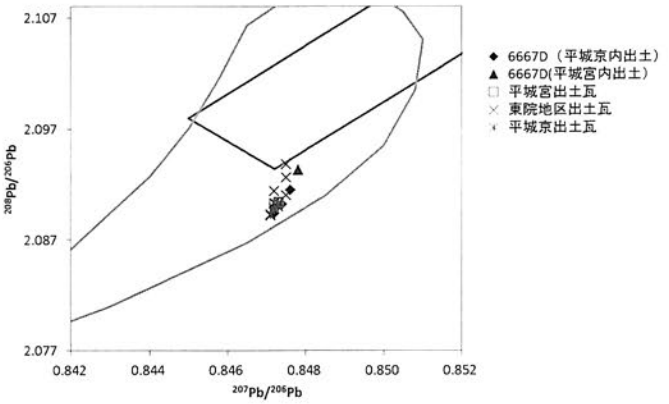


図1 鉛同位体比分析結果（a式図）

奈良時代後半の資料は、前半と同じ範囲に分布するものもあるが、東院地区出土資料には、やや値のばらつきがみられる。この結果の要因を複数の産地から集められた鉛の使用に求めるならば、造営時に、工人・材料の導入が幅広く行われた可能性も考えられる。

胎土の分析は微少量の試料に対して実施しているので、ここで得られた化学組成は、胎土全体ではなく、主にマトリックス部分の特徴を示していると考えられる。胎土の蛍光X線分析結果を図2に示す。奈良時代前半の平城京内出土資料は、釉薬の鉛同位体比と同様に、数値がまとまりをみせ、また素地と考えられている歌姫西瓦窯出土試料とも近い値であった。平城宮内出土資料は、平城京内出土資料よりも奈良時代後半の平城宮内出土資料と値が近かった。これらの結果は、平城宮内と平城京内では同一型式を使用するなどの交流を持ちながらも、それぞれの造瓦を展開していたことを示すものである。奈良時代後半資料のうち、平城宮内出土資料と平城宮東院地区出土資料の値には相違がみられる。釉薬については、東院地区の数点を除くと同じ産地からの原料が供給されていた可能性が高いが、胎土については、それとは生産体制が異なっていた可能性がある。

釉薬の化学組成については、緑釉に含まれる亜鉛に着目した。今回の資料では、緑釉が残存している資料17点中5点から亜鉛が検出された（表1右欄）。亜鉛の有無からみると、緑釉の色材には少なくとも2系統が存在していたといってよい。

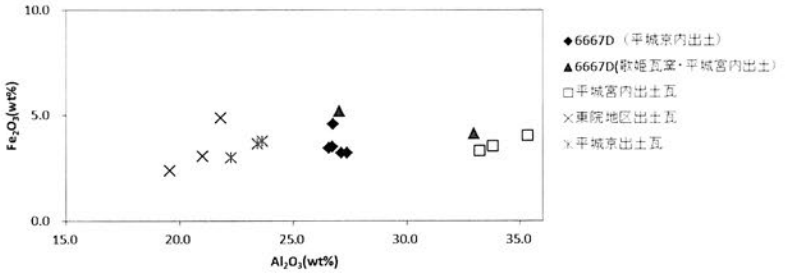


図2 胎土の分析結果

断面薄片の粒子配向からみた弥生深鍋の紐積み方法：北部九州と東北地方の比較

Reconstructing Coiling Methods of Yayoi Cooking Pots Based on Microscopic Observation of the Alignment of Sand Particles in Ceramic Thin Sections.

○小林正史（北陸学院大学）、河西学（帝京大学文化財研究所）、鐘ヶ江賢二（鹿児島国際大学）、
田畑直彦（山口大学埋蔵文化財資料館）、庄田慎矢（奈良文化財研究所）、
山崎頼人（小郡市埋蔵文化財調査センター）、高木晃（岩手県文化振興事業団埋蔵文化財センター）
○MASASHI KOBAYASHI、MANABU KASAI、KENJI KANEGAE、NAOHIKO TABATA、
SHINYA SHODA、YORITO YAMASAKI、KO TAKAGI

目的と方法

本稿の目的は、断面薄片における粘土粒子の配向のズレを偏光顕微鏡で観察する作業を通して、北部九州と東北地方の弥生深鍋の紐積み方法の違いと共通性を明らかにすることである。北部九州は、①小郡市の５遺跡の弥生前期、②小郡市の弥生中期初頭（城ノ越式）～前半（須玖Ⅰ式）、③小郡市の５遺跡の中期後半～後期、東北地方は、④宮城県原遺跡の遠賀川系深鍋（中期２期）、⑤岩手県金附遺跡の前期末～中期Ⅱ期、⑥青森県垂柳遺跡の中期３期の非遠賀川系深鍋、を各々対象とした。粘土紐・帯の幅を計測するには長めの断面薄片が必要なため、得られる資料は数が限られる。各時期とも約 10 点の断面薄片を観察した。

断面薄片の粘土粒子配向の顕微鏡観察では、①配向の不連続性、②直行ポーラでの色調の違い、③配向のズレ、の３基準により、配向が異なる境界に線構造を認定した。以下では、このようにして認定された線構造を「粘土紐・帯の継目」と解釈して記述する。

紐積み方法について、「頸部の括れの作り出し方（折り曲げ技法の有無）」、「粘土紐・帯の接着程度」、「1段の幅（２cm 程の粘土紐か、粘土帯か）」、「外傾接合か内傾接合か」、の４点を検討した。

粘土紐・帯の接着強度

「継ぎ目を示す線構造を認定できた頻度」により、資料間で粘土紐の接着強度を比較した。また、内外表面の接合剥離痕や水平に全周を巡る割れ口の出現頻度も、粘土紐の接着強度を測る参考資料とした。

まず、北部九州での時間的変化をみると、弥生前期（5/12 個）と中期初頭・城ノ越式（5/8 個）よりも中期の須玖式の方が明瞭に継ぎ目（本体部分）を認定しにくくなった。一方、頸部や口縁部の凸帯では、各時期とも高い頻度で継ぎ目を認定できたことから、本体部分の継ぎ目が前期から中期へと認定しにくくなった事実は、粘土紐・帯の接着強度が高まったことを示す。弥生後期になると再び接着強度が弱まる。この点は、内面に紐積み痕を残す例が出現することからも明らかである。

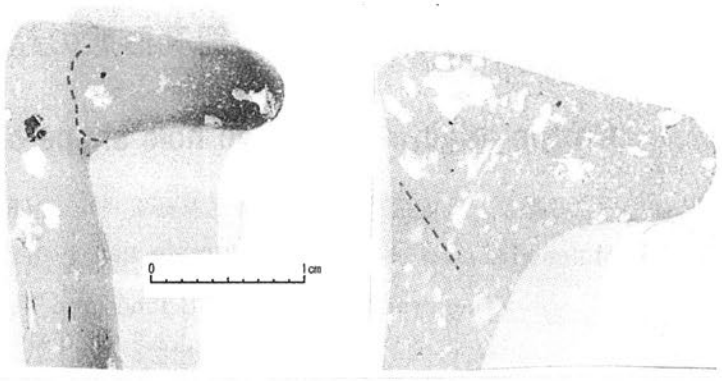
次に、東北では、３資料群共に高い頻度で継ぎ目が認定されたことから、北部九州の同時期に比べて接着強度が弱いことが明らかである。継ぎ目の出現頻度では、遠賀川系深鍋（中期２期の仙台平野。全点に継ぎ目が確認でき、平均本数は 3.7 本）と岩手の中期２期、津軽の垂柳式深鍋の間に明瞭な違いは見られなかった。ただし、岩手の中期２期の非遠賀川系深鍋では内面に紐積み痕を残す例がしばしばみられたのに対し、遠賀川系深鍋では見られなかった。

頸部の括れやＬ字形口縁部の成形方法

遠賀川式深鍋は如意状口縁により特徴づけられるが、この頸部の括れ部には継ぎ目が存在せず、滑らかな粒子配向がみられることから、東南アジア稲作農耕民の伝統的土器作りに普遍的にみられる「折り曲げ技法＋口縁部横ナデ」により作りだされたことが明らかである。

城ノ越式と須玖Ⅰ式は、頸部に括れがなく、Ｌ字形口縁が特徴である。上述のように、全点において口縁部凸帯付近に継ぎ目が認定されたが、城ノ越式では口縁部まで成形した後、その上端に粘土紐を貼り付けることにより凸帯を作り出すのに対し（写真左）、須玖Ⅰ式になると、最上段の短い粘土紐を折り曲げる操作により同形の凸帯を作り出す（写真右）。この変化の背景として、城ノ越式から須玖Ⅰ式へと深鍋が大

型化する（後者では5リットル以上が過半数を占める）ため、凸帯の接着強度を高めたことが考えられる。須玖II式～後期のく字口縁深鍋でも折り曲げ技法により頸部を作り出している。



東北地方については、遠賀川系深鍋は上述のように非常に高い頻度で継ぎ目が認定できたにも関わらず、括れ部に明瞭な継ぎ目は見いだせなかったことから、如意状口縁は西日本と同様に「頸部折り曲げ＋横ナデ」で作り出された可能性が高い。一方、ほぼ同時期の岩手の非遠賀川系深鍋は、頸部の内表面に継ぎ目を残す例が少なからずあることから、「粘土紐の接着角度を変えることにより括れを作り出す」という縄文晩期以来の接合方法を用いている。津軽の中期３期の田舎館式深鍋は、頸部折り曲げ技法により作られたと推定される例もあるが、①括れ部に線構造が認定された例が少数ある、②復元深鍋では括れ部で割れ口が全周を巡る例が少なからずある、などの点から、仮に折り曲げ技法を用いたとしても、仙台平野の遠賀川系深鍋や西日本の弥生前期深鍋に比べて頸部の堅牢さが低いといえる。

外傾か内傾か

北部九州では、弥生前期から中期前半（須玖Ⅰ式）までは外傾接合なのに対し、後期では内傾に変化する。一方、東北地方の弥生前・中期深鍋は、遠賀川系も含めて内傾接合が基本である。ただし、田舎館式深鍋では、器壁が上向きになる肩部のみ外傾接合の例が２個存在する。このような「紐積み時の器壁のへたりを抑える工夫」は、大洞式の壺の肩部にもみられることから、その伝統を引いているのかもしれない。

粘土紐・帯の幅

北部九州の弥生前・中期では、継ぎ目が２本以上確認されたのは前期の１例（口縁を含む最上段が26mm、２段目が35mm）のみであることから、最上段の粘土紐・帯幅しか知りえない。弥生前期（26-35mm）から中期前半（40-50mm）へと幅広くなる。弥生前期では粘土帯を積んだことが明らかなので、中期でもこの粘土帯積みが継続した可能性が高い。外傾接合と連動していると思われる。

東北の中期２期では、遠賀川系（仙台平野）・非遠賀川系（岩手）ともに、15-20mmが基本である。中期３期の田舎館式では若干紐幅が大きくなる可能性がある。

北部九州と東北の違い

東北の遠賀川系深鍋の紐積み方法は、縄文以来の「幅２cm未満の粘土紐の内傾接合」である点で、西日本の遠賀川式とは違いが大きいものの、「炊飯の蒸らし時に頸を掴んで移動する際に必要な堅牢な頸部」を作り出すための「頸部折り曲げ技法による如意状口縁」は受け入れた。一方、東北の前・中期の非遠賀川系深鍋は、折り曲げ技法を欠くか、頸部の堅牢さが劣る点で、より縄文深鍋の伝統を引いている。

地域と時期	遺跡	頸部の括れや口縁部凸帯の作り方	継目（口縁部凸帯を除く）の検出頻度	頸部凸帯の継目の検出頻度	内傾か外傾か	粘土紐・帯の幅
北部九州前期	小郡の5遺跡	如意状口縁は頸部を折曲げ（9/12個で確認	5/12個（うち2本が1個）	2個全て	外傾のみ（5個で確認）	26-35mm
北部九州中期前半	三沢北中尾、寺福童	城ノ越式：L字凸帯は凸帯を貼り付け（7個全てに継目を検出） 須玖Ⅰ式：L字口縁は、最上段の短い粘土紐を折り曲げ（3個全てに継目を検出）	胴部の継目の検出頻度は、城の越式（5/8個）から須玖Ⅰ式（1/3個）に減少	3個全て	外形のみ（6個で確認）	40-50mm
北部九州中期後半～後期	小郡の5遺跡	く字口縁は頸部を折り曲げ	後期になると継ぎ目の検出頻度が増加			
宮城・中期2期	原遺跡の遠賀川系	如意状口縁は頸部を折り曲げ（3/10個で確認	10個全てで検出（平均3.7本	（凸帯なし）	内傾のみ（全個で確認）	15-20mm？
岩手中期初頭	金附遺跡の非遠賀	頸部の括れは粘土紐の角度を変えて作り出す（3個に内面に継目が露出		（凸帯なし）	内傾のみ	15-20mm？
津軽中期3期	垂柳遺跡の田舎館式	頸部に継目がある例が存在。屈折部で割れ口が巡る頻度が高い	7/10個（継目を認定できなかったのは、大型壺口頸部と有文鍋）	（凸帯なし）	内傾が基本（7個で確認）だが、うち2個は胴上部のみ外傾	20-25mm

三角縁神獣鏡の鈕孔形態の起源について

On the origin of the knob hole shape of the TRDA mirrors

○馬淵久夫（東京文化財研究所名誉研究員）、金正耀（中国科学技術大学）
○Hisao Mabuchi (Researcher Emeritus, Tokyo Research Institute of Cultural Properties),
Jin Zhengyao (University of Science and Technology of China)

1. 研究の動機

発表者の一人は第 29 回大会（京都 2012 年）において、「舶載」三角縁神獣鏡の原材料が銅緑山（湖北省）を中心とする長江中流域の鉱山に由来すると推定されることを報告した。編年研究によると、最初に作られた三角縁神獣鏡は同向式の景初三年鏡で、それから約 25 年（短期説）または約 40 年（長期説）のあいだ製作が続いたとされる。西暦に直すと 239 年ころから、263 年ころまで（岸本直文、車崎正彦）、あるいは 280 年ころまで（福永伸哉）ということになる。

呉の黄武元年（222）～天紀四年（280）の期間、銅緑山を含む長江中流域は呉の領地内にあり、三角縁神獣鏡が魏の領土内・朝鮮半島・日本列島のどこで製作されたにしても、原材料がそれらの地域に運び出されることは、魏と呉が政治的対立関係にあったため不可能なように思われる（長江中流域の武昌を出て呉国内から原材料または鏡が日本列島へ運ばれるルートは、呉郡呉県および会稽郡山陰県に有力な鋳鏡所が存在したことからみて考え難い）。

この一見不可能な事柄も、原材料（銅、錫、鉛）を調達する能力をもつ鋳鏡師（群）が関与すれば可能になるとわれわれは考えた。それを証明する方法を思案するうちに、三角縁神獣鏡に特有な長方形鈕孔（福永伸哉 1992）が鋳鏡師（群）のトレーサーになることに思い至った。

2. 調査研究の方法

①呉の初期（222～229）の都であった武昌（湖北省鄂州市、一時期、鄂城と呼ばれた）から出土した漢・三国・晋の時代の銅鏡を現地調査する。2012 年 9 月 14～15 日に実施。

②中国出土の銅鏡を図録で写真判定し、地域別に比較する。下記の 6 冊を使った。

鄂州銅鏡（2002）、鄂城漢三国六朝銅鏡（1986）、洛陽出土銅鏡（1988）
六安出土銅鏡（2008）、皖江漢魏銅鏡選粋（2010）、浙江出土銅鏡修訂本（2006）

3. 鄂州市博物館での観察結果

展示されている鏡は 100 面近くあり，漢・三国・晋の時代に限っても 74 面あった。それらの鈕孔はほとんどが円孔であったが、その中から，目視で方形孔をもつ鏡を 5 面見出した。写真 1 はその一つである。

5 面の鈕孔形態は長方形というよりも、正方形に近いものが多かったが、方形鈕孔が 10%弱あることを確認することができた。

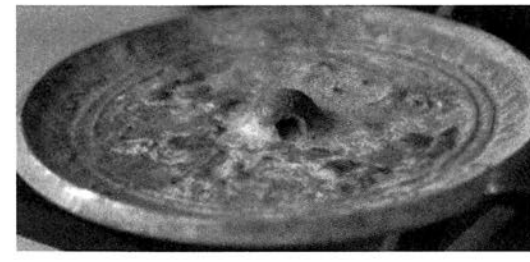


写真 1 分段式神獣鏡（同向式） 後漢時代
1963 年 8 月鄂鋼採集（撮影：金正耀）

4. 図録観察による鈕孔形態

中国の図録で鏡の鈕孔形態を判別する前に，三角縁神獣鏡の写真（モノクロおよびカラー）を多数観察して，長方形鈕孔が上方から見たときにどのように写し出されるかを理解し，慣れるように心掛けた。その結果，6編の図録の総計666面のうち613面（約92%）を判別することができた。613面のうち，○（円孔）か□（方形孔）かにおおむね分別することができた鏡は580面（約95%）で，残りの33面は半円ないし釣鐘型であった。

表1に出土地別の円孔と方形孔をもつ銅鏡の数を示した。円孔に比べて、方形孔をもつ鏡は、鄂州が多く、洛陽・六安（安徽省南西部）・浙江はきわめて少ない。

鄂州の場合、後漢鏡に多いことが読み取れる(約20%)。

表1　出土地別の鈕孔形態

出土地	鄂州銅鏡		洛陽銅鏡		六安銅鏡		浙江銅鏡	
鈕孔 / 時代	○	□	○	□	○	□	○	□
後漢	91	23	9	0	59	0	109	3
三国	90	4	22	0	2	2	27	0
晋	2	0	3	2	4	0	5	2

（鄂城漢三国六朝銅鏡と皖江漢魏銅鏡選粋は少数につき省略）

5. 方形鈕孔製作の動機

前漢鏡以来の伝統的「円孔」に対して（観測したものすべてが円孔），なぜ方形孔を作る工人が出たかを考えてみたい。いまのところ，われわれは二つの動機の可能性を想定している。

①鋳造用のブリッジ中子を作るのが簡単（半円と方形は簡単で円孔は手間がかかる）。

②鈕の形に合わせた（重列神獣鏡のような平円鈕に多く、半環鈕に少ない）。

6. 紀年鏡に見られる方形鈕孔

鄂州銅鏡の方形孔をもつ後漢鏡の中で際立って多いのは後漢末期の「建安」紀年鏡である。表2に浙江銅鏡との比較を示した。浙江銅鏡の5面すべてが円孔をもつのに対して、鄂州銅鏡では8面中5面（うち4面は重列式）が方形孔をもつ。さらに名目上の魏の年号をもつ黄初二年鏡・黄初四年鏡に方形孔が見られる。それより後の呉の紀年鏡は総計28面存在するが、すべて円孔をもち、方形孔のものはない。

表2　「建安」紀年銘神獣鏡の鈕孔形態

紀年銘	AD	鄂州銅鏡		浙江銅鏡	
		鏡式	鈕孔	鏡式	鈕孔
建安四年	199			同向式	○
建安五年	200	対置式	○		
建安六年	201	重列式	⌓		
		重列式	□		
建安七年	202			重列式	○
建安十年	205	重列式	□	重列式	○
建安十九年	214	重列式	□		
建安廿年	215			半円方形	○
建安廿一年	216	同向式	○		
		対置式	□		
建安廿二年	217	重列式	□		
建安廿四年	219			対置式	○
黄初二年	221	同向式	○		
		同向式	□		
黄初四年	223	対置式	□		

○円孔　□方形孔　⌓半円孔/釣鐘型孔

7. 三角縁神獣鏡との関係

長方形鈕孔の起源が鄂州にある可能性が高くなった。残る課題は、黄初四（223）年から青龍三（235）年までのミッシング・リンクを埋めること、および、正方形から長方形への変化を説明することである。

後者については、孔に通す紐が、丸紐から平紐へ移行したことを想定している。

非破壊法による出土青銅鏡の組織観察と成分分析

Microstructural examination and chemical analysis on the excavated bronze mirrors by non-destructive method

○長柄毅一（富山大学）、奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）、菅谷文則（同左）、宮原晋一（同左）、三船温尚（富山大学）

○Takekazu Nagae (University of Toyama), Masayoshi Okuyama, Fuminori Sugaya, Shinichi Miyahara (Archaeological Institute of Kashihara, Nara), Haruhisa Mifune (University of Toyama)

1. はじめに

本研究の目的は、奈良県天理市の黒塚古墳から出土した三角縁神獣鏡の組成を非破壊で明らかにすることにある。古代青銅鏡の分析例としては、まず近重眞澄氏による「東洋古銅器の化学的研究」が初期の代表的な研究としてあげられる[1)]。小松茂氏と山内淑人氏らは、秦～明の中国鏡 50 面、日本の古鏡 3 面を含む 56 面を分析し、成分の種類と量によって 6 種類に分類した[2)]。また、田辺義一氏による青銅器計 84 点の分析報告があり、そのうち 41 面が青銅鏡である[3)]。いずれも湿式法や発光分光分析などによる分析例であり、個々の分析位置においては精度の高いデータであると考えられる。また、資料の破壊を伴わない分析としては、沢田正昭氏が蛍光 X 線分析法による出土青銅鏡 157 面の分析を行った[4)]。文化財保護の観点から、今日ではこの蛍光 X 線分析法による非破壊定量分析法が主流である。資料を全く傷つけることがないので、対象が貴重な文化財であっても、定量分析を行うことができるが、X 線の脱出の深さは数十ミクロンまでであるため、表面の情報しか得ることはできない。つまり、表面が腐食していたり、鍍金や偏析などによる成分の偏りがあったりする場合には、地金の正確なデータを反映していない。状態のよい伝世品などでは、かなり資料の素材データを正確に分析できると考えられるが、出土した考古遺物の場合は、表面が厚い腐食層に覆われていることが多く、蛍光 X 線分析で地金の正確な成分を知ることは、この腐食層を除去しない限り難しい。

本研究では、蛍光 X 線分析による定性、定量分析を行うほか、表面のマイクロスコープ観察から、金属組織画像を取得し、構成相の比率から蛍光 X 線による定量データを補正することを試みた。

2. 資料および調査方法

今回、調査の対象としたのは、黒塚古墳から出土した 33 面の三角縁神獣鏡のうち、1 号鏡、2 号鏡、3 号鏡、4 号鏡、5 号鏡、6 号鏡、7 号鏡、8 号鏡、9 号鏡、10 号鏡、16 号鏡、27 号鏡、33 号鏡の 13 面である。

使用した蛍光 X 線分析装置は、アワーズテック(株)製の可搬型蛍光 X 線分析装置　OURSTEX 100FA である。ロジウム(Rh)ターゲットを用い、管電圧 35kV 、管電流 0.08mA、照射時間 60s の条件で分析を実施した。定量計算は、ファンダメンタル・パラメータ法(FP 法)によって行った。金属組織観察は(株)ハイロックス製デジタルマイクロスコープ KH-7700 を使用した。鏡を直接観察するため、3D タイリング機能を用い、凹凸面でも広範囲でピントのあった画像を取得することができた。得られた金属組織画像を Adobe Photoshop および三谷商事製画像処理ソフト Win ROOF を用いて解析し、各相の面積率を求めた。

3. 結果および考察

表1に蛍光X線分析法により求めた出土鏡の定量分析データを示す。主要構成元素をCu、Sn、Pbとする三元系青銅合金であった。いずれも、Sn量は30%を超える値を示しているが、実際にこのくらいのSn含有量になると、金属組織の構成相はδ相やε相といった極めて脆い相のみになり、鋳造作業自体困難になる。図1は8号鏡の金属組織である。金属組織が明瞭に観察できた。黒く見える部分がα相（Snを最大16%まで固溶するFCC構造のCu相）であり、その他はα相とδ相からなる共析組織である。α相はデンドライト（樹枝状晶）となっており、典型的な鋳造組織といえる。このα相の割合を画像処理から簡単に見積もると、共析部分のものも含めて70%程度であり、蛍光X線の分析データのようなSnを41%も含むような高錫青銅でないことは明らかである。Snが40%を超えるような青銅合金にはα相は存在しないからである。詳細に観察すると、共析部分はほとんど腐食されていないが、Cu量の多いα相が優先的に腐食されていることがわかる。SnとCuでは、Snの方がイオン化しやすいが、不動態の形成によって腐食電位が逆転し、Cuが流出した結果、相対的にSn量が多くなったものと考えられる。組織写真を二値化し、α相とδ相の比率をより精密に求めることによって、Cu/Sn比を明らかにできる。一方、写真からPb相を明瞭に峻別することは難しいが、蛍光X線分析による出土青銅鏡のSn/Pb比は腐食の状態に関係なく一定となるという報告[4]があり、蛍光X線の分析データを利用して、Pb量はある程度絞り込めると考えられる。このように、蛍光X線分析のデータと金属組織の画像処理データを組み合わせることにより、より正確な定量分析値を非破壊で得ることができると考えられる。

表1　蛍光X線による三角縁神獣鏡の組成分析データー覧

資料	分析値 mass%								備考
	S	Fe	Cu	As	Sn	Sb	Pb	Ag	
1号鏡	Tr.	0.1	56	0.2	40	0.3	3	Tr.	鏡面
2号鏡	0.1	0.5	55	0.3	38	0.2	6	Tr.	鏡面
3号鏡	Tr.	0.3	54	0.3	41	0.3	4	Tr.	鏡面
4号鏡	Tr.	2.3	62	0.1	33	0.3	3	Tr.	鏡面
5号鏡	0.1	0.7	57	0.3	37	0.4	4	Tr.	鏡面
6号鏡	0.1	0.8	48	0.5	40	0.5	10	0.1	鏡背
7号鏡	Tr.	1.4	61	0.4	31	0.3	5	Tr.	鏡面
8号鏡	0.1	0.2	50	0.4	41	0.3	8	Tr.	鏡面
9号鏡	0.1	0.4	56	0.3	36	0.3	7	0.1	鏡面
10号鏡	0.1	2.2	57	0.3	36	0.5	4	Tr.	鏡背
16号鏡	Tr.	0.2	54	0.3	41	0.3	4	Tr.	鏡面
33号鏡	0.1	0.2	58	0.5	32	0.2	10	0.1	鏡面

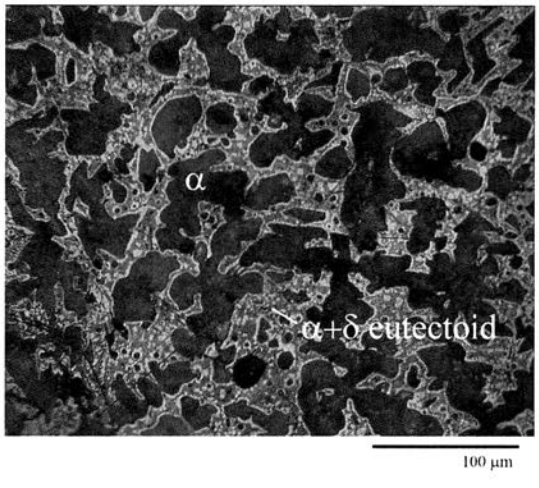


図1　黒塚8号鏡の金属組織

参考文献

1)　近重眞澄 1918「東洋古銅器の化学的研究」『史林』第3巻 第2号　pp.1-35.

2) 小松　茂・山内淑人 1937「古鏡の化学的研究」『東方学報』8巻　pp.11-31.

3) Giichi, Tanabe. 1962.'A study on the Chemical Compositions of Ancient Bronze Artifacts Excavated in Japan'.*"Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Sec.V: anthropology"*. Vol.2, Part 3.　pp.261-319.

4) 沢田正昭 1981「古鏡の化学」『日本の美術 古鏡』第178号　pp.88-94.

X線CTを活用した勝負砂古墳出土有機質製品の調査

The Study of organic grave goods discovered from Syobuzako tumulus using the X-rays CT scanner

○片山健太郎（京都大学）、今津節生（九州国立博物館）、鳥越俊行（同左）、松木武彦（岡山大学）
○Kentaro Katayama(Kyoto university), Setsuo Imazu (Kyusyu National Museum), Toshiyuki Torigoe, (Kyusyu National Museum), Takehiko Matsugi (Okayama university)

1. はじめに

岡山大学考古学研究室では倉敷市教育委員会、九州国立博物館などの協力を得て、岡山県倉敷市下二万に所在する勝負砂古墳において未盗掘の竪穴式石室を調査した。本古墳の竪穴式石室は埋葬当時の空間が保持され、土砂等の流入がほとんどなかったため、通常では土に帰してしまう大量の有機質製品が残されていた。この有機質製品の中でも、馬具の近辺で発見された帯状の有機質製品は、古墳時代の馬具ではこれまで確認されたことのない馬装を構成する帯との認識をもって調査を行っている。

2. 調査の方法

馬具のうち、鋳銅製鈴付鐘轡(以下鈴付鐘轡)の近辺で確認された帯については轡との接続関係等の把握等のため、医療用ギブスによる取り上げを行い、九州国立博物館に持ち込み、X線CTスキャナで撮像ののち、ギブスを除去、X線CT画像を用いて肉眼観察を行った。また、ギブス除去後は、出土状況図を室内で作成し，個々の有機質部品を取り上げたのち、考古学的な観察を行った。また、その過程で個々にX線CTスキャナの測定が必要なものに関しては再度、同装置による撮像を行った。

3. 帯状有機質製品の構造

帯状有機質製品は、並走する縦方向の繊維４本に横方向の繊維を巻き付けて編まれた編帯（Fig.1）と、径0.5～0.８cm前後の紐状製品を連ねた連紐帯（仮称）から構成される。後者の連紐帯については、錆を吸っているためX線CTスキャナでも撮像することができた。X線CTスキャナの画像によっても紐状の物が連なっていることを確認できる（Fig.2）。

編帯は、鈴付鐘轡に接して出土した資料が最も残りが良い。残存長約18cm、残りのよい部位の幅約５cmである。構造はS撚りの双糸４本を軸芯として等間隔になるように配置し、撚りを欠けていない幅広の繊維で編む。編帯の片方の端部の一部が残っており、端部の処理は４本の軸芯の糸を集めて組み、一本の紐にしている。幅広の繊維については、現状では端部の処理がどのようになされているか不明である。

一方、連紐帯は発掘調査現場では、革製品と認識されていた褐色の製品である。いずれも、縦横の端部が残っていないため本来の大きさは不明であるが、最も残りの良好なもので長さ7.3cm、幅4.4cm、厚さは0.6cmである。断面を見ると、0.5cm前後の紐が８本以上並べられた状況を確認できる。平面に並べた太い紐をどのように連結しているかについてはX線CTスキャナの画像でも不明であったが、紐の単位が乾燥や劣化に拠って表出した面とは反対の面に、目の方向が直交する編目状の痕跡を確認することができた。連紐帯の断面を確認すると厚さ１mm前後のシート状の素材の上に太い紐が並べられていると考えられるが、両者の関係は明らかではない。

編帯と連紐帯の関係については、鈴付鐘轡周辺出土した編帯と連紐帯が重なって検出されていること、

連紐帯に、編帯の断片が付着している状況などから、強度において劣るが装飾性に富んだと考えられる編帯を表として、強度において編帯よりすぐれた連紐帯を帯の本体として組み合わせて用いられたと考えられる。

両者の素材については、現状では明らかになっていないが、編帯の軸芯となる双糸については靭皮繊維を用いた糸、編つけられた幅広の繊維についても糸に加工されていない同一の靭皮繊維の可能性が高いが、樹皮等の可能性も残されている。

また、各製品の色調であるが、編帯については、やや赤みを帯びているが、X線CTでは水銀や鉛のような重金属は画像からは確認できないことから、染料などによる染色がなされているのか、素材そのものの腐朽等によるものかわかっていない。

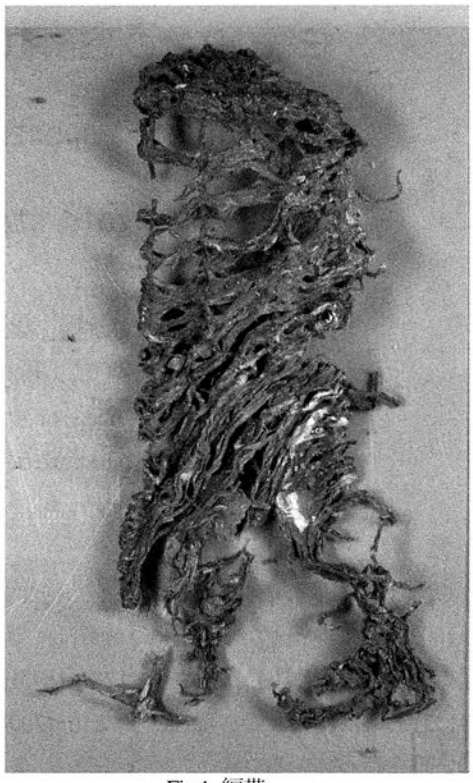


Fig.1 編帯

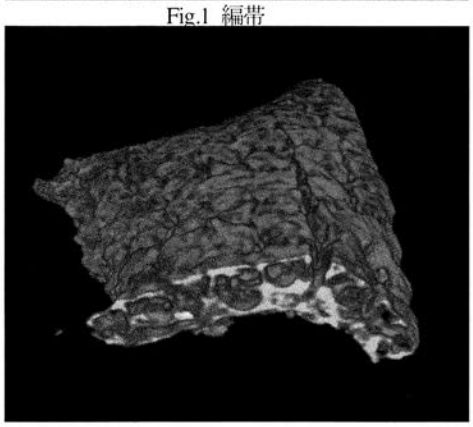


Fig.2 連紐帯のX線CT画像

4. 帯状有機質製品の性格

帯状有機質製品の出土位置と、金属製品への付着状況を見てみると、最も残りのよい編帯と、発掘現場で皮革製品と誤認した連紐帯は馬具の中でも鈴付鏡轡周辺で出土していることから、轡を中心とする面繋に用いられたと考えたが、編帯については鈴杏葉にも付着しており、出土位置からは面繋にのみ用いられたと断言することはできない。また、鈴付鏡轡、鈴杏葉の有機質製帯への接続部品である吊金具や、辻金具を構成したと思われる方形飾金具をみてみるといずれも通有の革帯が用いられていることから、金属製部品に連結する繋の主要な部分は、革帯であったことが確認される。では、勝負砂古墳で出土した帯状有機質製品はどこに用いられていたのか。このことを考える上で参考になるのが、正倉院に残された奈良時代の伝世馬具、各地の寺社伝世馬具と、絵画に描かれた中世から近世に至る飾馬の姿である。正倉院馬具において三繋を構成する帯はいずれも、革帯であるが、金属製品と接続しない尻繋などには、編紐の帯が用いられている（2号鞍など）、その他、古代の寺社伝世の唐鞍などは積極的に繊維製の繋を用いるが、金属製品に直接連結してはいない。また、絵図に描かれた飾馬には繋以外にも、垂飾としての総飾が積極的に用いられている。以上のことから、勝負砂古墳の帯状有機質製品については、金属製品と連結しない、胸繋や総飾に相当する物として用いられた可能性を想定しておきたい。

5. まとめ

X線CTスキャナを用いた出土有機質製品の調査は、有機質製品そのものにおける錆の吸着状況により一定程度有効であることが示された。また、勝負砂古墳で見つかった帯状有機質製品は、馬装に関係したものである可能性が高いことから、今後、古墳時代の馬装の復元においても、このような製品の存在を常に意識しておく必要があることを考えさせると同時に、出土馬具の観察の際や、古墳の発掘調査の際にもこういった製品に関係する微細な有機質痕跡への注意を促すものとして画期的な成果であると考えられる。

伝統建築物の金箔押しに用いられた漆の赤外分光分析

Infrared spectrophotometric analysis on *Urushi* for gold stamping of Traditional Building

○下出祐太郎（京都美術工芸大学）、遠藤淳司（京都工芸繊維大学大学院）、
成田智恵子（京都工芸繊維大学大学院）、近藤香菜（下出蒔絵司所）
○Yutaro Shimode (Kyoto College of Arts and Crafts), Atsushi Endo (Kyoto Institute of Technology),
Chieko Narita (Kyoto Institute of Technology), Kana Kondo (Shimode Maki-e Studio)

1. 緒　言

東本願寺は京都市下京区に所在する浄土真宗大谷派の本山であり、正式には真宗本廟と言う。慶長 7（1602）年の本願寺からの分離・創建後、火災による焼失と再建を繰り返してきた。元治元（1864）年の蛤御門の変の際にも焼失し、明治 28（1895）年に 4 度目の再建が行われた。その後は焼失・再建という事態は起こらなかったが、現在、平成 16（2004）年 3 月より、平成の大修理として御影堂をはじめ主要建物の修理を行っている。

この度、阿弥陀堂の修理に際し、漆塗りや金箔の現状についての確認調査を行った。漆塗りや下地はしっかりしていたものの、図 1 に示すように、金箔は少しこすっただけですぐに剥げてしまうという状態が観察された。この漆塗りや金箔押しは、およそ 120 年前の明治期の再建時によるものと考えられるが、当時はちょうど合成樹脂が使用され始めた時期でもあったことから、再建当時に金箔押しに漆を使用したのか、他の接着剤（合成樹脂や炊きつめ油）を使用したのかについて疑念が持たれた。そこで本研究では、金箔の下の接着層について検討を行うため、赤外分光分析を行い、その解析を試みた。

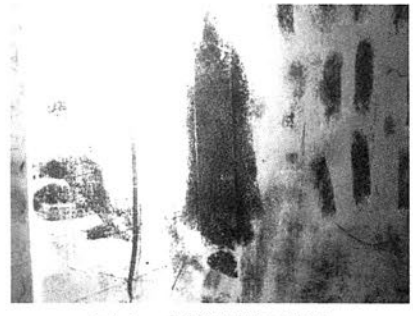


図 1.　金箔剥離の様子

2. 方　法

阿弥陀堂の漆の塗り直しおよび金箔の押し直しを行う前に、ごくわずかな塗膜片を採取し、ATR-IR 法による有機物の分析を行った．また VMS（HIROX 社製 KH-7700）にて断面観察を行った．

3. 結　果

図 2 に、金箔表層部における IR スペクトルを示す。金箔表層部の厚みにばらつきがあるようで、スペク

トルの得られない部分と有機物のスペクトルが得られる部分があり、得られたスペクトルは金箔のすぐ下の接着層である可能性が高い。図3に、箔下接着層のIRスペクトルを示す。漆と類似するが若干の差が認められた。塗膜表装部のIRスペクトルに類似し、下層の漆とは若干組成が異なる層があることが示唆された。図4に、塗膜の断面を示す。金箔は約1μmの膜厚で、その下に20μmのグレーの漆層（目視では艶のある黒色層）、その下層に24μmのやや濃色グレーの漆の層（目視では艶のない黒色層）が、更に下層に光輝材を含む塗膜が確認できた。

図2. 塗膜際表面のIRスペクトル

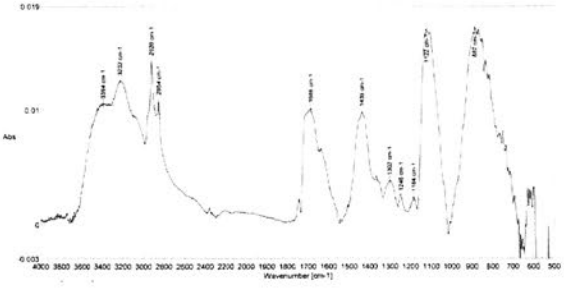


図3. 箔下接着層のIRスペクトル

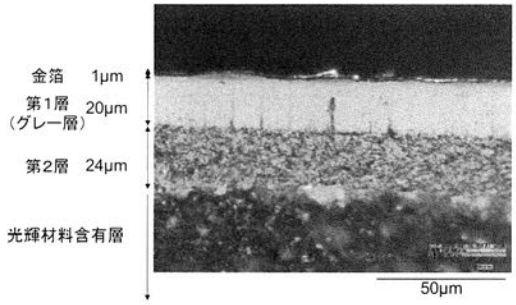


図5. 漆塗膜断面

4. 考察および結言

箔下接着層のIRスペクトルが漆に近い値を示したこと、また合成樹脂塗料に認められる1730cm-1や焚きつめ油の1740cm-1の吸収ピークが認められないことから、金箔押しには漆が利用されたものと推察される。しかし通常であれば120年程で金箔が容易に剥離するとは考えにくいことから、おそらく京都の漆工芸に携わる職人らの間で呼ばれるところの“カレソ”と言われる漆の弱体化が起こった可能性が考えられる。本研究の結果から断定に至ることは難しいが、急激な気温や湿度の変化、灯明の油煙や香の煙等もその要因ではないかと推測される。しかしながら漆塗りや金箔押し自体については非常に丁寧であり、極めて重厚な荘厳がなされていたことは疑いようがない。またこの度のような状況が起こっても、漆の塗り直しや金箔の押し直しを行うことができるということは、日本の伝統技術の真髄であり、今回の大修理はこの長所を伝承する絶好の機会であると言える。

謝　辞

この度の研究調査にご協力いただきました、浄土真宗大谷派本山・真宗本廟（東本願寺）様はじめ関係各位様、並びに分析にご協力いただきました日本ペイント株式会社様には、心より感謝の意を表します。

日本出土インド・パシフィックビーズの化学組成の時期変化に関する研究

Scientific Investigation about the Change in Chemical Composition of Indo-Pacific Beads Excavated in Japan.

○田村朋美（奈良文化財研究所）
○Tomomi Tamura(Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

引き伸ばし法で製作された直径が6㎜を越えないような単色のガラス小玉はインド・パシフィックビーズと呼ばれ（Francis 1990）、弥生時代～古墳時代の遺構から大量に発見されている。これらのガラス小玉は高アルミナソーダ石灰ガラス製のものが多く、色調も多彩である。ただし、色調によって日本列島での出現時期が異なり、弥生時代と古墳時代の両時期に出現するのは、黄緑色、赤褐色、淡紺色など一部の色調に限られる。本研究では、分析例の少ない弥生時代の資料について分析調査を進め、弥生時代と古墳時代のインド・パシフィックビーズの化学組成を比較検討した。

2. 資料と方法

本研究で検討対象とした資料は、弥生時代後期～古墳時代後期の13都府県から出土した約5000点のガラス小玉である。

本研究ではこれらのガラス小玉について、X線分析法による化学組成の非破壊元素測定を実施した。測定に用いた装置は、エネルギー分散型蛍光X線分析装置（EDAX社製EAGLEⅢ）である。励起用X線源はMo管球、管電圧は、FP法を用いた定量分析では20 kVに設定し、20 keV以上のスペクトルを検出する場合には、50 kVに設定した。管電流は100 μA、X線照射径は112 μm、計数時間は300 秒とした。なお、測定は真空中で実施した。測定結果は、ガラス標準試料（CG-A、SG5、SG7、SGT5、NIST620）を用いて補正したFP法により規格化し、酸化物重量百分率で表すこととした。

3. 結果と考察

日本列島で出土するインド・パシフィックビーズには、カリガラス、ナトロン主体ガラス、高アルミナソーダ石灰ガラス製のものがある。このうち、カリガラスおよびナトロン主体ガラスについては、弥生時代のものと古墳時代のものに化学組成の有意な差異は認められなかった。

一方、高アルミナソーダ石灰ガラスは、コバルト着色による淡紺色、錫酸鉛と銅イオンによる黄緑色、銅コロイドによる赤褐色を呈するものが弥生時代および古墳時代の両時期に流通した（図1）。このうち、黄緑色と赤褐色のものは、弥生時代と古墳時代で基礎ガラスの化学組成に差異が認められた。日本に流入した高アルミナソーダ石灰ガラス小玉の生産地が時期によって異

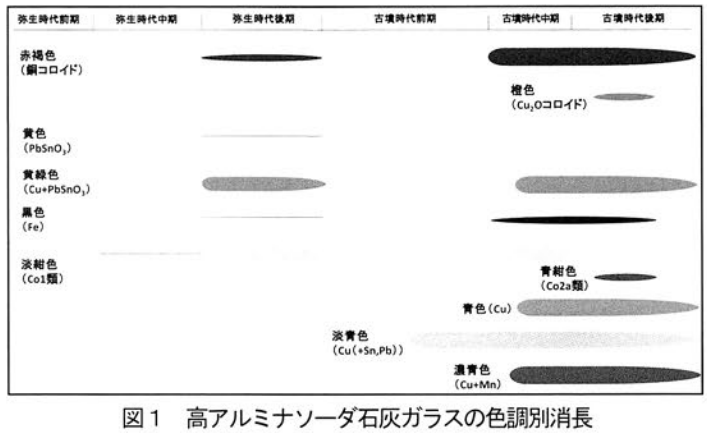


図1　高アルミナソーダ石灰ガラスの色調別消長

なる可能性が考えられる。とくに、弥生時代の黄緑色および赤褐色を呈するインド・パシフィックビーズは、典型的な高アルミナソーダ石灰ガラスに比べて酸化アルミニウムがやや少なく、酸化カルシウムがやや多い（図２）。さらに、酸化カリウムと酸化マグネシウムの含有量が多いという特徴を有する（図３）。このような弥生時代の黄緑色および赤褐色ガラス小玉と類似の特徴をもつガラス小玉がインドのアリカメドゥで特徴的に出土している。これらはアリカメドゥタイプのソーダ石灰ガラスと呼ばれ、一般的な高アルミナソーダ石灰ガラス（High-alumina mineral-soda glass: mNA）との差異が強調されている（Lankton and Dussubieux 2006）。アリカメドゥタイプのソーダ石灰ガラスには黄緑色、赤色、および黒色が多いとされており、弥生時代の類例も黄緑色および赤褐色であることから、アリカメドゥタイプに対応する可能性がある。さらに、同じく弥生時代後期に黒色のインド・パシフィックビーズが少量存在することも注目される。

参考文献

Francis, P. (1990), Glass beads in Asia Part 2. Indo-Pasific Beads. Asian Perspectives, 29-1, pp.1-23.

Lankton, J.W. and Dussubieux, L.E. (2006), Glass in Asian Maritime Trade : A Review and an Interpretation of Compositional Analyses., Journal of Glass Studies, 48., pp.121-144.

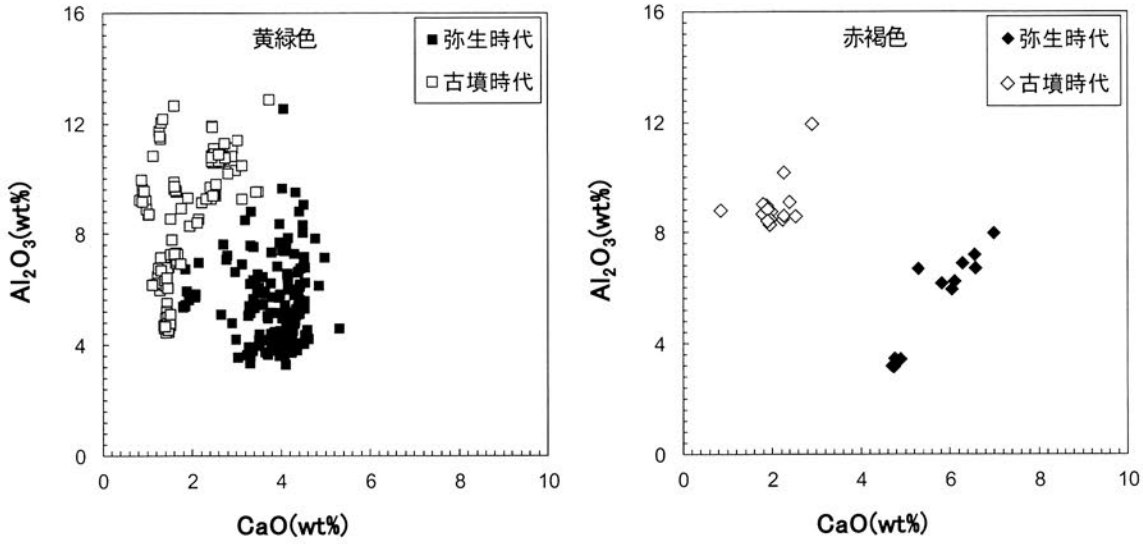


図２　高アルミナソーダ石灰ガラスの CaO-Al_2O_3 含有量

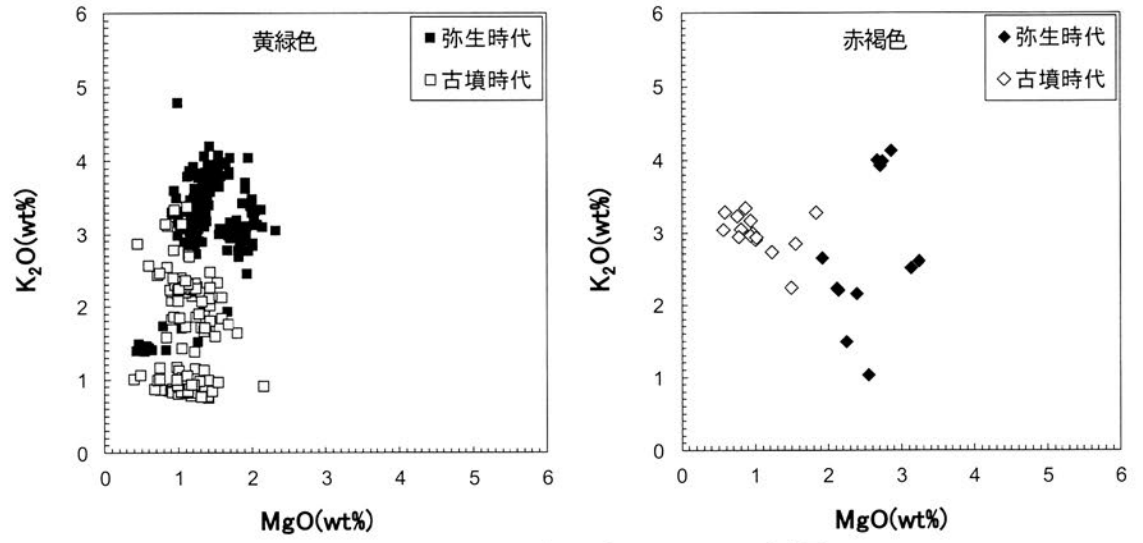


図３　高アルミナソーダ石灰ガラスの MgO-K_2O 含有量

正倉院宝物の分光分析により特定された古代の臙脂

Lac Colorant Found in the Shosoin Treasures by Spectrometric Analysis

○中村力也（宮内庁正倉院事務所），成瀬正和（同左）
○Rikiya Nakamura, Masakazu Naruse (Office of Shosoin Treasure House, Imperial Household Agency)

1．はじめに

正倉院は，奈良・東大寺境内にある宝物庫であり，8世紀の工芸品を多数収蔵している。正倉院に納められた宝物には，聖武天皇・光明皇后の御遺愛品や東大寺の儀式に関連した品々などがある。当所では，宝物の末永い保存のため，宝物に用いられた無機顔料[1]や有機染料[2]など，色料の素材に関する研究を進めてきた。しかし，これまでの調査の中では，古代の色料として有名な臙脂が見つかった例はなかった。臙脂は，ラックカイガラムシの分泌物からとれる赤色色料であり，『正倉院文書』において建造物や仏像の彩色などに用いられたことが記されている。本発表では，宝物の赤色や赤紫色の部分を可視分光分析したところ，複数の宝物で臙脂が特定されたことを報告する。

2．試料および分析手法

2－1．正倉院宝物

本調査において対象とした宝物は，漆金薄絵盤，木画紫檀碁局，紅牙撥鏤尺である（図1）。漆金薄絵盤の調査には脱落していた蓮弁を用い，赤紫色部分を分析した。この赤紫色は，鉛白と赤色とを混和した絵の具による色である。木画紫檀碁局の調査では，盤側面に象嵌された象牙について，赤色に着色した部分を分析した。紅牙撥鏤尺の調査では，染め地である赤色を分析した。

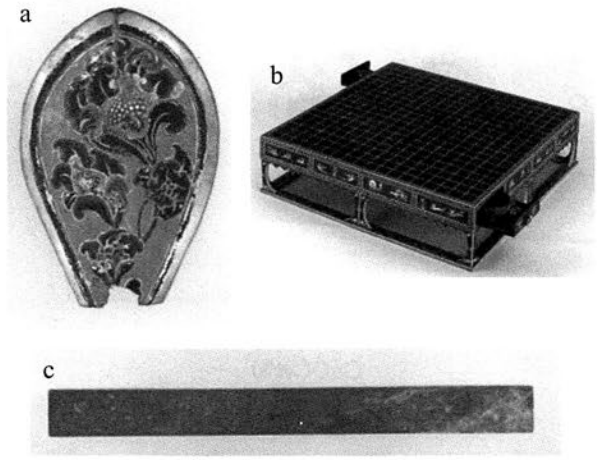


図1　正倉院宝物 (a) 漆金薄絵盤の蓮弁；(b) 木画紫檀碁局；(c) 紅牙撥鏤尺.

2－2．標準試料

臙脂の標準試料の調製は次の通りである。まず，粉砕したスティックラックに水を加え，80 ℃で20分間，色素を抽出した。次に，色素抽出液を炭酸水素ナトリウムでpH 7に調整した明礬水溶液に加え，4 ℃で一晩静置し，色素をレーキ化させた。レーキと塩基性炭酸鉛とを膠水溶液で溶いた絵の具を板に塗布し，臙脂の標準試料（標準試料1）とした。また，膠水溶液で溶いたレーキを象牙に塗布した試料（標準試料2）も調製した。臙脂を染めた試料（標準試料3）については，明礬で先媒染した象牙をスティックラックの抽出液に浸漬し，80 ℃で1時間，染色することにより調製した。

2－3．分析機器

可視分光分析では，光ファイバープローブを付属させたオーシャンオプティクス社製USB4000を使用し，380～800 nmの可視領域の反射スペクトルを取得した。得られた反射スペクトルを2次微分処理して解析した。

3．結果と考察

3－1．臙脂の標準試料のスペクトル

調製した臙脂の標準試料ならびに本調査において関わりのある塩基性炭酸鉛について，反射率の２次微分スペクトルを図２a に示す。塩基性炭酸鉛のスペクトルには顕著な極大は見られなかった。臙脂レーキを塩基性炭酸鉛と混ぜて塗布した標準試料１のスペクトルには，臙脂に特有な３つの極大が，485, 525, 580 nm に検出された。また，レーキを象牙に塗布した標準試料２や，臙脂で象牙を染色した標準試料３に関しても，スペクトルの形状や極大波長（λ_{max}）は標準試料１とほぼ同じであった。

3－2．正倉院宝物の赤紫色・赤色部分の分析

漆金薄絵盤の赤紫色部分，木画紫檀碁局の赤色部分，紅牙撥鏤尺の赤色部分の２次微分スペクトルを図２b～d に示す。漆金薄絵盤と木画紫檀碁局に関しては，スペクトルの形状やλ_{max}が標準試料とほぼ一致しており，色料として臙脂が用いられていることが判明した。紅牙撥鏤尺の赤色についても，λ_{max}値は標準試料とほぼ同じであり，色料は臙脂であることがわかった。紅牙撥鏤尺と標準試料とのスペクトルの形状を比較すると，尺のスペクトルは 525 nm の極大の強度が相対的に小さいが，これは宝物の赤色がより濃色であることに起因する。

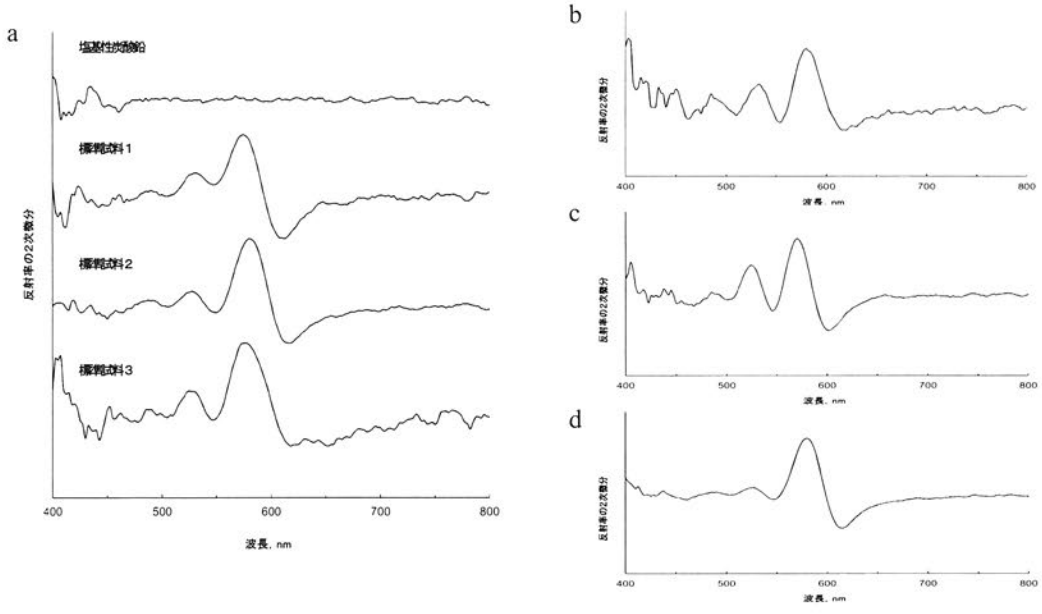


図２　反射率の２次微分スペクトル (a) 塩基性炭酸鉛および臙脂標準試料１～３；(b) 漆金薄絵盤の赤紫色部分；(c) 木画紫檀碁局の赤色部分；(d) 紅牙撥鏤尺の赤色部分.

４．おわりに

正倉院宝物の色料調査において，複数の宝物から可視分光分析により臙脂が見出されたことを述べた。今回の調査を通じて，正倉院宝物における臙脂は，彩色と染めの技法により用いられていることがわかった。

参考文献
1) 成瀬正和 「正倉院宝物に用いられた無機顔料」正倉院紀要 **26**, 13-60 (2004).
2) Nakamura, R., Tanaka, Y., Ogata, A., Naruse, M. "Dye Analysis of Shosoin Textiles Using Excitation-Emission Matrix Fluorescence and Ultraviolet-Visible Reflectance Spectroscopic Techniques" *Anal. Chem.* **81**, 5691-5698 (2009).

ウズベキスタン出土の青銅器時代織物

Textile of Bronze Age found in Uzbekistan

○村上智見（日本学術振興会特別研究員）
○Tomomi murakami (JSPS Research Fellow)

1. はじめに

ウズベキスタン共和国のジャルクタン遺跡からは、紀元前16～12世紀に属する織物が出土している。当該地域における織物の実物資料として、最も古いものの一つであり、当該地域の青銅器時代織物の材質と技法を明らかにする目的で調査を行った。

2. 遺跡の概要と資料について

ジャルクタン遺跡は、ウズベキスタン南部のテルメズ市から北に60キロ、アムダリヤ河の支流であるブスタン水路沿いに築かれた初期都市文明の首都的遺跡である。バクトリアのその他の遺跡と比較して広大であり、100ヘクタール以上に及ぶ。遺跡は面積3ヘクタールのシタデルと、その他の遺構と墓地からなる。織物は青銅器に付着した状態で発見され、紀元前16～12世紀に属するとみなされている。本来有機質の織物は残存することが難しいが、本遺跡出土の織物は青銅器に付着した状態で出土したことから、青銅から溶け出した金属イオンによって表面がコーティングされ腐敗を免れたものと考えられる。

3. 調査方法

実体顕微鏡下で織物の銹着状態や技法を観察した後、剥落片を採取し走査電子顕微鏡を用いて繊維の側面・断面観察を行った。断面は樹脂に包埋した後研磨して観察を行った。

4. 技法と材質

織物は平織物であり、白色を呈していることから無染色と考えられる。織物は青銅器を包むように裏表に付着している。織方向が青銅器の長軸にも短軸にも並行しないこと、また少なくとも二層に重なっていることなどから、包み布の可能性がある。糸はZ撚糸を使用している。ほぼ同時代・同地域の紀元前13～9世紀のコクテパ遺跡出土の土器布圧痕の糸も、Z撚糸が大半を占めている。このことから、毛織物文化圏に特徴的であり現在まで続くZ撚りの技法は、この頃にはすでに確立していたことが分かる。織密度は1cm間に経糸30本・緯糸20本と比較的細かく、織機によって製織された可能性もある。筬の使用は認められなかった。糸の径は経糸・緯糸共に0.2mmと細い。このような細い糸を紡錘車で紡ぐことは可能だが、熟練した技術が必要である。繊維の状態は良く、見た目はそれほど劣化していないように見える。これは青銅器から溶け出した金属イオンが繊維の表面を覆ったためと考えられる。

電子顕微鏡による繊維の観察を行った結果、テープ状で平たい繊維、繊維長軸に溝があり内側に巻き込んでいるようなやや丸みのある繊維などが混在している様子がみられた。一定方向でないねじれや、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、棉繊維に似た形状が確認できた。しかし、現代の棉と比較するとやや厚みがあり、ねじれも少ない印象である。これが、青銅器時代の当該地域に特

徴的な棉繊維かどうかは、同時代・同地域の資料と比較していく必要がある。

5. おわりに

本資料は、当該地域において、すでに青銅器時代に棉織物が利用されていたことを示す資料として重要である。棉はインドが原産と言われ、中央アジアには1世紀頃栽培技術が伝わったと考えられているが、本資料が輸入品なのか現地産なのか、現地産ならば棉糸は輸入品なのか当地で栽培されたのか、現段階で明らかにすることはできない。イラクのアッタール遺跡やエジプトなどでも棉織物が多く見つかっていることから、今後ユーラシア各地の棉織物の繊維材質調査を行う必要がある。棉の品種によって異なる繊維形状を有する可能性があり、材質調査を進めることで産地別の分類が可能になるかもしれない。

当該地域では、青銅器時代にすでに発達した織物文化が形成されていたことが、土器に残された布圧痕から窺い知ることができる。西方起源の綾組織、東アジアでも広く見られる編布組織などの圧痕は、広い範囲で技術交流が行われていたことを示している。さらに、現在まで続くZ撚りの製糸技法もこの頃すでに確立していたことが分かった。ジャルクタン遺跡の織物は、織物文化の基層部分の復元において非常に重要であり、本調査によりその一端を明らかにできたと考える。

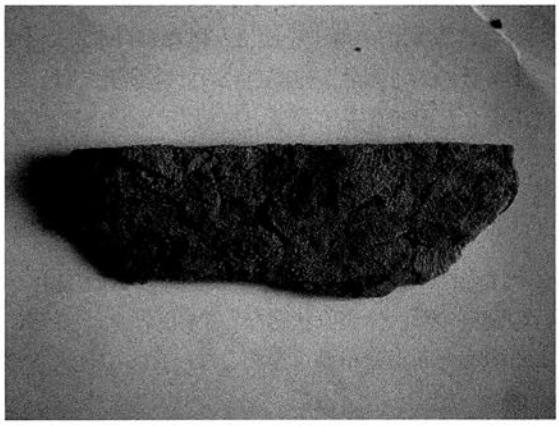


図1：青銅器錆着織物

図2：青銅器錆着織物　拡大

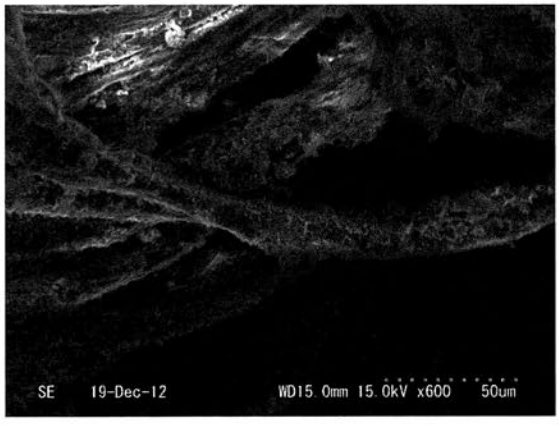


図3：SEM画像　繊維側面

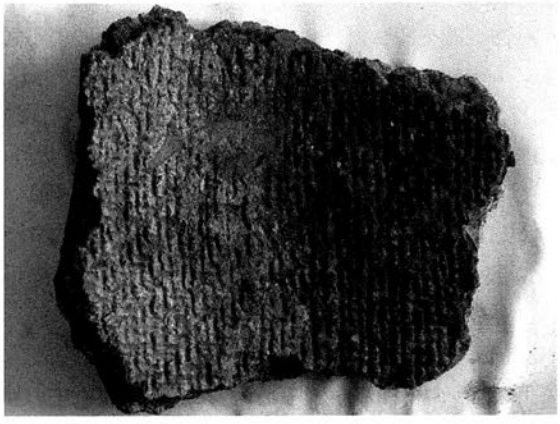


図4：コクテパ遺跡出土の土器布圧痕　綾組織

奈良市西大寺旧境内より出土した繊維製品の素材調査

Identification of the textile fibers excavated from Saidai-ji temple old precincts site in Nara city.

◯奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）、久保邦江（奈良市埋蔵文化財調査センター/奈良市教育委員会）
◯Masayoshi Okuyama (Archaeological Institute of Kashihara, Nara prefecture) , Kunie Kubo (Nara city Archaeological Research Center / Nara City broad of education)

1. はじめに

平城京右京一条三・四坊に広大な境内をもった西大寺は孝謙上皇（のちの称徳天皇）の発願による寺である。奈良市が実施した西大寺旧境内25次調査では、寺内を区画していたとみられる東西方向の溝（幅約7m、深さ1.5～1.7m）を長さ約30mにわたって検出した。この溝は中央部が幅2.5～3.7m、深さ0.6～0.9mほど一段深く掘られており、溝の底には厚さ0.4mの木屑層が堆積し、そこには、大量の木簡が含まれていた。この木屑層内から「神護景雲二年（768年）」の年紀がある木簡とともに西アジアで作られたと考えられるイスラム陶器破片が出土した（平城京初の出土）。さらに、木屑層内の埋土を篩にかけながら水洗い（ウォーターセパレーション）した結果、破片化・断片化した多数の繊維製品が確認された。本研究では、この「神護景雲二年（768年）」の年紀がある木簡とともに出土した繊維製品の構造と材料について調査する機会を得たので、その成果を報告するものである。

2. 資料と調査方法

資料は肉眼観察により平織り組織が確認できた9点（それぞれNo.1～9とする）である。調査方法は、実体顕微鏡とデジタルマイクロスコープによる観察を行い資料の形状や表面状態などを観察した。さらに微小部分の観察が必要なものは、走査型電子顕微鏡による観察と元素分布測定をおこなった。引き続き、有機質もしくは有機質と思われる資料は、赤外分光分析を行った。

3. 結果と考察

織物組織を持つ資料9点は、実体顕微鏡等による観察により2種類の繊維製品に分類することができた。2グループは便宜的にAグループ、Bグループとした。Aグループは、No.1およびNo.2、No.9の3点で、濡れた状態で焦げ茶色、乾燥すると茶色を呈し、織密度（1cm幅あたりの経糸と緯糸の本数）が13本×10本であった（Pic.1）。経糸と緯糸はいずれも撚りが比較的弱く、一子-S撚であった。なお、乾燥すると硬くもろくなる。一方、Bグループは、No.3～8で、水濡れ・乾燥のいずれの状態でも黒色を呈し、織密度がほぼ13本×11であった（Pic.2）。経糸と緯糸はいずれも一子-S撚で、撚りが強く、細い糸や太い糸が入り混じる。乾燥するとほつれるように微細片化した。

① Aグループ

SEM観察によれば、Aグループの表面は、繊維方向に滑らかで、繊維を横断するような条痕や亀裂はみられなかった(Pic.3)。その断面は、埋蔵環境中の腐朽により繊維実質が消失し、陰鋳型状に鉱物化するNegative Castingのような状態にある。10～30μmほどの不定形を成す単繊維が集合していた。一部に2つの三角形の断面形が背中合わせに存在するように観察できる部分もあり、絹糸の可能性が考えられる。Fig.1はAグループに分類したNo.1の経糸の赤外分光分析結果である。一見して、精練絹糸や大麻（植物性繊維）と異なることがわかる。ここで特徴的に現れている2927、2856cm^{-1}に注目すると、この波数に顕

著な吸収帯を示す物質として漆が挙げられる。漆の IR スペクトルを重ねると（Fig.1-b）、No.1 経糸に酷似していることが確認できた。精練絹糸や大麻は顕著な偏光スペクトルを示すことが知られているが[1), 2)]、No.1 経糸では、0° から 90° へ偏光角度を変えても IR スペクトルに大きな変化はみられず、漆の IR スペクトルだけが検出され、繊維を示す吸収帯は確認できなかった。

② Bグループ

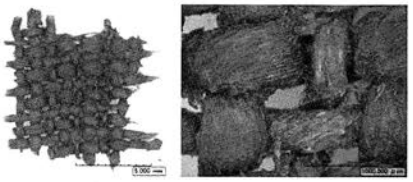
SEM 観察によれば、繊維方向に滑らかであるが、繊維を横断する条痕らしき痕跡がみられた(Pic.4)。断面は、埋蔵環境中の腐朽により繊維実質の一部が消失し、10～20 μm ほどの不定形を成す丸みを帯びた単繊維が集合した状態で、内腔を持つことから植物性繊維と確認できた。腐朽・破片化が進んでおり、大麻か苧麻、あるいは他の植物性繊維であるかは判断できない。Fig.2 に No.3 の経糸の IR スペクトルを示す。一見して大麻と異なることがわかる。また、一見すると A グループ同様に漆が検出しているようにも見えるが、漆にみられる 2930 cm^{-1}、2850 cm^{-1} の炭化水素（CH）の吸収帯も存在しない。現時点では、赤外分光分析では化学的に繊維の種類が特定できなかったものの、内腔を持ち不定形を成す丸みを帯びた単繊維が確認されていることから、植物性繊維とし、赤外分光分析による結果の判断は今後の課題としたい。

4. まとめ

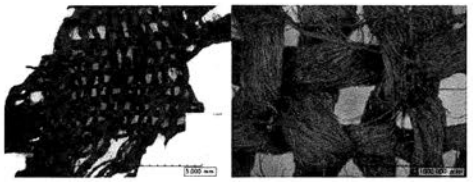
本研究では 8 世紀後半の遺構から出土した 9 点の繊維製品について、観察と赤外分光分析から材質調査をおこなった。グループごとに漆付着繊維（繊維は絹か）と植物性繊維であることが確認できた。漆付着繊維は繊維表面の漆のみが遺存し、繊維実質が消失した状態で、漆により繊維が陰鋳型（Negative Casting）状に残存していた。8 世紀後半の遺構から大量に繊維製品が検出されることはあまり多くなく、繊維製品の歴史を検討するうえで極めて貴重な事例であろう。

なお、本調査を行うにあたり京都工芸繊維大学名誉教授佐藤昌憲先生ならびに独立行政法人文化財機構奈良文化財研究所特別研究員赤田昌倫氏に助言いただいた。記して感謝の意を表します。

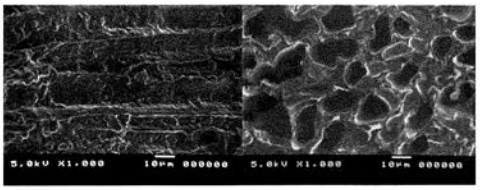
参考文献
1) 赤田昌倫, 佐藤昌憲, 奥山誠義, 今津節生，顕微 FT-IR を用いた遺跡出土絹繊維の劣化状態の分析, Journal of Textile Engineering , Vol.55, No.5, 2009
2) 奥山誠義, 佐藤昌憲, 赤田昌倫, 森脇太郎，放射光顕微赤外分光分析法による出土繊維文化財の材質同定及び劣化状態の解析, 分析化学, Vol. 59, No. 6 2010



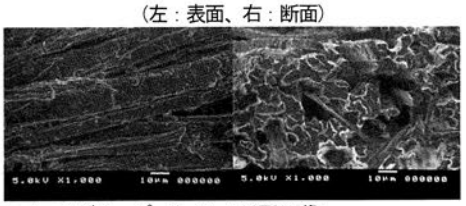
Pic. 1 Aグループ（No. 1）観察画像



Pic. 2 Bグループ（No. 3）観察画像



Pic. 3 Aグループ（No. 2）のSEM画像
（左：表面、右：断面）



Pic. 4 Bグループ（No. 4）のSEM画像
（左：表面、右：断面）

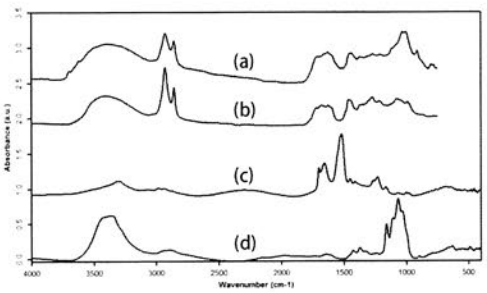


Fig. 1 Aグループ(No. 1) のIRスペクトル
a: No. 1の経糸、b:漆、c: 精練絹糸、d:大麻

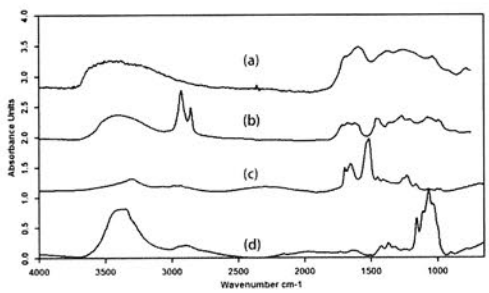


Fig. 2 Bグループ(No. 3) のIRスペクトル
a: No. 3の経糸、b: 漆、c: 精練絹糸、d:大麻

江戸期小判などの色揚げに関する自然科学的研究

A Scientific Study on Surface Treatment of Koban, gold coins in Edo Period

○齋藤努（国立歴史民俗博物館）
○Tsutomu SAITO (National Museum of Japanese History)

1．はじめに

江戸時代に発行された金貨のうち、小判と一分判は、初めて発行された慶長6年（1601）から萬延元年（1860）まで、9次にわたる吹替（改鋳）が行われ、10種類が発行された。小判は金と銀の合金であり、それらの濃度は種類による差異が大きいが、同一種類の小判では相互のばらつきが少なく、また江戸時代の金座の文献史料や明治時代に行われた分析データとも概ね合致する。それらの結果をみると、最も品位の高い慶長小判①では金濃度84～87%であるが、その次に発行された元禄小判②は金濃度56～59%、文政小判⑦から萬延小判⑩もおおむね金濃度 56～59%である。後二者のような金銀合金は、わずかに黄味がかった白色に近い色調にとどまるはずだが、実際の小判をみると、これらも含め、いずれも金色になっている。これは、小判に対して「色揚げ」（あるいは「色上げ」「色付け」）という表面処理が施されており、表層の金の濃度を高くして、見栄えをよくし、金貨として流通させようとする意図が働いていたためである。

ここでは、表面からわずかずつ層をはぎ取って連続的に金と銀の濃度を測っていくオージェ電子分光分析法によって、小判のデプスプロファイルを作成し、色揚げの実態を明らかにすることを目的として研究を実施した結果を報告する。なおここでは、その小判が何番目に発行されたものかがすぐわかるように、慶長小判①、元禄小判②・・・萬延小判⑩と、必要に応じて名称のうしろに番号を付して表記する。

2．分析資料

日本銀行金融研究所貨幣博物館が所蔵する江戸期の小判のうち上田（1993）で分析を行った資料7点、故郡司勇夫氏所蔵の萬延二分判1点、それに歴博で分析用資料として購入した小判2点を分析に供した。

3．分析方法

オージェ電子分光分析装置（AES、日本電子　JAMP-7100E）を使用し、アルゴンのイオンビームを試料表面に照射してスパッタリングし、わずかずつ表層をはぎ取りながら電子線をあてて元素組成の濃度を測定することによって、最表面から内部に向かってのデプスプロファイルを調べた。スパッタリング範囲は2mm角、そのうち均一に掘れるのは300μm角、電子ビームサイズは50μmφ、元素情報は2～3nm程度の深さの範囲から得られる。スパッタリング速度は40nm/minと見積もった。

4．結果と考察

分析例として、慶長小判①Aとを図1、2に示した。また、分析を行った小判9点と萬延二分判1点の結果を表1にまとめた。従来は、『吾職秘鑑』や『金位并金吹方手続書』といった文献史料の記述から、色揚げは元禄金②から施されたものであり、品位の高い慶長金①ではその必要がなかったはずだというのがこれまでの一般的な見方であったが、本分析結果では慶長小判①にも表面に金の富化した層がみられ、この段階

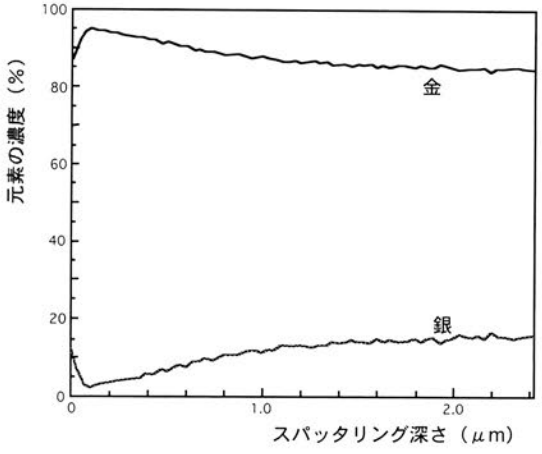


図1　慶長小判①Aのデプスプロファイル

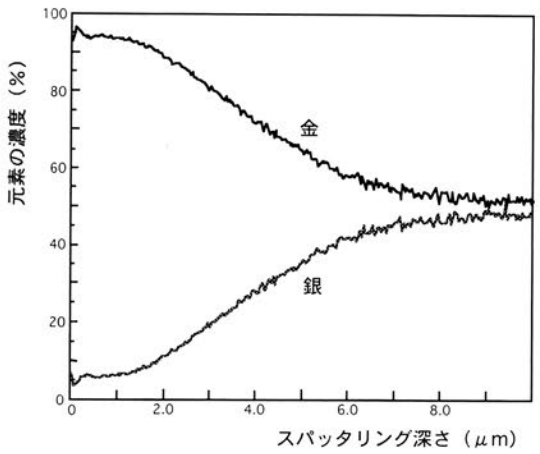


図2　天保小判⑧のデプスプロファイル

からすでに色揚げの施されていたことが実証されたので、その見解とは異なる結論が得られたことになる。また、肉眼でみても白っぽく、他の資料とは明らかに異なった外観をしている元文小判⑥を例外とすると、全体として前半に発行された小判は表面付近にある金濃度の富化層が薄く、後半のものはそれが厚くなる傾向にあることがわかる。これまでにも、文政小判⑦以降に発行された小判では色揚げが明瞭に美しくなっていることが認められ、それ以前のものと技術的に違いがあるのではないかという議論も行われてきたが、本分析結果は、それに一定の裏付けを与えるものといってよいだろう。

なお、『金位并金吹方手続書』には、色揚げの薬剤の一つとして「薫陸」があげられている。「薫陸」は、本来の意味では、海外で産する、乳香に偽乳香や偽没薬を混合したもの、またはヨウニュウコウやその同属の木などから採取された高価な樹脂のことである。しかし、南部藩（のち八戸藩）の久慈地方で大量に琥珀が採れることと、これらが江戸時代から「薫陸」「薫陸香」と称されて大量に藩外輸出されていたことから、色揚げに使用されていたのは、久慈で産出した琥珀であったと考えるのが自然のようである。

表1　オージェ電子分光分析法による各資料の深さ方向分析結果

	最も高い金濃度（%）	色揚げ層（μm）	収斂する金濃度（%）	電子線励起X線分析法による金濃度（%）
慶長小判①A	95	0.08～1.4	85～86	85.0
慶長小判①B	98	0.08～3.4	83～84	83.6
元禄小判②	76	0.12～1.1	57～58	57.2
寶永小判③	94	0.12～1.7	85～86	82.1
正徳小判④	88	0.08～1.5	82～83	83.7
享保小判⑤	97	0.20～4.0	85～86	86.6
元文小判⑥	84	0～0.38	61～62	64.7
天保小判⑧	97	0.08～8.0	53～54	56.9
萬延小判⑩	94	0.40～(3.2<)	—	58.6
萬延二分判	86	0.08～8.0	20～23	23.1

塩化鉄(Ⅱ)が付着した鉄製遺物の大気腐食に及ぼす湿度の影響

The effects of humidity on atmospheric corrosion of iron artifacts with ferrous chloride

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

1. はじめに

鉄製遺物が保管環境下において腐食を生じ、その形状が破壊される例が認められる。これは、鉄製遺物内部の金属鉄および腐食成生物の界面に集積しているとされる塩化鉄(Ⅱ)化合物[1]が潮解し、液膜が形成されことが要因の一つと推察される。そのため、鉄製遺物が安定した状態で維持されうる湿度を検討することは重要なことである。

ここでは塩化鉄(Ⅱ)を付着させた炭素鋼試料を異なる湿度雰囲気中に設置して腐食させ、腐食生成物の同定ならびに腐食電位の測定による評価をおこなうことで、塩化鉄(Ⅱ)が付着した鉄製遺物の腐食におよぼす湿度の影響について検討した結果を述べる。

2. 実験方法

炭素鋼試験片の腐食成生物の同定にはエックス線回折(以下XRD)分析用の試料ホルダー型に切り出したSS400、ならびに腐食電位の測定には平板(5×10×10 mm)に切り出したSS 400 を用いた。試料はエメリー紙#800 による湿式研磨にて仕上げ、蒸留水およびアセトンで超音波洗浄をおこなった。さらに、アセトンに溶解させた塩化鉄(Ⅲ)を 1 mg/cm^2 となるように試料表面に滴下し後、シリカゲルを設置したデシケーター内で 24 時間乾燥させ、塩化鉄(Ⅱ)が付着した状態の試料片を調製した。調製した試料片を飽和塩法により調整した相対湿度(以下 RH)10%($ZnCl_2$)、 RH33%($MgCl_2$)、RH43%(K_2CO_3)、RH59%(NaBr)および RH82%(KBr)の環境にそれぞれ静置した。なお、実験中、温度は 20 ℃の恒温状態に保持した。

試料片を６時間、24時間、72時間および168時間経過した段階で取り出し、XRD分析に供して腐食生成物の同定をおこなった。XRD分析にはマックサイエンス社製のMX18XHF-SRAをもちいた。照射X線はCuKα線とし、測定時の管電圧および管電流はそれぞれお40 kV、100 mAとした。また、ゴニオメーターの測定範囲は５～80 deg.とし、走査速度は2.000 deg./min.とした。

腐食電位は『電気化学測定マニュアル実践編（電気化学会編 2002）』[2]に準拠して測定した。エポキシ樹脂に包埋した炭素鋼試料片に塩化鉄(Ⅱ)を付着させたものを作用電極ならびに飽和銀塩化銀電極(SSE)を参照電極とした。塩橋を介して作用電極およびSSEをエレクトロメーターに接続したのち、上記のRHに調湿した環境に設置し、腐食電位の測定をおこなった。なお、得られた腐食電位はSSEに対する値として表記した。

3. 結果および考察

試験期間が 168 時間を経過した試料のXRDパターンを図 1 に示す。RH82%およびRH59%では赤金鉱(β-FeOOH)、RH43%およびRH33%では塩化鉄(Ⅱ)四水和物($FeCl_2・4H_2O$)ならびに赤金鉱に帰属する微弱なピークが検出された。一方、RH10%では塩化鉄(Ⅱ) 二水和物($FeCl_2・2H_2O$)のみが検出された。RH82%およびRH59%では、試験期間が 6 時間を経過した時点から赤金鉱のみが検出されていることから、試験直後

から顕著に腐食が進行しているものと考えられる。一方で、RH43%およびRH33%においては24時間経過した時点で赤金鉱に帰属する微弱なピークが生じていることが認められた。そのため、これらのRHにおける試料の腐食はRH82%およびRH59%と比較した場合、緩慢であると考えられる。また、RH10%では赤金鉱の形成は認められないことから、腐食は進行しないものと考えられる。

腐食電位の測定結果を図２に示す。RH82%およびRH59%における腐食電位は試験開始から急激に卑化する傾向が認められた。その後、RH82%では約-500 mV ならびにRH59%では約-300 mVに達し、一定の値を示した。一方で、RH43%、RH33%およびRH10%では回路は形成されなかった。塩化鉄(Ⅱ)の飽和塩溶液のpHは3.8とされており[3]、Fe-H_2O系の電位-pH図から、RH82%およびRH59%における試料は腐食状態にあると考えられる。また、RH82%における腐食電位がRH59%のものと比較して卑な値を示す傾向が認められたが、これはRH82%ではRH59%にくらべて電極表面に形成される液膜が厚いため、電極表面に供給される溶存酸素量がRH59%に比較して低いことなどが要因として考えられる。一方で、RH43%、RH33%およびRH10%においては回路が形成されなかったが、これは塩化鉄(Ⅱ)の飽和塩溶液が与えるRH(56%[4])より低い環境では電極と塩橋部が電解液で連絡されないことが原因と考えられる。

以上の結果を考慮すると、腐食の様相はRH56%を境界にして変化するものと考えられる。RH56%より高いRHでは付着した塩化鉄(Ⅱ)の潮解に伴い液膜が形成されるため、急激な腐食が生じるものと考えられる。一方で、RH56%より低い環境においても緩慢な腐食が生じることが認められた。これは塩化鉄を付着させた過程でわずかに炭素鋼試料の表面に生じていると考えられる腐食生成物ならびに付着した塩化鉄(Ⅱ)の構造に由来して生じる毛管凝縮などの影響により、腐食を生じた可能性などが挙げられる。ただし、さらに低い湿度環境下においては試料の腐食を引き起こす液膜は形成されないものと考えられる。本実験における腐食の発生のしきい値はRH33 %からRH10%にあることが認められた。

本実験から、塩化鉄(Ⅱ)を含む鉄製遺物の腐食の状態は周囲の湿度に応じて次の３つの領域に区分されると推察される。それは(１)RH56%より高い環境において顕著に腐食が進行する状態、(２)RH56%より低い環境において緩慢な腐食を生じる状態、(３)さらに低湿度環境における腐食を生じない状態、である。

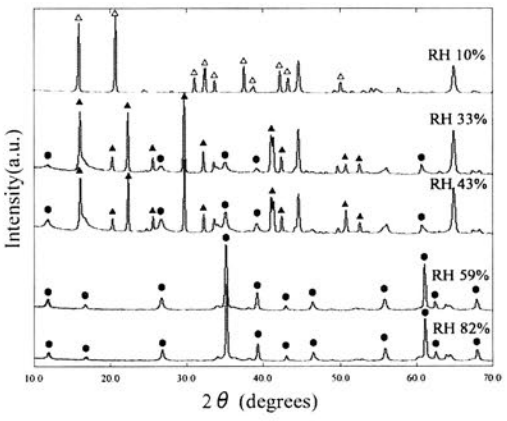


Fig.1 XRD pattern of the rust on carbon steel with ferrous chloride, which corrode for 168 hours in various RH .
(●: β-FeOOH , ▲: $FeCl_2 \cdot 4H_2O$, △: $FeCl_2 \cdot 2H_2O$)

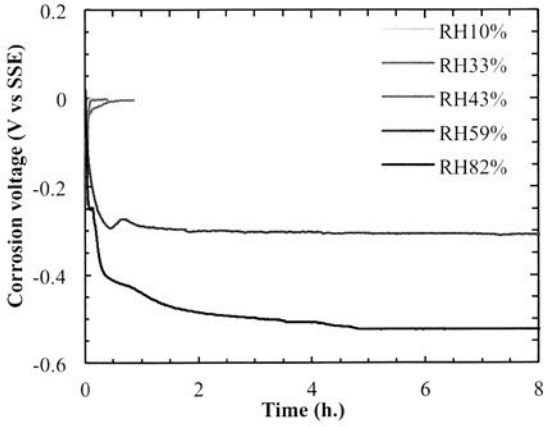


Fig.2 Change in corrosion voltage of carbon steel with ferrous chloride in various RH .

参考文献
1）F. Kergourlay , *et al.* , 2011: Corrosion Science 53, pp . 2474–2483
2）電気化学会編　2002：電気化学測定マニュアル　実践編　第９版，丸善，pp.145-149
3）A.turnbull , 1983 : Corrosion Science , 23 , pp. 833-870
4）腐食防食協会編 2002：金属の腐食・防食Q&A　電気化学入門編，丸善，p.199

ハギア・ソフィア大聖堂の熱画像・含水率分布の調査と壁画の保存対策の検討

Survey on thermography / moisture content profile and investigation of measures for the conservation of the wall painting in Hagia Sophia

○小椋大輔（京都大学）、早瀬礼子（同左）、石崎武志（東京文化財研究所）、佐々木淑美（同左）、安福勝（近畿大学）、小泉圭吾（大阪大学）、日高健一郎（筑波大学）

○Daisuke Ogura, Ayako Hayase (Kyoto University), Takeshi Ishizaki, Juni Sasaki (National Research Institute for Cultural Properties, Tokyo), Masaru Abuku (Kinki University), Keigo Koizumi (Osaka University), Kenichiro Hidaka(University of Tsukuba)

1. はじめに トルコのイスタンブールにあるハギア・ソフィア大聖堂では、主に塩の析出などにより内壁の劣化が進んでおり、これは壁体内の水分移動が大きく影響を及ぼしている。ハギア・ソフィア大聖堂は、地上階、ギャラリー階、第2コーニス、ドームコーニスの4階で構成されているが、ギャラリー階や第2コーニス部分では、特に西側部分のほぼ全面に見られる表面塗装の剥落に加え、一部では下地材の剥離も確認され、そのメカニズムの解明が急務である。昨年発表した既報[1]で、筆者らは現地調査により第2コーニスの内壁の劣化程度と内壁表面含水率の相関性が高いこと、数値解析により降水がレンガ壁体の含水率上昇に影響を及ぼすことを明らかにした。本報では、同じく第2コーニスを対象に2012年9月に行った含水率・熱画像測定と内外壁の劣化状態の現地調査結果を示し、西壁の保存対策として防水性の高い材料で外壁を覆うことを考え、外壁を覆う適切な時期について数値解析を用いて検討を行う。

2. 含水率分布の分析 昨年度と同様に、第2コーニス内壁面について北東面を加えて含水率測定を行った。含水率測定は2012年の9月の調査時に行い、昨年度(2011年9月の調査時)と同様のTDR水分計(TRIME-FM3,S3F Surface Probe使用)を用い、壁面下部の絵が描かれていない漆喰面に接触型センサーを押し当てて測定した。表1に各壁面の平均含水率を示す。南東は若干下がったが、他の壁面は、昨年度と近い値であり、北西が最も高く、北東面が最も低い。

表1 各壁面の平均含水率

場所	番号	含水率(vol%)	
		2011年9月	2012年9月
南西	0-19	11.8	11.3
南東	32-47	14.7	11.2
北西	89-108	15.5	14.5
北東	60-75		8.6

3. 第2コーニス北西側の熱画像 2012年9月18日に降雨があり、その翌日の午前中に熱画像撮影を行った。第2コーニス北西側の屋外内の可視画像・熱画像を図1、2にそれぞれ示す。屋外では奥と手前の壁面に低温部分があり、その部位でレンガと目地モルタルが崩れ、低温部分で藻が発生している(図1)。雨水の流下が顕著な部位は、壁面の劣化が進行しやすくなっている。また、熱画像の丸囲みの低温部分は内壁の補修が行われた劣化が進行している部位であり(図2)、この部位の下の壁面で含水率測定値が高かった。

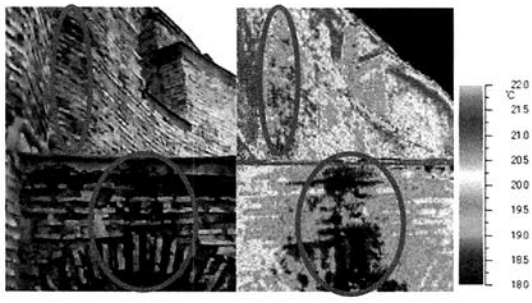


図1 第2コーニス北西外壁の可視画像・熱画像

図2 第2コーニス北西内壁の可視画像・熱画像

4. 数値解析による壁体の屋外側表面を覆う時期の検討　既報[1]から、室内側表面の含水率の上昇は、壁体の屋外側からの降水の浸透の影響が大きいことが示された。屋外からの水分浸透をできるだけ抑えるための方法の一つとして屋外側表面を透水性の低い材料で被覆することが考えられる。しかし、壁体内の含水状態が高いままで被覆をすると、室内側で水分が蒸発し塩類析出がより進行してしまう危険性も考えられる。ここでは、いつの時期に屋外側表面を被覆すれば、壁体内の含水率がより低い状態となるのかについて、既報[1]の1次元レンガ壁体の解析モデルを用いて検討を行う。既報の壁面に降雨がある場合の数値解析結果から含水率が高くなる時期は、11月から4月にかけてであり、低くなる時期は、8から10月であった。以上から屋外側表面を覆う時期の違いが壁体内含水率に与える影響を検討するため、2月と8月のそれぞれの時期で屋外側表面が完全に防水防湿されるものとして計算を行った。図3、4にそれぞれ2月、8月から屋外側表面を覆う場合について覆った直後からの含水率分布の変化を示す。2月に覆う場合には、覆った直後は最大17(vol%)の値が半年で10(vol%)となり、そこから徐々に減少する。8月に覆う場合には、覆った直後は最大9(vol%)であり、半年で7(vol%)となり、徐々に減少する。両者の比較より、8月から防水措置を施した場合、2月の半分近くの含水率の値から緩やかに減少していく。また、覆った後から半年間で屋内側表面から蒸発する水分量を計算すると、2月に覆う場合と8月に覆う場合で、壁面単位面積あたりで、それぞれ66.1kgと16.3kgであり、8月に覆う場合が、2月に覆う場合の四分の一であった。被覆時期の違いがその後の壁体内含水率分布や屋内側の水分蒸発量に与える影響が大きい事が分かる。従って、壁体が乾燥している時期（8～10月）に被覆を施すことが、その後の壁体の含水率を低く保ち、屋内側表面からの水分蒸発を抑制することが分かる。

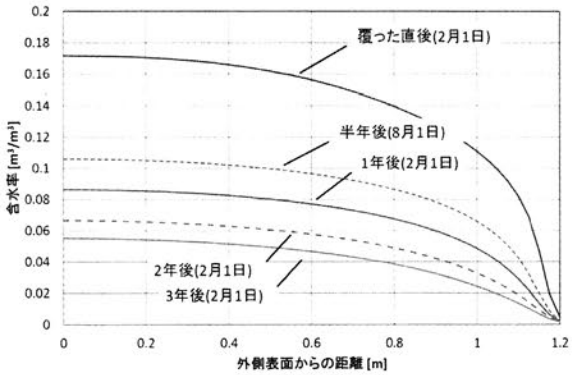


図3　2月に屋外側表面を防水・防湿した場合の含水率分布の変化

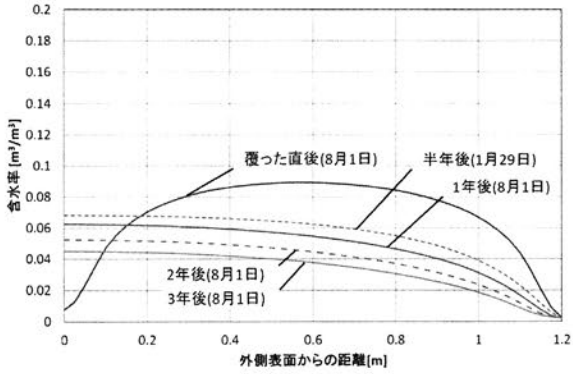


図4　8月に屋外側表面を防水・防湿した場合の含水率分布の変化

5. まとめ　ハギア・ソフィア大聖堂の第2コーニスの屋外内壁面の劣化の原因究明と対策について現地調査と数値解析により検討を行った。1)内壁表面の含水率分布の経年変化は小さく、北西面の平均含水率が最も高かった。2)降雨後の屋外壁表面の熱画像から、壁面で水分が流下しやすい部位が明らかになった。3) 保存対策として透水性の低い材料で外壁を覆うことや、外壁の隙間、特に壁面と開口部の間や、壁と屋根の隙間を埋めることが有効と考えられる。4) 降水量が少なく、壁体内部の含水率が最も低くなる時期（8～10月）に、屋外側表面を防水することで、屋外表面の防水措置後の壁体内の含水率を低く保ち、屋内側表面からの水分蒸発を抑制することができる。

謝辞：本研究は、平成24年度科学研究費補助金 基盤(S)(課題番号：21226014 研究代表者：日高健一郎)の助成を受けたものである。記して感謝申し上げます。**参考文献**：1) 小椋大輔・石崎武志・小泉圭吾・佐々木淑美・日高健一郎・河田慧、ハギア・ソフィア大聖堂の屋内外環境が壁画劣化に及ぼす影響―レンガ造壁体の水分移動解析―、日本文化財科学会第29回大会 (2012)

新しい日本の考古地磁気データベースと地磁気永年変化曲線による年代推定

Archaeomagnetic dating based on the new database and the new geomagnetic secular variation model in Japan

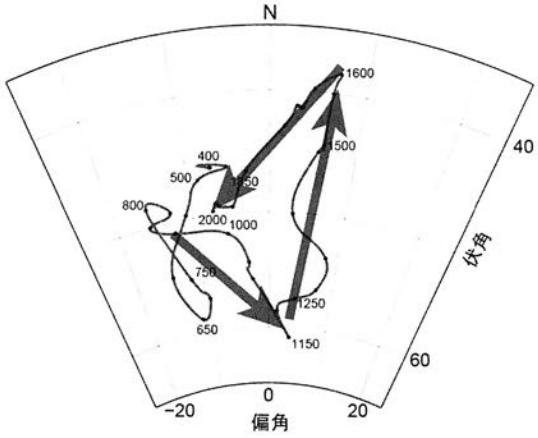
○畠山唯達（岡山理科大学）、鳥居雅之（同左）、渋谷秀敏（熊本大学）、広岡公夫（大阪大谷大学）
○Tdahiro Hatakeyama , Masayuki Torii (Okayama University of Science),
Hidetoshi Shibuya (Kumamoto University), Kimio Hirooka (Osaka Ohtani University)

地球磁場（地磁気）はその源を地球外核（液体金属）における電磁流体的現象（ダイナモ作用）に持つ。液体金属の流れは一定でないため、流体運動と磁場の相互作用によって発生する電流も一定ではなく、結果として電流から生成される磁場も変化をする。実際、地磁気の変化はかなり複雑で、現在ではカオス現象に近いものではないかとすら考えられている（例えばOlson, 2007）。また、ある瞬間の地磁気は第0近似的には地心軸双極子（地球中心に自転軸と平行な棒磁石を置いた磁場）で近似できるが、これも実際にはもっと複雑な形をしている。そのため、世界各地において地磁気のベクトル（方位と強度）はそれぞれ異なった変動を持ち、各地で得られる地磁気変動モデルは異なることになる。人間は過去数百年間にわたって地磁気方位（偏角や伏角）の変化を調べてきたが、それより以前の変化については、岩石中に記録されたいわば「昔の地磁気の化石」である残留磁化を古地磁気学的な方法で測定して得ることができる。もちろん、過去の地磁気を知るためには、その岩石が形成された年代も独立に必要である。このような古地磁気学的手法を適用する試料（サンプル）には様々な岩石等があるが、考古学資料もその1つとして有力なものである。岩石等が熱による残留磁化を獲得するためには、キュリー温度（岩石等によく含まれる磁性鉱物である磁鉄鉱は約580℃、赤鉄鉱は約670℃）以上の高温状態からの冷却が必要である。考古遺物・遺構のうち土器片やそれを焼成した窯跡はこの温度を超えるので、焼成時の地磁気と平行で地磁気の強さに応じた熱残留磁化を獲得している。つまり、熱を受けたことがある考古遺物・遺構も過去数百年～数千年の地磁気の情報をちゃんと保持している試料である。古地磁気学のうち、考古遺物・遺構を対象としたものを特に考古地磁気学と呼んで区別するのは、これらの試料が通常の火山岩・堆積物等の古地磁気学の対象と比べてもより安定で素性の良い残留磁化を保持しており、かつ、その着磁年代がわかっていることが多いという利点のためである。

考古地磁気学は第2次世界大戦前後から英国を皮切りに世界各地で始まった。日本においては、その方位についてはWatanabe (1958, 1959)が初めてまとまった形のデータを提供し、日本における地磁気の変動を表す地磁気永年変化曲線を提示した。その後、Kawai et al. (1965), Hirooka (1971, 1977, 1983), Shibuya (1980)などが西日本を中心とした須恵器窯跡の大規模な発掘を受け、大幅にデータ数を増やした永年変化曲線を提示している。地磁気永年変化曲線ができると、逆に時代が未知である窯跡の床面から試料を採取し、その古地磁気方位を測定し永年変化曲線と比較することで、窯跡の最終焼成年代を推定することができる（考古地磁気年代推定法；中島・夏原, 1981）。実際にこれまでも多くの窯跡においてこの手法を用いた年代推定がされ一定の成果をあげてきた。そこで使用される標準曲線は、多くの場合Hirooka (1977, 1983)による永年変化曲線で、日本国内の地域によって永年変化が異なるという指摘（例えば広岡・藤澤, 2002）もあるが、これが事実上の国内における統一的標準曲線として利用されている。

考古地磁気年代推定がある程度完成されたHirooka (1983)以降も非常にたくさんの考古地磁気学測定は行われ、多くのデータが蓄積してきている。この中には考古地磁気年代推定に頼ることなく年代が与えら

れているものも多く、Hirooka (1983)を継ぐデータベースと永年変化モデルの作成が要求されるようになった。そこで我々は、日本の窯跡などから測定された考古地磁気方位データの収集とそのデータベース化に取り組むことにした。すでに測定された窯跡は2千基以上あるが、その中から土器・陶器の形式編年等によりある程度はっきりとした窯約700基を使い、新たな考古地磁気データベース（AMDAJ ver.1）を作成した。また、そのデータを解析し、紀元後2000年間の日本における新たな地磁気永年変化モデル（JRFM2K.1）を作成した（畠山ら, 2012, 2013）。



畠山ら(2013)による日本の過去1600年間の地磁気永年変化曲線。950~2000年の間に矢印が示すような大きな三角形を描いており、その期間では比較的わかりやすい永年変化をしていて考古地磁気年代推定の精度が期待できる。

今回は、この新しい永年変化曲線を用いて考古地磁気年代推定を行うに当たって、考慮すべきことを議論する。まず、JRFM2K.1曲線の特徴として、信頼できる年代区間は5世紀（AD.400年）以降であることがあげられる。これは以前のモデルでもそうであるが、須恵器窯（考古地磁気が最も多く行われてきた被熱遺構）が登場する以前(~4世紀)は、考古地磁気測定が行われたサイト数が少なく、年代も不確実なものが多い。そのため、この期間でも永年変化モデルは定義されるものの、そこで年代推定することには問題がある。5世紀以降の変動はかなり詳細かつ特徴的にわかるようになった。その中で450~800年, 950~1150年, 1150~1600年, 1600~1900年の期間には地磁気方位が大きく変動したことがわかっている。うち450~800年の範囲ではその動きが半ば往復運動になっているため、永年変化曲線が一部重なっている。それ以外の期間では、地磁気方位のベクトルが単位球上をそれぞれの期間一直線的に進んでいて、その進行速度は5~10度/100年である。つまり、この期間では年代推定の精度は（推定する方の試料の測定誤差にもよるが）だいたい数十年程度であろう。一方で、9~10世紀前半の約150年間は地磁気方位の変動があまりなく、停滞期間であったと考えらえる。この期間については、時間を特定することが困難で、考古地磁気年代推定はあまり強力な道具ではない。考古地磁気データの数が約3倍に増えた今回のモデルがHirooka (1977, 1983)の曲線と比べて最も大きく変わったところは、13~16世紀の変動である。とくにこの部分については、今後の年代推定値が変わることが予想される。

最後に、地磁気永年変化曲線の日本国内における地域性について簡単に議論する。地磁気のうち大部分は軸双極子成分であるため、当たり前だが緯度による伏角の変化は大きい。一方、偏角については、地磁気の変動が双極子変動に由来するものであれば観測される地磁気偏角は場所によってほとんど変わらないが、実際には非双極子成分がそれなりに影響するので、多少異なる。この程度は、現在の地球磁場の偏角分布から考えると日本列島全体で大きくても数度程度である。この偏角の差異は過去へ約400年さかのぼってもあまり変わらない (Jackson et al., 2000)。また、地磁気の変動のうち、コア起源と考えられるものは球面調和関数の次数にして12次（波長約3000km）よりも長周期の構造だけである(Langel, 1987)。つまり、国内では所により永年変化曲線には違いがあるが、仮想地磁気極を固定する方法で各地点に移動した修正永年変化曲線と真の永年変化は「平行移動」の関係になり、場所によって永年変化曲線の形が大きく異なるようなことにはならないことが予想される。

過去2千年間の本州中部産の全木材を対象にした年輪酸素同位体比クロノロジーの確立

Establishment of tree-ring oxygen isotope chronology for all woods in central Japan during last two millennia

○中塚　武（名古屋大）、佐野雅規（同左）、大石恭平（同左）、シュ・チェンシ（同左）、岡部雅嵩（同左）、大西啓子（北海道大）、河村公隆（同左）、坂本　稔（歴史民俗博物館）、尾嵜大真（東京大）、中尾七重（武蔵大）、横山　操（京都大）、赤塚次郎（愛知埋文センター）、樋上　昇（同左）、光谷拓実（奈文研）

○Takeshi Nakatsuka, Masaki Sano, Kyohei Ohishi, Chenxi Xu, Masataka Okabe (Nagoya University), Keiko Ohnishi, Kimitaka Kawamura (Hokkaido University), Minoru Sakamoto (National Museum of Japanese History), Hiromasa Ozaki (University of Tokyo), Nanae Nakao (Musashi University), Misao Yokoyama (Kyoto University), Jiro Akatsuka, Noboru Higami (Aichi Archaeological Center), Takumi Mitsutani (Nara Institute for Cultural Properties)

1. はじめに

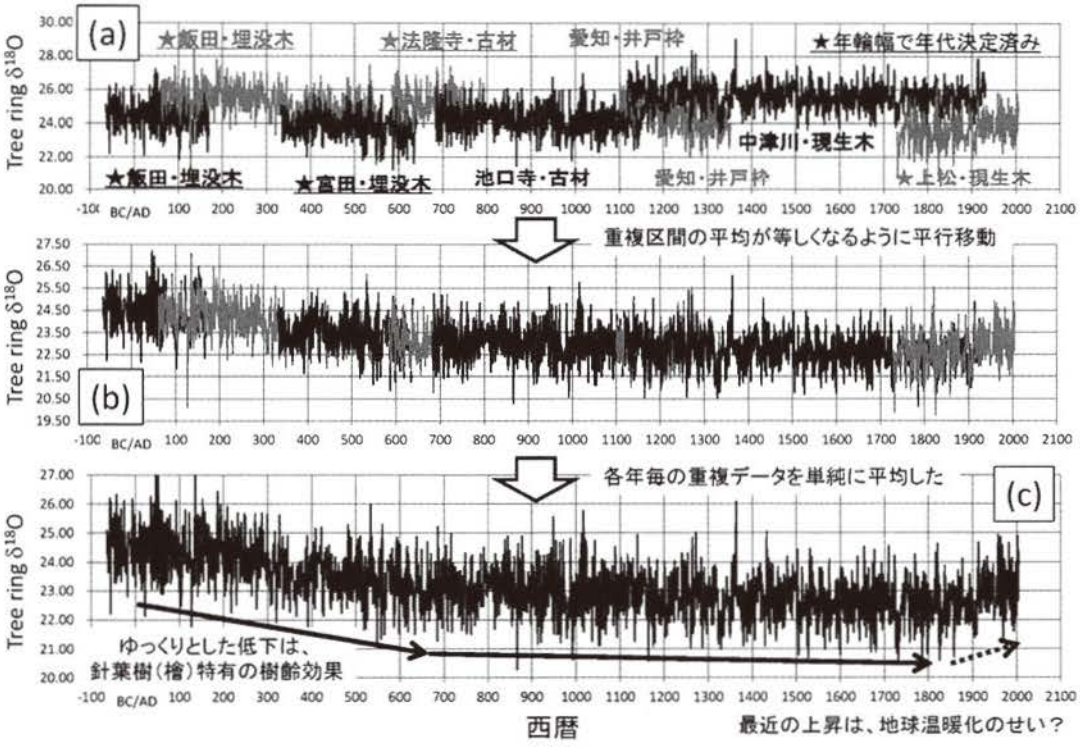
年輪年代法は、考古木質遺物や建築古材の実年代を年単位で正確に決定できる極めて優れた年代決定法である。それは、貴重な資料から“簡便・迅速かつ非破壊”で計測可能な「年輪幅」の時系列データを、樹種ごとに決定されたその標準変動曲線と比較して、パターンマッチングすることにより行われる。日本では、既にヒノキやスギ、コウヤマキなどの針葉樹材に対して、過去3千年を越える年輪幅の標準変動曲線が作成されており、これまでに、さまざまな木質文化財の年代決定に成功裏に利用されてきた。しかし、年輪年代法は、年輪幅の標準変動曲線が作成されていない広葉樹等には適用できないと言う制約があった。演者らは昨年度の年会において、木質文化財の年輪からセルロースを抽出して、その酸素同位体比（$\delta^{18}O$）を測定することで、樹種に依らず適用可能な新しい年輪年代法（酸素同位体年輪年代法）を構築することが可能であることを提案した。これは年輪$\delta^{18}O$の変化が、主に「降水の$\delta^{18}O$」と「相対湿度」という、樹木の生物学的要因とは独立した純粋に気象学的な因子で規定されることによる。「酸素同位体年輪年代法」を実用化していくためには、現在からできるだけ古い時代までを網羅できる年輪セルロース$\delta^{18}O$の連続的な標準変動曲線を作成していく必要があるが、演者らは、最近、中部地方や近畿地方のヒノキの資料を用いて、暫定的ではあるが過去2千年間を越える「年輪$\delta^{18}O$の連続変動曲線」を作成することに成功したので、その作成の経緯や今後の応用に向けた課題について報告する。

2. 用いた木材資料と分析の方法

年輪セルロースの$\delta^{18}O$の測定に用いた資料は、中部地方と近畿地方の各所から採取された多数のヒノキの現生木、建築古材、考古遺物、埋没木である。そのうち弥生時代から奈良時代に至る一連の資料は、年輪幅による従来の年輪年代法によって、年代決定済みのもの（図a）であるが、平安時代以降の資料については、$\delta^{18}O$の変動パターンを現在から過去に向けてつなぎ合わせることで、今回初めて年代の決定を試みたものである。資料は、それぞれ年輪境界に直角な「幅1－2cm、厚さ1mmの薄板」に切り出した後、亜塩素酸ナトリウム溶液によるリグニンの分解と除去、水酸化ナトリウム溶液によるリグニン残渣とヘミセルロースの除去、有機溶媒による脂質や色素の除去を行い、乾燥させて、セルロース繊維のみからなる薄板を作成し、双眼実体顕微鏡下で各年層から分析に必要な量（100-300μg）を、それぞれ精密カッターナイフを用いて切り出し、銀カプセル（もしくは銀箔）に包んで、熱分解元素分析計（TCEA）と同位体比質量分析計（DELTA V）のオンライン装置を用いて、その$\delta^{18}O$を測定した。

3. 年輪酸素同位体比の連続時系列の作成手順

各木材資料から得られた年輪$\delta^{18}O$の時系列の長さは、概ね200～300年程度であることが多いため、過去2千年間の任意の時代に適用可能な連続時系列を作成するためには、データをいかに接合するかが問題になる。年輪の$\delta^{18}O$は、標高と共に変化する「降水の同位体比」や「相対湿度」の影響を受けて変化するため、対象とするヒノキの生育場所に応じて絶対値は大きく異なる。更に年輪の$\delta^{18}O$には、樹木生理学的な理由で、同一の森林から得られた同一樹種のものでも個体間で有意な差があることも分っている。しかしその経年変化パターン自身は、中部地方から近畿地方の広域で、気候変動を反映して良く一致（相関係数0.6～0.7以上）する。そこでデータを接合するに当たって、まず年代が重複する異なる時系列の間の変動パターンの相同性に基づいて、全ての資料の年代を合わせたのち（ちなみに「年輪$\delta^{18}O$」のパターンマッチングによって、現在から過去に遡って新たに決定した年輪年代は、従来の「年輪幅」に基づく年輪年代と完全に一致した。図a)、古い時代から順々に、同一年代区間で重複する複数の年輪$\delta^{18}O$時系列データを「重複期間における平均値が等しくなる」ように、片方（新しい方）の時系列データの全体を平行移動させ（図b)、全体を平均して連続時系列データを作成した（図c)。見かけの超長期の低下トレンドは、ヒノキに特有の樹齢効果を反映したものであるが、この時系列をそのまま利用しても、数10年～100年程度の年輪数の木質文化財の年代決定には、問題は無いと考えられる。



図）年輪セルロース$\delta^{18}O$の連続時系列の作成手順

4. まとめと今後の課題

全ての樹種の木材の年代決定に利用可能な「年輪$\delta^{18}O$の連続時系列」は、その変動パターンの高い個体間相関性から、資料さえ得られれば比較的容易に作成できることが分った。しかし今回得られた連続時系列には、1つの年代に1つの資料しか含まれていない時代が多数存在し、また変動パターンの地域間での相違も全く認定できていない。今後、年輪$\delta^{18}O$による年代決定の精度を向上し、木材の産地判定などにも応用を広げていくために、より多くの時代・地域について、より多くの時系列の作成が求められている。

重要文化財旧茂木家住宅の ^{14}C 年代調査について

Radiocarbon dating and research on Motegi house, an Important Cultural Property of Japan

◯中尾七重（武蔵大学）、坂本稔（国立歴史民俗博物館）
◯Nanae Nakao (Musashi University), Minoru Sakamoto (National Museum of Japanese History)

1. 茂木家住宅について

重要文化財旧茂木家住宅は1970年に重要文化財指定、1977年に文化財解体修理工事[1]が行われ、群馬県富岡市神農原から同市宮崎公園に移築復原された。大永七年（1527）建築と伝承され、近世民家には見られない棟持柱構造は中世住居由来とも考えられてきた。類例遺構が無く、様式編年の方法が適用不可で具体的な建築年代は不明であるが、修理工事に伴う痕跡復原調査では慶安から寛文頃の江戸初期の古民家と推測された。民家研究に資し茂木家住宅の建築年代を明らかにするために ^{14}C 年代調査を行った。

2. 年代調査

2012年4月19日、重要文化財茂木家住宅の推定当初材を選択し、中尾・坂本が試料採取を行った。

茂木1（大引転用旧柱）はガラスケースに展示されていた保存材で宝永五年の墨書が記されている。大道管に透明で光沢のある樹脂様物質の詰まっていることが確認され、硬化も甚だしく切削は相当困難であった。茂木2（「又は四」柱）は土間床上境の芯持ちの棟持柱で、亀裂の隙間のひび割れた木片を採取した。茂木3（「い五～ほ五」）は土間上部の梁で、露出している木口面の最外年輪部と最内部年輪部よりそれぞれ5年輪試料を採取した。採取した試料は坂本が試料に付着した油分や煤などを有機溶媒中の超音波洗浄によって除去し、一般的な年代測定試料の洗浄処理である酸・アルカリ・酸（AAA）処理を行った。グラファイト化およびAMS測定を（株）パレオ・ラボに依頼した。測定により得られた結果を表1に示す。

表 1　旧茂木家住宅　試料データ

部材番号	部材名	番付	総年輪数	樹種	採取面	平均年輪幅	試料番号	年輪位置 最外層を1年目	測定番号	$\delta^{13}C$* (‰)	^{14}C 年代 (yrBP±1σ)	最外層　判定年代
茂木1	旧柱（大曳転用）	保存材	22	不明	木口	6.3mm	GMMTG-1.11-15	11-15	PLD-20961	-28.89±0.23	7425±30	異常値
茂木2	棟持柱	又は四	不明	カシ	柾目	5.9mm	GMMTG-2	1	PLD-20962	-25.50±0.33	235±25	1636-1680、1764-1774 1775-1800、1939-1951
茂木3	梁	い五-ほ五	20	マツ	木口	4.3mm	GMMTG-3.1-5	1-5	PLD-20963	-25.17±0.22	310±20	1520-1602、1626-1648
							GMMTG-3.16-20	16-20	PLD-20964	-26.38±0.27	325±20	
茂木4	土間独立柱	ろニ	不明	ケヤキ	板目	不明	GMMTG-4	1	PLD-20965	-27.10±0.21	150±20	1669-1698、1723-1780 1798-1816、834-1879 1916-1945

*炭素13の炭素12に対する同位体比の標準試料に対する偏差を千分率で表示したもので、AMSによる測定で参考値。炭素14濃度（$^{14}C/^{12}C$）の同位体効果の補正に用いられる指標。

3. 調査結果

茂木1（GMMTG-1）はチャノマのガラスケースに展示されていた保存材で、「大□□年　宝永五年迄百八拾年　茂木政右衛門相改」と墨書があり、1708年（宝永五年）の修理で前身建物柱を大曳に転用した材である。大重量で硬化も甚だしく、大道管に透明で光沢のある樹脂様物質が詰まり、保存処理による樹脂浸潤の可能性が推察された。前処理はアセトンおよびクロロホルム・メタノール混液による有機溶媒洗浄と，通常のAAA処理を2回施した。測定の結果得られた7425 yrBPという値は明らかな異常値である。樹脂などの薬品は一般的に除去が困難で，保存処理された試料は ^{14}C 年代測定には適さない。

茂木2（GMMTG-2）は土間床上境「又は四」の棟持柱で柱側面から1年輪を採取した。暦年較正[2]の結果、最外年輪層で1636-1680年(56.6%)、1764-1774年(1.6%)、1775-1800年(31.48%)、1939-1951年(5.9%)と得られた。墨書から当初建築が18世紀中期以前が確実で、茂木2最外年輪層は1636-1680年が選択された。

茂木3 GMMTG-3）は「い五～ほ五」に架けられた当初梁で、端部木口露出面より5年輪試料2点の採取を行った。ウィグルマッチの結果、最外年輪層で1520-1602年(75.4%)、1626-1648年(20.1%)と得られた。

茂木4（GMMTG-4）は土間の独立柱で、最外1年輪の採取を行った。暦年較正の結果、17世紀末から20世紀中葉までの複数年代が得られた。建築調査から明和、文政、19世紀以降の年代が排除され、1669-1698年が選択される。宝永の修理時に用いられた後補材であることが判明した。

4. 年代考察

茂木家住宅年代調査の結果、茂木1は異常値、茂木2は17世紀中頃、茂木3は17世紀前半、茂木4は17世紀末の年代が得られた。茂木4は後補材なので、茂木家住宅は17世紀中頃に建築されたと考えられる。17世紀中期以降（慶安～寛文頃）の建設と推定された修理工事の知見とよく合致する結果となった。

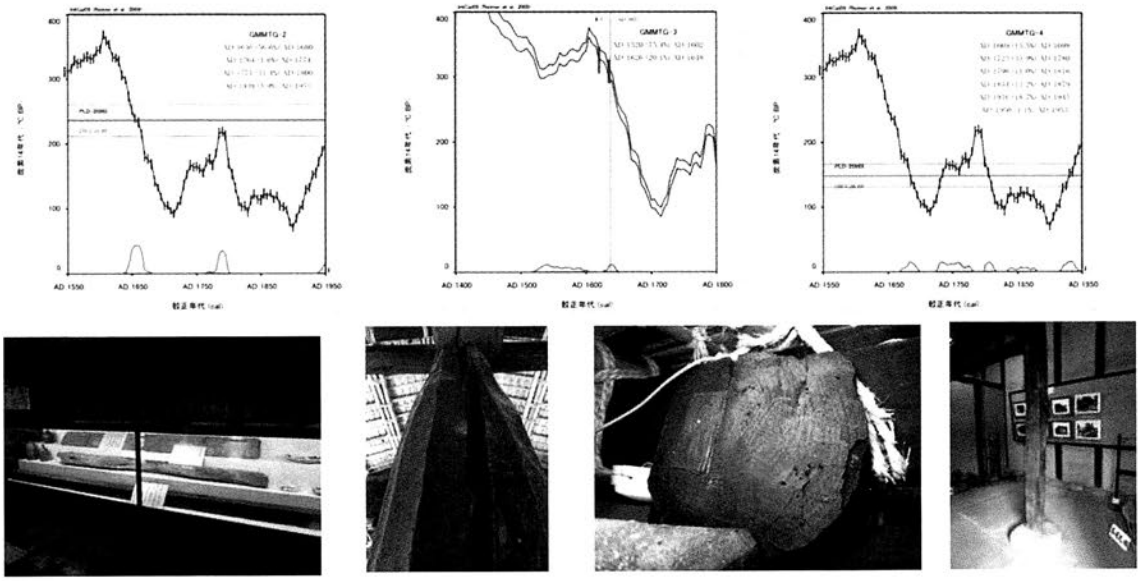


図1　上（グラフ）：茂木2、茂木3、茂木4　　下（外観写真）：茂木1、茂木2、茂木3、茂木4

謝辞

茂木家年代調査にご協力くださった富岡市教育委員会、宮澤智士長岡造形大学名誉教授、および特定非営利活動法人街・建築・文化再生集団中村武様に感謝申し上げます。

本研究は平成24年度科学研究費補助金（基盤研究(B)）「文化財建造物の高精度放射性炭素年代測定」（課題番号23300325）（研究代表者　中尾七重）によるものである。

1　重要文化財　茂木家住宅保存修理工事報告書、財団法人文化財建造物保存技術協会編、富岡市教育委員会　1977.3

2　P. J. Reimer et al., IntCal09 and Marine09 Calibration Curves, 0–50,000 Years cal BP. Radiocarbon 51, pp.1111-1150, 2009.

琉球沖縄古衣装の放射性炭素年代測定

Radiocarbon Dating of Medieval Costumes from Okinawa, Ryukyu

○中村俊夫（名古屋大学），寺田貴子（活水女子大学），
植木ちか子（琉球・沖縄の服飾研究所）
○Toshio Nakamura (Nagoya University), Takako Terada(Kwassui Women's University) and
Chikako Ueki(Institute for Ryukyuan Costumes)

1．はじめに

琉球列島の旧家に伝世する，絹織物で製作された 4 種類の古衣装について，衣装の製作年代を確認することを目的として，名古屋大学に設置されている加速器質量分析（AMS）装置を用いて放射性炭素（^{14}C）年代測定を行った．その結果を報告する．

絹織物で作られた衣装の成立プロセスを考えてみると，まず始めに絹糸が紡がれる．大気中に一定の割合で存在する放射性の炭素からなる $^{14}CO_2$ は，安定な炭素からなる $^{12}CO_2$ や $^{13}CO_2$ と共に光合成により桑の木に取り込まれ，取り込まれた炭素を元にして，その年の桑の年輪や葉や実が形成される．桑の木から新鮮な桑の葉が集められ，それを食べてカイコが成長する．カイコは 5 齢になると口から絹糸を出して繭をつくり、繭のなかで蛹化する．このように，カイコが生まれてから繭を作るまでには，およそ 1～2 か月を要する．

この繭を熱湯につけてほぐれてきた繭糸をより合わせて絹糸をつくる．絹糸から絹織物を製作し，次に絹製の衣装を製作することになる．繭から絹糸の作成は古代の製法でも短期間で行われると考えられる．絹糸から絹織物の製作，絹織物から衣装の作成は，それほど急ぐことはないと思われるが，絹糸や絹織物を長期間放置・保管する理由はない．

すなわち，絹糸の年代と古衣装の製作年代はほぼ同時であると考えても良い．もちろん，絹織物片の年代測定結果は，絹織物で衣装が製作された年代よりも常に古い年代を示すはずであることを考慮しておくべきである．

なお、加速器質量分析装置で測定された ^{14}C 年代は，“^{14}C 年代－暦年代較正曲線（IntCal09 データセット）”を用いて暦年代に換算される．古衣装の製作年代を歴史編年で議論するには，この換算が必要不可欠である．

表 1　^{14}C 年代測定のために分取された沖縄の古衣装のリスト

試料番号	古衣装名	出土場所	所有者	備考
Tera-S1	刺繍大袖衣	沖縄本島本部町	仲村家	実物から分取した
Tera-S2	御巾（ミサジ）	沖縄本島本部町	仲村家	実物から分取した
Tera-S3	刺繍大袖衣	沖永良部島	森家	端切れの提供を受けた
Tera-S4	紅大袖衣	伊是名島	名嘉家	端切れの提供を受けた

2　絹織物試料

年代測定の対象とした絹織物の試料 4 点を表 1 に示す.

3．^{14}C 年代測定のための試料調製

絹布片試料は，アセトンでよく洗浄したあと，塩酸–水酸化ナトリウム–塩酸（AAA 処理）による化学洗浄処理を行ったあと，燃焼して CO_2 に換え，グラファイトを合成して，名古屋大学のタンデトロン AMS システムを用いて ^{14}C 年代測定を行った.

4．結果と考察

今回測定した 4 点の絹布試料は,いずれもほぼ 15 世紀半ば頃に遡る年代を示した(表 2)．Tera-S2 試料（仲村家のミサジ）は，17 世紀初頭まで若くなる可能性があるが，他の大袖衣はいずれも古く 1426～1500 年の間に作成された可能性が高い．特に，第 2 尚氏の初代琉球王・尚円王（在位 1470～1476 年）が伊是名島にいる姉に贈ったとされる Tera-S4 試料（名嘉家の紅大袖衣）の作成年代は，^{14}C 年代測定から 1426～1474 とされ，史実とよく一致している.

表 2　沖縄の古衣装から採取された絹糸試料とそれらの ^{14}C 年代測定結果および較正暦年代

試料番号	試料材料	化学処理後の試料重量 (mg)	回収された CO_2 の重量(mgC)	$\delta^{13}C_{PDB}$ * by AMS (‰)	^{14}C age (BP)	^{14}C 年代を暦年代に較正した年代 (Reimer et al. 2009) ** 較正年代範囲(±2s の範囲)（可能性の確率 : probability)	測定番号 (NUTA 2-)
Tera-S1	絹糸	7.22	3.21 (44.5%)	-23.7±1.0	419±19	cal AD 1436～1486 (95.4%)	19218
Tera-S2	絹糸	7.06	3.15 (44.6%)	-24.3±1.0	357±21	cal AD1456～1526 (48.8%) cal AD1556～1633 (46.6%)	19325
Tera-S3	絹糸	6.85	3.07 (44.9%)	-24.7±1.0	404±21	cal AD1440～1500 (87.6%) cal AD1508～1510 (0.7%) cal AD1601～1615 (7.1%)	19326
Tera-S4	絹糸	7.01	3.08 (44.0%)	-24.6±1.0	437±21	cal AD1426～1474 (95.4%)	19328

*)　$\delta^{13}C=[(^{13}C/^{12}C)_{sample}/(^{13}C/^{12}C)_{PDB} - 1.0]\times1000$ (‰)，ここで，PDB は Pee Dee Belemnite の略記で，炭酸カルシウムからなる矢石類の化石であり，$^{13}C/^{12}C$ 比の標準体として用いられる．ここに示す$\delta^{13}C$ 値は，AMS を用いて測定した値である.

5．まとめ

琉球文化圏に伝世する古衣装等につき，^{14}C 年代測定を行った．その結果，今回測定した絹布 4 試料は，いずれもほぼ 15 世紀半ば頃に遡る年代を示した．衣装は虫食いのあとが多くあり，かなり傷んでいたが，絹糸自体は，まだ丈夫であり，保存に注意すれば，まだまだ後世に残すことが可能であると思われる.

口頭
A 会場
B 会場
C 会場

琵琶湖の淡水リザーバー効果と年代測定への影響

Freshwater reservoir effect at Lake Biwa and its effect of radiocarbon dating

○宮田佳樹（名古屋大学、国際基督教大学）*、荒巻能史（国立環境研究所）、南雅代・太田友子（名古屋大学）、遠部慎（徳島大学）、坂本稔・今村峯雄（国立歴史民俗博物館）、中村俊夫（名古屋大学）

○Yoshiki Miyata (Nagoya University, International Christian University)*, Takafumi Aramaki (National Institute for Environmental studies), Masayo Minami, Tomoko Ohta (Nagoya University), Shin Onbe (Tokushima University), Minoru Sakamoto, Mineo Imamura (National Museum of Japanese History), Toshio Nakamura (Nagoya University)

*現在:金沢大学 (Kanazawa University)

1．はじめに

琵琶湖は滋賀県の面積の 1/6 を占め，日本最大の湖である（Fig. 1 参照）。その集水域は滋賀県全体とほぼ一致し，おおまかに言えば，湖を中心にして平野が広がり，その外側に分水嶺が囲む同心円状の構造をしている。また，流入する一級河川は 125 本あるが，全て北湖（湖の容積の 99%以上を占める）へ注ぎ，その水は，平均水深 4m と浅い南湖，唯一の流出河川である瀬田川へと続く，比較的単純な水理構造をしている。

Miyata et al. (2013)では，琵琶湖水中の溶存無機炭素(Dissolved Inorganic Carbon: DIC)の炭素 14 濃度（DI^{14}C 濃度）を粟津湖底貝殻遺跡出土セタシジミと炭化材のペアおよび，現生セタシジミなどの貝殻の炭素 14 濃度から推定し，湖水の炭素 14 年代が同時代の大気に比べてどの位古い炭素年代を示しているのかを調べた（淡水リザーバー効果)。その結果，縄文時代中期（3300～3200 cal BC）から現在まで湖水に含まれる DIC の炭素年代が同時代よりも 330～450 炭素年古い値を示す淡水リザーバー効果が持続している可能性を指摘した。

1914 年～2000 年までの統計データによると，近年の琵琶湖水の平均滞留時間（τ（年）= 湖水量(V)/河川流入量(V/年)）は 3-6 年である（国土交通省近畿地方整備局琵琶湖河川事務局ホームページ)。したがって，この短い湖水の平均滞留時間は，330 年～450 年という

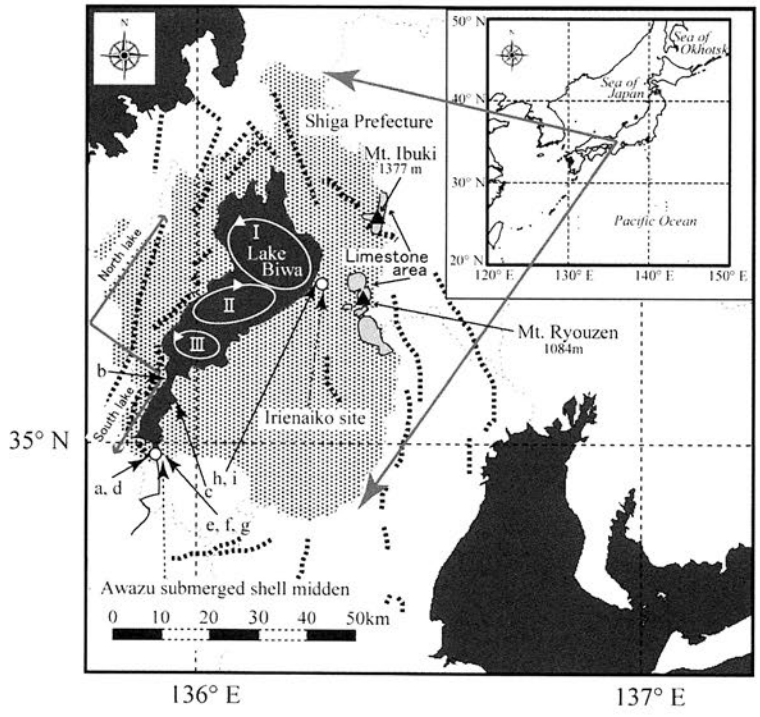


Fig. 1. Sampling locations in Lake Biwa. This figure was modefied after Miyata et al. (2013).
a: Offshore Ootsu Water Research Station; b: Ootsu City Katata; c: Kusatsu City Tsutae;
d: near submerged Awazu shell midden; e: Ootsu City Setakarahashi; f; Ootsu City Karahashikouen;
g: Ootsu City Setasouteijyou; h: Hikone City Matsubara beach; and i: Hikone City Offshore Matsubara.
I, II, III means gyres in lake surface layer. Lake catchment covered by screen tone, is
almost coincides with the area of Shiga Prefecture and Limestone area was surrounded by grey zone.

湖水のリザーバー効果とは大きく矛盾する。つまり，何らかの古い炭素が琵琶湖水に供給されなければならない（Miyata et al., 2013）。

そこで，本研究では，この湖水のリザーバー年代を示す原因を説明するために，琵琶湖水に対する古い炭素源（old carbon source）の寄与を琵琶湖のシンプルな水理構造を利用してモデル計算を試みた。伊吹山系の湧水や姉川などの河川水のDIC, DI^{14}C濃度を測定し，琵琶湖水圏環境において，Dead carbon sourceである，伊吹山，霊仙山などの石灰岩地帯を起源とする河川水，地下水などから供給される古い炭素の影響を評価した。

さらに，豊富な魚介類や淡水を利用できるため，琵琶湖周辺では，先史時代から人々の生活が営まれていたことが知られている。実際，縄文時代以降，これまでに湖内に沈んだ水中遺跡が，100ヶ所以上見つかっている。このことから，琵琶湖の水産資源を食料として生活していた当時の（人間を含む）動物が，淡水リザーバー効果の影響を強く受けていたことが示唆される。

2．方法

粟津湖底遺跡出土セタシジミ，炭化材，獣骨，現生貝類，アシ，松葉，伊吹山系の河川水，湧水中のDICの炭素14年代（炭素14濃度）を名古屋大学年代測定総合研究センター，パレオ・ラボ社のAMSで測定した。

3．結果と考察

現生生態試料（貝殻）中の炭素14濃度から，琵琶湖水のDIC中の炭素14濃度を推定し，大気圏核実験の影響を受けた1950年以降の琵琶湖水中DIC中の炭素14濃度の経年変動をモデル計算によって説明し，縄文時代中期以降5000年間の琵琶湖への炭素供給源の推定を行った(淡水リザーバー効果)。さらに，この淡水リザーバー効果が人間を含めた動物に与える影響を評価するために，貝の殻と身，魚の骨と身などの炭素年代差を比較検討した。というのも，生物の硬組織と軟組織では異なる起源の炭素を利用している場合があるからである。例えば，貝殻（硬組織）の炭酸カルシウム骨格は，湖水に含まれるDICである炭酸水素イオンとカルシウムイオンとの反応によって生成する。一方，貝の身（軟組織）は食性を反映し，シジミなどの二枚貝なら濾過摂取を行い，沿岸に生息する巻き貝では，コケなどの藻類を好む。動物は種によって食性が異なるため，貝種や魚種の違いによっても，炭素年代差が生じるかもしれない。一般に，高次消費者によって，より低次な消費者の軟組織が捕食される食物連鎖によれば，例えば人間がセタシジミの身を食べる場合には，直接湖水のDICが示す炭素年代ではなく，軟組織が示す炭素年代の影響を受けるはずである。しかし，遺跡から出土するのは貝殻や骨などの硬組織のみであるため，遺跡出土試料のみからでは真の意味での（人間も含めた）動物への淡水リザーバー効果の影響を評価することは簡単ではない。

そこで，上記の問題を踏まえ，本発表では現生生態試料の軟硬組織の年代測定結果も含めて，琵琶湖の淡水リザーバー効果と年代測定への影響に関して議論する。同様な問題は琵琶湖以外の様々な淡水湖，沼などの水圏環境において生じうる問題であるため，ここでの検討は一般に適応可能と思われる。

薬師寺の玄奘三蔵院伽藍壁画殿の内部温湿度

Internal temperature-humidity of the HEKIGADEN in the YAKUSHI-JI Temple.

○宮野秋彦(名古屋工大)、鈴木嘉吉(薬師寺東塔修理委員会)、宮野則彦(日本大学)
○Akihiko Miyano, Kakiti Suzuki, Norihiko Miyano.

1. まえがき

薬師寺の玄奘三蔵院伽藍には、日本画家平山郁夫氏の筆に成る、玄奘三蔵求法の精神を讃仰する十三面の壁画が絵身舎利として祀納されている。

伽藍の建物は、昭和４２年（1967）以来、東大名誉教授太田博太郎博士の指導により概ね完成していたが、壁画を祀納し永く護持していくためには、特に壁画殿内の温湿度環境の更なる改善が必要と考えられ、平成 10 年（1998）より壁画納入の平成 12 年（2000）末までの２年余に亘って改修工事が行われた。

本報では、その中から主に湿度環境の調整と結果の概要について報告する。

2. 壁画の祀納状態

壁画は 13 面から成り、図１に示す壁画殿北側正面の柱間には須弥山が描かれた３面を中心として計７面が収められ、東西両側壁に各２面、南側の東西両袖壁には各１面が収められている。

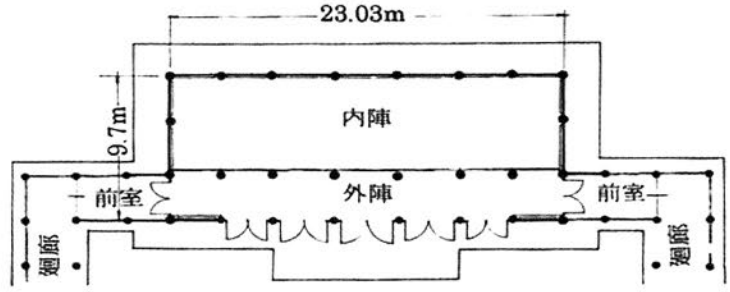


図１　薬師寺玄奘三蔵院壁画殿平面図

この内、南側両袖の２面のみはガラスケースに収められているが、他の壁画は全て露出展示となっている。

３．壁画殿の内部温湿度環境に係る改修工事の概要

壁画殿内の相対湿度の調整目標を 50～60%とし、外壁の隙間を極力塞ぎ、東西の出入口の外に夫々風防室を新設した上で以下の改修を行った。

鉄骨造などの耐火被覆材としてのケイカル板（厚 25mm）の断熱及び調湿性能に着目し、その表面に溝を付け、更に、柿渋の希釈液を塗布したものを壁の内表面と屋根の垂木下面に貼った。

なお、柿渋液の塗布に関する透湿・吸放湿特性への効果及び施工性について、日本大学並びに㈱JIC 中央技術研究所で実験検討を行った結果、16 倍の希釈液を採用することとした。

壁画殿の床は、既設の磁器タイルを一部残して撤去し、ゼオライトを主材とした調湿性に優れた土質系の加圧成型タイル（300mm×300mm、厚 35mm）に敷き替えた。

更に、壁画公開の略1年後の2002年3月に、壁画の一層の保全を考慮して、内陣と外陣（拝観者通路）の間にガラススクリーンを設置した。

4．壁画殿内の湿度環境に関する調査の概要

図2～図4に改修前後及びガラスクリーン設置後の内外相対湿度の相関を示す。

改修工事前の堂内湿度は外気より10～20%も高く、40%～80%の間に散乱しているが、壁画祀納後の堂内湿度はかなり散乱が収まり、年間を通じて外気より10～20%程度低くなっていることが分かる。

更に、ガラススクリーン設置後は、図4に示すように、堂内湿度は概ね50～60%の範囲に収まり当初の目標を達成することが出来た。

5．あとがき

壁画殿の湿度環境は概ね当初目標を達成することが出来たが、さらに一層の湿度環境の改善を図るため、2012年に壁画が国博に移動している間に、床の一部に残されていた焼成磁器タイルを全て撤去し、保存していた調湿性床タイルと張り替えた。

その後の絵画殿内の状況については、温度環境も含めて後日報告したいと考えている。

謝辞.

絵画殿の床に敷設したゼオライトを主材とした加圧成型タイルは、壁画殿のために特に村田豊氏によって創出・製作されたもので、氏の格別の御尽力に対し心より篤く御礼申し上げる。

また、柿渋液を塗布した場合のケイカル板の吸放湿特性の測定については、高野敏克氏（JIC. 中央技研―当時）には多大の御助力を頂いた。

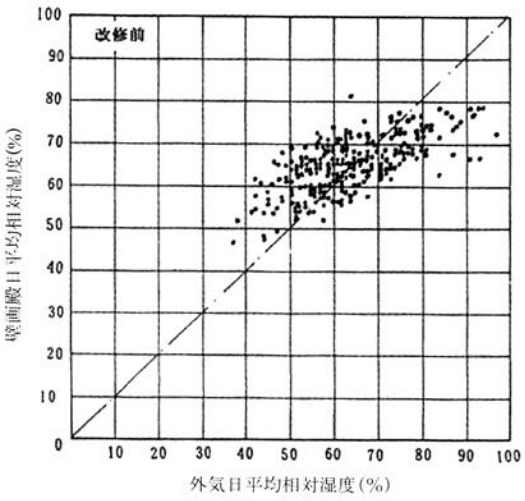


図2　外気と壁画殿内の湿度相関　そのⅠ

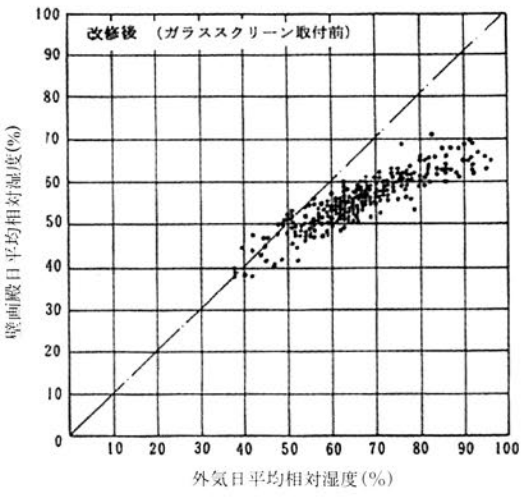


図3　外気と壁画殿内の湿度相関 そのⅡ

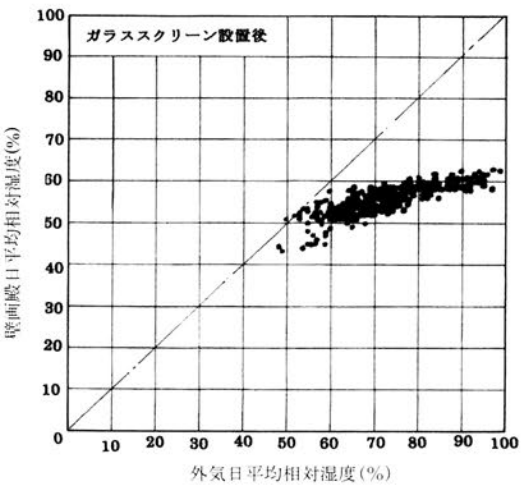


図4　外気と壁画殿内の湿度相関　そのⅢ

石材強化保存材料としてのナノライムの物性評価（Ⅰ）
― 試験片による実験的研究(1) ―

Evaluation of Nano-Lime as the Consolidant of Stone(I)
Experimental Study Using Artificial Test Pieces(1)

○西浦忠輝（国士舘大学）、齋藤俊介（同左）、宋苑瑞（東京大学）、ｱﾝﾄﾞﾗｽ･ﾓﾙｺﾞｽ（韓国伝統文化学校）
○Tadateru Nishiura, Shunsuke Saito (Kokushikan University), Wonsuh Song (Tokyo University),
Andras Morgos (Korea National University of Cultural Heritage)

1. はじめに

石材強化保存材料として近年注目されているナノライムの処置効果については、まだ定かとなっておらず、研究開発途上という状況にある。そこで、劣化した石材を想定した試験片を作成し、それらをナノライムのほか従来用いられている強化材で処理し、その物性を各種試験により測定して比較検討する研究を行っている。本発表はその(1)として、途中経過を報告するものである。

2. ナノライム

ナノライムは、水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）の微細結晶（100～300nm）で、低級アルコール中に分散した懸濁液として供給されている。通常の石灰（無水水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$））粉末粒子（約50μm）に比べてその大きさは1/250ということになる。このナノライム懸濁液を石材の微細空隙中に含浸し、空気中の炭酸ガスと反応してカルサイト（$CaCO_3$）を生成させ、石材を強化し保存する方法が注目されている。石灰岩では勿論のこと、他の石でも鉱物粒子を結合させているセメント物質の多くがカルサイトであり、最終的にカルサイトとなって石材中に固定されるナノライムは、材質的には理想的な石材強化材ということができる。また壁画保存等にも応用され始めている。

3. 試験材料

3-1 試験片

劣化して凝集力の低下した石材を想定した試験片として、固化セメントモルタル、レンガおよび3種の石材の顆粒粉に早硬性セメント(体積比15：1)と水を加えたものを、塩ビ製円形パイプ内で固めてからカットしたものを試験片（直径5cm、高さ5cm）とした[表1]。

表1 試験片基材料

記号	顆粒粉材料	嵩比重
M-	固化セメントモルタル	1.79
B-	レンガ	1.59
G-	花崗岩（茨城・笠間産）	1.68
S-	砂　岩（茨城・大子産）	1.89
T-	凝灰岩（栃木・大谷産）	1.20

3-2 含浸強化処置

上記の試験片に、ナノライム懸濁液および石材の含浸強化材料として用いられている3種の合成樹脂溶液(樹脂濃度25g/ℓ)を減圧含浸(10分間、3回)して14カ月間自然乾燥させた［表2］[図1]。

表2 含浸強化材料

記号	含浸強化材料
-C	なし
-N	ナノライム懸濁液
-W	シリコーン樹脂溶液（ワッカー OH100）
-A	エポキシ樹脂溶液（アラルダイト 2020）
-P	アクリル樹脂溶液（パラロイド B-72）

4. 物性試験

4-1 吸水試験

試験片を60℃で48時間乾燥し、冷却後秤量してから水中に浸漬して、一定時間経過後に秤量することにより吸水率カーブを求めた。

代表例として花崗岩試験片の吸水率カーブを図2に示す。アクリル樹脂(パラロイド)以外はほぼ同じカーブを描き、ナノライムを含め処置後も高い吸水性を維持していることがわかる。

処置後も吸水性を維持させるかあるいは防水性を付与す

図1 試験片

るかについては、それぞれの状況によるが、防水性を付与する場合には撥水性シリコーン樹脂の含浸が有効である。

4-2　圧縮強度試験

吸水試験に供した試験片を60℃で48時間乾燥後、2週間風乾してから圧縮強度試験に供した。

代表例としてレンガ試験片の強度と破壊に要した時間のプロット図を図3に示す。図3からは樹脂処置によって強度が有意に増加していることが見て取れるが、他の試験片ではその差は小さい。ナノライムの場合、強度を増加させるよりも少なくとも凝集力を維持効果は十分あるものとみることができる

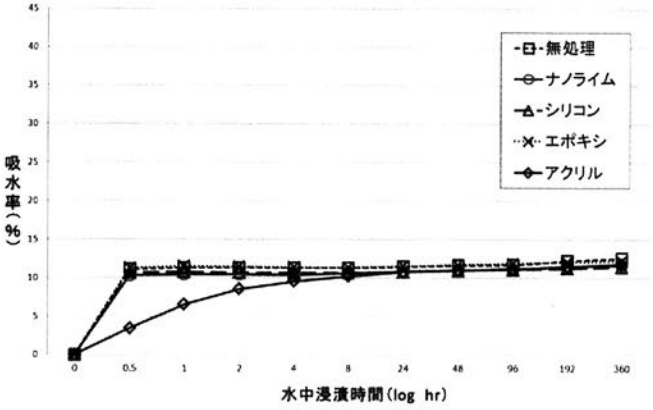


図2　吸水率測定(花崗岩試験片)

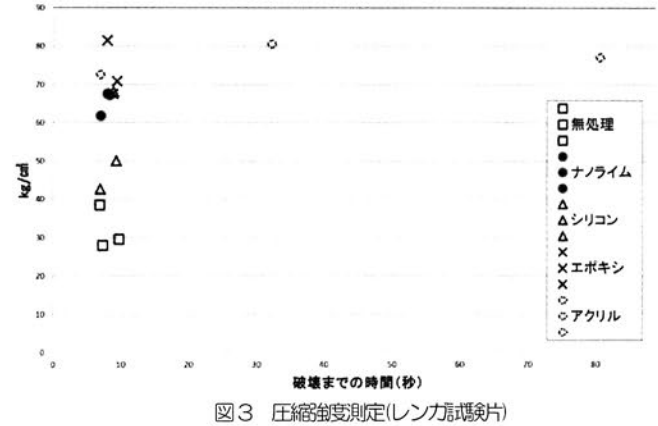


図3　圧縮強度測定(レンガ試験片)

4-3　塩類風化促進試験

試験片の円周部をプラスチックテープで養生し、5%硫酸ナトリウム水溶液中に5㎜浸る程度に置き、上部で結晶化させることにより劣化を促進させた。一定期間経過後状態を観察して劣化状態を比較している[図4]。3月末の時点で明らかな差は出ていないが、数か月内には差が出るものと考えている。

4-4　サンドブラスト穿孔試験

試験片に細いノズルから高圧で微粒砂を吹き付けて穿孔し、その穿孔深さにより強度(凝集力)差を図る試験を4月より開始した。

図4　塩類風化促進試験

5. 考察

塩類風化促進試験、サンドブラスト穿孔試験の結果については、7月の発表時に報告する予定であるが、現在までの試験結果から見る限り、ナノライムの強度付与効果はそれほど大きなものではないものの、劣化が進んで凝集力を失った石材に対しての強度回復効果は十分に期待される。処置後の耐久性は当然高いことが期待され、もともとの石のセメント物質と同材料であること考慮すれば、処置効果はあるということができる。

6. おわりに

ナノライムの石材保存処置への応用についての研究はまだ多くない。理論的には理想に近い材料であることから、その可能性について、今後、さらに種々の試験を行うことにより、検討、考察を進めていきたいと考えている。研究(実験)途上の報告であるため、要旨集の内容が不十分であることを陳謝致します。

<参考文献>

- ナノライムや樹脂を用いた岩石の強化実験 - 大谷石、琉球石灰岩、安山岩を中心に - , 宋苑瑞・A.Morgos: 文化財保存修復学会34回大会発表要旨集, p.p.74-75 (2012)
- Nanotechnology in the conservation, A.Morgos: 科学研究費補助金研究成果報告書 (2012)
- V. Dniele & G. Taglieri: Synthesis of $Ca(OH)_2$ nanoparticles with the addition of Triton X-100. Protective treatments on natural stones: Preliminary result, Journal of Cultural Heritage 13, P.P. 40-46 (2012)

アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究(2)
Study on the Conservation Materials for Bas Relief of Bayon temple in Angkor Site. (2)

○松井敏也(筑波大学)、沢田正昭(国士舘大学)、井上才八(アイ・エヌ・テクニカルラボ)、
海老沢孝雄(ざエトス)、河崎衣美(筑波大院)、跡見洋祐(同左)、千葉麻由子、朴東熙(早稲田大院)
○Toshiya Matsui(University of Tsukuba), Masaaki Sawada(Kokushikan University), Saihachi Inoue(I.N Technical Lab.), Takao Ebisawa(The Ethos), Emi Kawasaki, Yosuke Atomi(University of Tsukuba), Mayuko Chiba, Donghee Park(Waseda University)

1. はじめに

アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りに用いられている砂岩に適した保存修復材料を選定するために各種の保存修復材料を用いた試験を2007年より実施し、これまで強化材料を塗布した試験に関する報告を行なってきた[1)]。本発表では各種の撥水処理剤を用いた試験の報告を行なう。この試験と並行して浮き彫りに用いられた様々な質感の砂岩に適用できる補填整形材料としての擬岩の評価試験をバイヨン寺院の境内で実施したのでその経過についても報告する。

2. 試験方法と試供体

試供体砂岩はアンコール遺跡が所在するシエムリアップ周辺から採取し、円柱状(直径45mm、長さ100mm)に整形した。成型時には砂岩の節理を考慮し、砂岩の特徴的な縞模様の方向を円柱の長さ方向に対して水平と垂直になるように加工した。試供体(円柱)の密度は2.33 ～ 2.34g/cm³程度、吸水率はおおよそ4.2%である。試験に用いた撥水剤を表1に示す。

表1 試供体に用いた撥水剤

撥水剤(商品名)	成分
タイトシランS	シラン系エマルジョンタイプ
Wacker290※	シラン系オリゴマー
Protectosil BHN	シラン系モノマー
ADESSO WR-1	ナノシリカ

※通常は希釈して使用

補填整形のための修復材料は砂岩を砕いた粉末に加える樹脂量の混合比を変えて作製し、さらにその表面を撥水剤や強化剤で補強の処理を施した。樹脂はサイトFX(I.N.テクニカルラボ)を用いた。表2には修復材料の仕様を示す。

表2 補修整形用修復材料の仕様

名称	ｻｲﾄFX濃度	砂岩粉末との混合比	表面処理
A	27.5%	1:4.5	表層強化剤SPT(15%)＋アンコール砂岩粉
B	32.5%	1:5.5	ｻｲﾄFX(32.5%)＋G、H用充填材
C	37.5%	1:5.0	B72(8%)+ アンコール砂岩粉
D	37.5%	1:3.5	表層強化剤SPT(15%)塗布
E	37.5%	1:4.0	B72(8%溶液)塗布
F	37.5%	1:4.5	無処理
G	37.5%	1:4.2	Silicate 3#(20/80)＋アクリルシリコン塗布
H	40.0%	1:4.5	撥水剤 BHN 塗布

3. 結果と考察

3.1 撥水剤

未処理の試供体(Original)をはじめ、実験当初吸水率が小さくなる現象が続いたがこれは表面の孔隙が砂粒や塵埃などにより目詰まりしてこのような現象が起こったものと考えられた。未処理の試供体の表面硬度は年々下降し、暴露4年間で約1割低下することがわかった。撥水剤Wacker290を使用した試供体の表面硬度は維持され、吸水率も低下したまま推移した。このことから優秀な撥水効果をもたらしていることがわかる。Wacker290は塗布後4年間は激しい濡れ色を呈したが、その後処理前の試供体に近い色相で現在は落ち着いている。2011年がアンコール地域は記録的多雨の年となり、Wacker290以外の試供体には黒色の微生物が着生した。試供体砂岩および擬岩に付着したこれらの汚れは、ルーペによる観察から黒色糸状の微生物と灰黒色顆

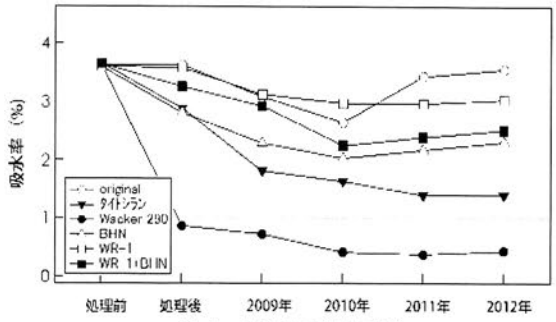


図 1　吸水率の経年変化

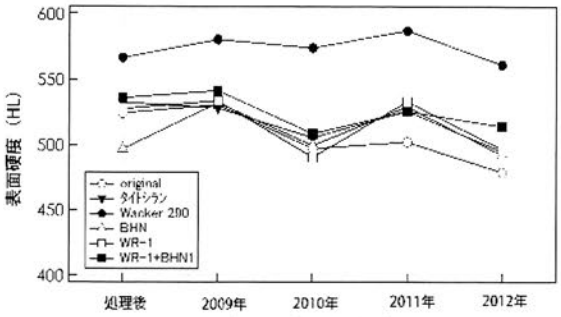


図 2　表面硬度の経年変化

粒状の微生物であることがわかった。2種共に試供体のごく表面に付着した状態で、黒色糸状の微生物は錯綜して約0.5mm厚のマット状となる部分があった。糸状の微生物は菌類または藻類の可能性が考えられ、顆粒状の微生物は菌類または藻類、バクテリアの可能性が考えられた。今後、微生物の同定を急ぎその特性を把握する予定である。新たな素材であるナノシリカを利用した撥水剤は、他の撥水剤と比較して撥水効果が劣るという印象を与えた。またモノマー系の撥水剤についても吸水率が増加する傾向にあった。撥水効果の持続性について経過を観察しなければならない。エマルジョン系とオリゴマー系は撥水効果も良く、エマルジョン系はオリジナルに近い硬度を示した。強化材料と同様撥水剤についても曝露において一定レベルの評価を得た材料を現場の状況に応じて使い分けることが肝要であり、今後浮き彫りの劣化状況の見極めと施工方法の開発が課題である。

3.2　補修整形用修復材料（図3）

擬岩Fは表面処理をしていないサンプルである。大きく表面層がそぎ落とされた結果となり、未曝露面との境界には段差ができ、かつ変色も著しかった。表面処理剤が重要な役割を示すことがわかる。擬岩Aは表面が少し荒れた状態を呈した。表面処理剤は残っていたが、汚れの付着が認められた。サイトFXを使って表面処理を行った擬岩Bは表面処理層はほとんど削れた結果を得たが未曝露面との境界に段差が生じた。擬岩Cは表面処理剤にアクリル系のパラロイドB72（8%）に砂岩の粉末を混ぜて塗布したサンプルである。表面処理剤が部分的に剥離していることが確認できたほかは汚れの付着は少なく、変色もあまり生じなかった。擬岩Dの表面は比較的荒れていなかったが、変色の度合いが著しく、修復材料として使用する際には注意が必要である。擬岩Eは擬岩Cの表面処理剤に用いたアクリル系のパラロイドB72を使用しているが、ここでは砂岩粉末を混ぜずに、樹脂だけを塗布したサンプルである。擬岩Cと比較し、擬岩Eの表面は削られ、表面層は消失した結果となった。また変色も大きく現れた。今回実施した中では一番評価が高いと思われる修復材料は擬岩Gと判断した。表面の荒れもほとんど見受けられなかったが、汚れの付着度合いが今後の課題である。擬岩Hは表面処理に撥水剤であるBHNを使用したサンプルである。これについては表面が削れる現象が起きた。

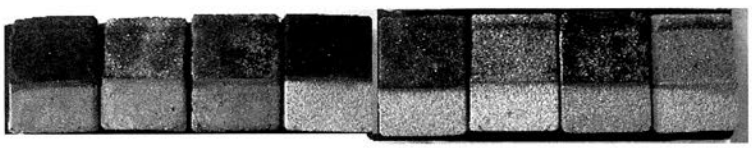


図 3　補修整形用修復材料（左から A→H）
各サンプルの上半分は曝露部、下半分は被覆部分

4. まとめ

バイヨン寺院砂岩における撥水剤の効果を曝露試験により確認し、その定量的把握を試みた。補修整形用修復材料については表面処理方法により結果に大きな差が生じ、表面処理剤の重要性を示すと同時に、バイヨン寺院に適した仕様に関する知見を得ることができた。

本研究は科学研究費補助金（基盤 A）「アンコール遺跡・バイヨン寺院浮き彫りの保存方法の研究」（19251001）と、（基盤 B）「生物が着生した炭酸カルシウム系材料の劣化特性とその診断手法の開発」（22300305）の一部により行われたものである。

1）発表者ら　“アンコール遺跡バイヨン寺院浮き彫りの保存材料に関する研究（1）”日本文化財科学会第29回大会発表要旨集　pp. 136-137（2012）

ベントナイトに埋設した炭素鋼の微生物腐食を用いた鉄製文化財の微生物腐食研究(2)

Study on Microbiologically Influenced Corrosion of archaeological iron objects using the Carbon Steel in Bentonite-sand (2)

○李素妍(鳥取大学)、松井敏也(筑波大学)、吉川英樹(日本原子力研究開発機構)
○Soyeon Lee (University of Tottori), Toshiya Matsui (University of Tsukuba), Hideki Yoshikawa (Japan Atomic Energy Agency)

1. はじめに

これまでに鉄製文化財の微生物腐食研究として、腐食挙動に鉄還元細菌が影響を与える可能性を見出すことができた[1]。鉄製文化財が出土した土壌を採取して鉄還元細菌数を調査した結果、遺跡において鉄製文化財が出土した場所(土壌)により鉄還元細菌数が異なることが明らかになった[2]。しかし、この相違の原因が鉄製文化財の腐食生成物、土壌環境の条件(栄養素、酸性度、還元雰囲気等)、気候変動等によるかは不明である。これらの情報は鉄還元細菌の生育に影響を与える因子として必要なものであると考えられる。これらは埋蔵環境中の鉄製文化財の腐食要因として鉄還元細菌が作用しているか否かを判断し、鉄製文化財の腐食原因を究明する際に重要である。

本研究では鉄還元細菌の生育条件を調査するために、アルカリ雰囲気のベントナイトに炭素鋼を埋設して実験を行なった。鉄還元細菌の生育および鉄還元細菌による生成物質の同定を行ない、鉄製文化財の微生物腐食に関する知見を得たので報告する。

2. 実験方法および観察方法

ベントナイト((Na,Ca) 0.33 (Al,Mg) $2Si_4O_{10}$ (OH) $_2$・nH_2O)、液体培地、砂を重量比で7:3:7になるよう混合した(以下、ベントナイト混合物と称する)。このベントナイト混合物はpH9を示した。炭素鋼(SS400、20 x 20mm)は研磨、脱脂を行なった。これらの滅菌は、ベントナイトの混合物が121℃、20分、炭素鋼が170℃、30分で実施した。ベントナイト混合物を容器の下から高さ1.5 cmほどまで埋めてその上に炭素鋼を静置し、鉄還元細菌液を分注した。その後、ベントナイト混合物で炭素鋼の表面を覆った。この実験試料は、鉄還元細菌の生育に必要な還元雰囲気を維持するために、ガスバリア袋(商品名:三菱ガス化学製エスカル)に脱酸素, 脱水分剤(商品名:三菱ガス化学製RP-A)を入れて静置した。培養期間は30℃、40日間である。比較試料として、鉄還元細菌が存在しない試料を用いて同様に処理し、同じ期間静置した。培養終了後、ベントナイト混合物から炭素鋼を取り出し、洗浄、乾燥させた。炭素鋼表面を光学顕微鏡(KEYENCE、VHX－900)、走査型電子顕微鏡(SEM;KEYENCE、VE－9800)により観察した。走査型顕微鏡の観察条件はWD:5.5mm、電圧3kVである。生成物の同定はX線回折分析装置(ブルカー・エイエックスエス株式会社、D8 ADVANCE、Target : Cu)により行なった。分析条件は、Niフィルター、管電圧:40kV、管電流:40mA、測定範囲:5～60°(2θ)、測定速度:1秒/ステップである。

上記の実験が終わった後、鉄還元細菌液が触れていたベントナイト混合物を採取し液体培地に入れて再び培養を行なった。比較試料として、液体培地のみ、鉄還元細菌なしのベントナイト混合物を入れた液体培地を用いて同様に処理した。培養期間は30℃、7日間である。培養終了後、液体培地を肉眼観察して鉄還元細菌の生育を確認した。

3. 結果と考察

液体培地でベントナイト混合物を培養した結果、鉄還元細菌液に触れたベントナイト混合物だけ

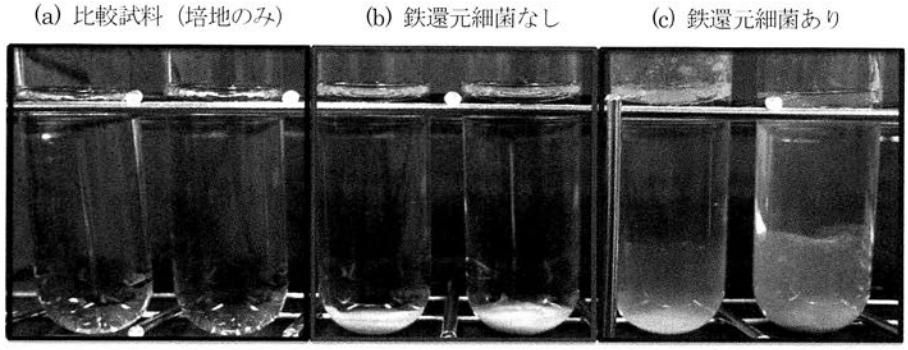


Fig. 1　ベントナイト混合物の培養後の様子

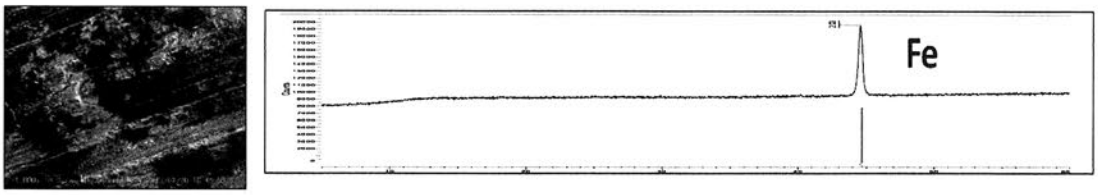


Fig.2　鉄還元細菌が存在するベントナイト混合物に埋設した炭素鋼の表面と X 線回折パターン

培地が濁っていたので、鉄還元細菌が生育していたと判断した（Fig.1）。鉄還元細菌は中性雰囲気で生育できる[1]ことが知られていたが、この実験結果によりアルカリ雰囲気での生育が確認できた。

鉄はアルカリ雰囲気で安定している[3]と言われているので、アルカリ環境で鉄還元細菌の活動が鉄の腐食促進の要因になるか否かを試みた。鉄還元細菌の有無によらず腐食生成物の Vivianite ($Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$)、Baricite ($(Mg,Fe,Mn)_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$) は検出されなかった。しかし、ベントナイトの存在しない pH9 の液体培地では鉄還元細菌により Vivianite、Baricite を生成していたことがあるので、ベントナイト中での鉄還元細菌の活動の可能性は否定できない。本実験結果では鉄還元細菌が生育しても Vivianite、Baricite を生成しなかったので、これらの生成条件をさらに調べることが必要であると考えられる。特に、Baricite は Vivianite の Fe(Ⅱ)イオンが Mg(Ⅱ)イオンに置換されて生じる。本実験で Baricite の生成を確認できなかったのは、Vivianite が生成されなかったことに起因すると考えられる。Vivianite と Baricite の色相、形状および X 線回折パターンが非常に似ているので、これらを区別することは難しい。また、Baricite の生成のときどのように Fe(Ⅱ)イオンと Mg(Ⅱ)イオンの置換が起こるか不明である。Baricite の生成条件を明らかにし、今後出土鉄製文化財の埋蔵環境の推定に役立てたい。また、今まで取得した鉄還元細菌による実験データを鉄製文化財の腐食に活用するためには、より長期の実験を行なうなど、実験条件を踏まえた解釈および埋蔵環境などを考慮した検討することが必要である。今後引き続き、鉄還元細菌の生育条件、鉄還元細菌による生成物の生成条件および埋蔵環境を調査して鉄製文化財における微生物腐食の判断できるようデータ取得を行なう。

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

【引用文献】

1) 李素妍（2011）「出土鉄製文化財の腐食における鉄還元細菌の研究」筑波大学大学院世界文化遺産学博士論文，32-60

2) 李素妍，松井敏也，吉川英樹（2011）「出土鉄製遺物の埋蔵環境における腐食要因－鉄還元細菌の生息や鉄還元細菌による腐食進行の可能性－」『日本文化財科学会 28 回大会要旨集』，266-267

3) 沢田正昭（1997）『文化財保存科学ノート』近未来社，133

北海道式石冠は植物加工具か？—残存デンプン粒からみた北海道伊達市北黄金貝塚の植物利用

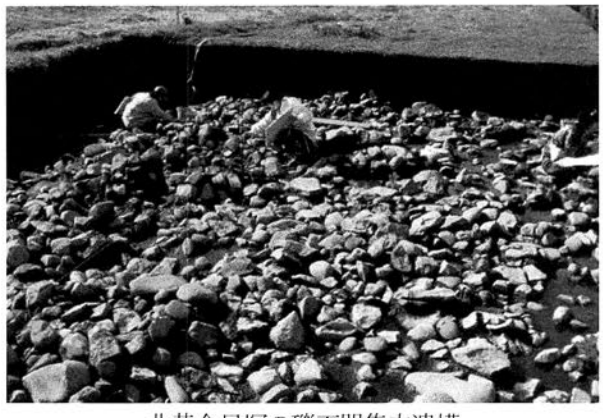
Were any plants processed by Hokkaido type stone crowns?: Plant utilization in the Kitakogane Shell Mound from starch granules

○渋谷綾子（国立歴史民俗博物館）、青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）、永谷幸人（同左）
○Ayako Shibutani (National Museum of Japanese History), Tomoya Aono, Yukihito Nagaya (Date City Institute of Funkawan Culture)

1. はじめに

北海道伊達市北黄金貝塚は縄文時代前期・中期の集落遺跡である。本研究は、北黄金貝塚における植物利用の実態を明らかにすることを目的とし、擦石や石皿より残存デンプン粒の検出を試みた。

2. 北黄金貝塚の概要



北黄金貝塚の礫石器集中遺構

北黄金貝塚では5箇所の貝塚、湧水地、竪穴住居跡、土坑墓などが検出され、大量の土器や石器、骨角器のほか、保存状態の良好な埋葬人骨や動物遺存体が出土している。北黄金貝塚は1948年の峰山巖による発見、伊達高校郷土研究部や札幌医科大学の発掘調査、1997～1999年の伊達市教育委員会の発掘調査の成果によって、擦石と考えられる北海道式石冠と石皿が数多く出土する遺跡として知られてきた。これまでの研究では、北黄金貝塚を含む噴火湾沿岸地域では海洋漁撈を中心とする生業が行われていたと推定されてきた。その一方で、擦石や石皿が大量に出土することから、これらの用途の究明が同時に求められてきた。

そこで本研究では、擦石や石皿に対して残存デンプン粒分析を実施し、植物加工が行われた可能性を検討するとともに、残存デンプン粒の形態学的特徴から石器の加工対象物について考察、北黄金貝塚における植物利用の一端を解明することを目的とした。

3. 分析の対象資料と分析方法

本研究では北黄金貝塚のC地点貝塚（縄文前期中葉）から出土した礫石器のうち、北海道式石冠を含んだ擦石19点と石皿5点を分析の対象とした。また、貝層から出土した敲石1点、被熱礫5点、自然礫4点についても，比較分析を行った。試料採取時の各石器に対する使用痕の観察では，石器の面の中央部や側面端部を利用して対象物を敲打し擦るという擦石や石皿の使用状況が推定された。

試料はマイクロピペットと精製水を用いて、石器の表面の凹所から採取した。プレパラートは現生デンプン粒標本と同じ方法で作製した。次に偏光顕微鏡（Olympus BX53-33Z）を用いて、接眼レンズを10倍、

対物レンズを40倍の視野条件で観察し、写真記録を行った。検出されたデンプン粒については、A：円形・いびつな円形・楕円形、B：半円形・三角形・四角形、C：多角形の3つのカテゴリーに分類し、大きさは最大粒径を計測してI：10μm未満、II：10～20μm、III：20μmより大、の3つのサイズクラスに分け、9つのタイプに分類した。分解・損傷し原形の識別が難しい残存デンプン粒は、「D：分解・損傷」とした。

4. 分析結果

2013年4月現在、対象とした資料34点中10点（擦石7点、石皿3点）の分析が完了したところである。分析が完了した石器10点からは分解が進んで糖化し、原形が識別できないデンプン粒とともに、擦石4点より8個、石皿3点から20個の残存デンプン粒が検出された。デンプン粒の遺存状態については、単独粒（1粒単独の状態）や複数粒（複数の粒が密集した状態）が検出された。デンプン粒のほかには、植物繊維や細胞組織などの植物性物質の微細な断片、針晶（シュウ酸カルシウムの針状結晶）も検出された。

分析した擦石と石皿には、擦面と残存デンプン粒の検出との関連が認められるもの、擦面も敲打痕も確認することができなかったが残存デンプン粒が検出されたものが見られた。擦面や敲打痕のある範囲からの残存デンプン粒の検出は、分析した石器で何らかの植物が加工された可能性を示すものである。擦面と残存デンプン粒の検出との関連が認められる擦石と石皿については、残存デンプン粒の検出から植物加工に用いられた可能性が高い。一方で、擦面があるにもかかわらず、残存デンプン粒を検出しなかった石器は、対象物が動物質であるなど植物加工以外の目的で使用された可能性と、植物加工に使用されたが、デンプン粒自体は遺存しなかった可能性の2通りの解釈ができる。特に、北海道式石冠と呼ばれる擦石については、これまでの先行研究で対象物が動物質である可能性も考えられており、別の部位からデンプン粒が検出されないか、全試料の分析が終わった後に再検討することが必要である。

デンプン粒の大きさや形状、偏光十字、形成核に注目すると、擦石のデンプン粒は主に四角形（BII）が多かった。この四角形のデンプン粒はメギ科等の植物に由来する可能性が想定されるが、北海道における現生デンプン粒標本が不足しているため、定かではない。現生標本の検討が必要である。

石皿のデンプン粒については、円形（AI，AII，AIII）と五角形（CII，CIII）に分類され、2点の石皿からは同じ試料から円形と五角形のデンプン粒が確認された。現生植物のデンプン粒では、円形と五角形のデンプン粒をもつ植物の種類は全く異なるため、2種類以上の植物に由来するデンプン粒がこれらの石皿表面に付着していた可能性が指摘できる。

石皿から検出されたデンプン粒について、食用植物が加工されたと仮定すると、AIとAIIはコナラ属やクリなどの堅果類やワラビなどの根茎類のデンプン粒に類似している。円形で10μm未満と10～20μmの粒径をもつ植物は多種類あり、植物種を限定することは困難であるが、塊状に検出されたAIのデンプン粒はすべて同じ植物種に由来する可能性がある。CII、CIIIはオニグルミなどに近似し、AIIIはユリ属やウバユリ属に類似している。

このように、擦石と石皿からは複数種類の植物に由来する可能性のある残存デンプン粒が検出された。本報告では、比較分析を行った自然礫や被熱礫の結果とあわせて、北黄金貝塚における擦石と石皿を用いた植物加工のあり方、利用された植物について考察する。

北海道伊達市カムイタプコプ下遺跡から復元された アイヌ文化期の古環境-調査速報-

Paleoenvironment of Ainu Era - Preliminary survey report at the Kamuitapukopushita site of Usu in Date City, Hokkaido-

○添田雄二（北海道開拓記念館）、青野友哉（伊達市噴火湾文化研究所）、菅野修広（登別市教育委員会）、永谷幸人（伊達市噴火湾文化研究所）、河畑敦史（同）、三谷智広（洞爺湖町教育委員会）、中村賢太郎（株式会社パレオ・ラボ）、宮地　鼓（北海道大学大学院理学研究院）、渡邊　剛（同）、伊達元成（伊達市噴火湾文化研究所）、上中央子（元東北大学・植物園）

○Yuji Soeda(Historical Museum of Hokkaido), Tomoya Aono(Date City Institute of Funkawan Culture), Nobuhiro Kanno(Noboribetsu City Board of Education), Yukihito Nagaya, Atsushi Kawahata (Date City Institute of Funkawan Culture), Tomohiro Mitani(Toyako Town Board of Education), Kentarou Nakamura (Paleo labo Co.,Ltd), Tsuzumi Miyaji,Tsuyoshi Watanabe (Department of Natural History Sciences, Faculty of Science, Hokkaido University), Motoshige Date (Date City Institute of Funkawan Culture),Hisako Uenaka (Former Botanical Gardens, Tohoku University).

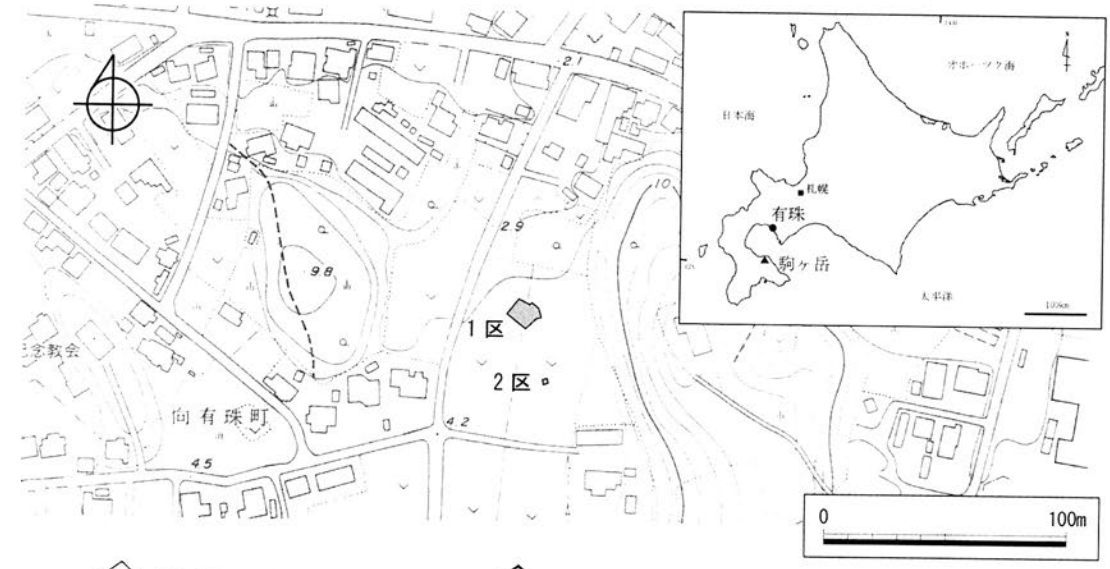
15世紀から20世紀初頭までは、小氷期と呼ばれる世界的な寒冷期で、過去1万2000年間を通じて最大の寒冷期であったことが知られている。これまで、北海道の小氷期の実態を復元した研究や人々へ与えた影響についての研究はほとんど行われてきていないのが現状であった。そこで、我々は寒冷のピークである17世紀に限定することができる遺物を含む伊達市カムイタプコプ下遺跡の発掘調査を実施し、合わせて周辺の地質調査や自然科学的手法による古環境解析も行った。本遺跡の発掘調査は平成23年度から３カ年計画で行われ、平成24年度の発掘調査および各分析では、以下のことが明らかとなった。

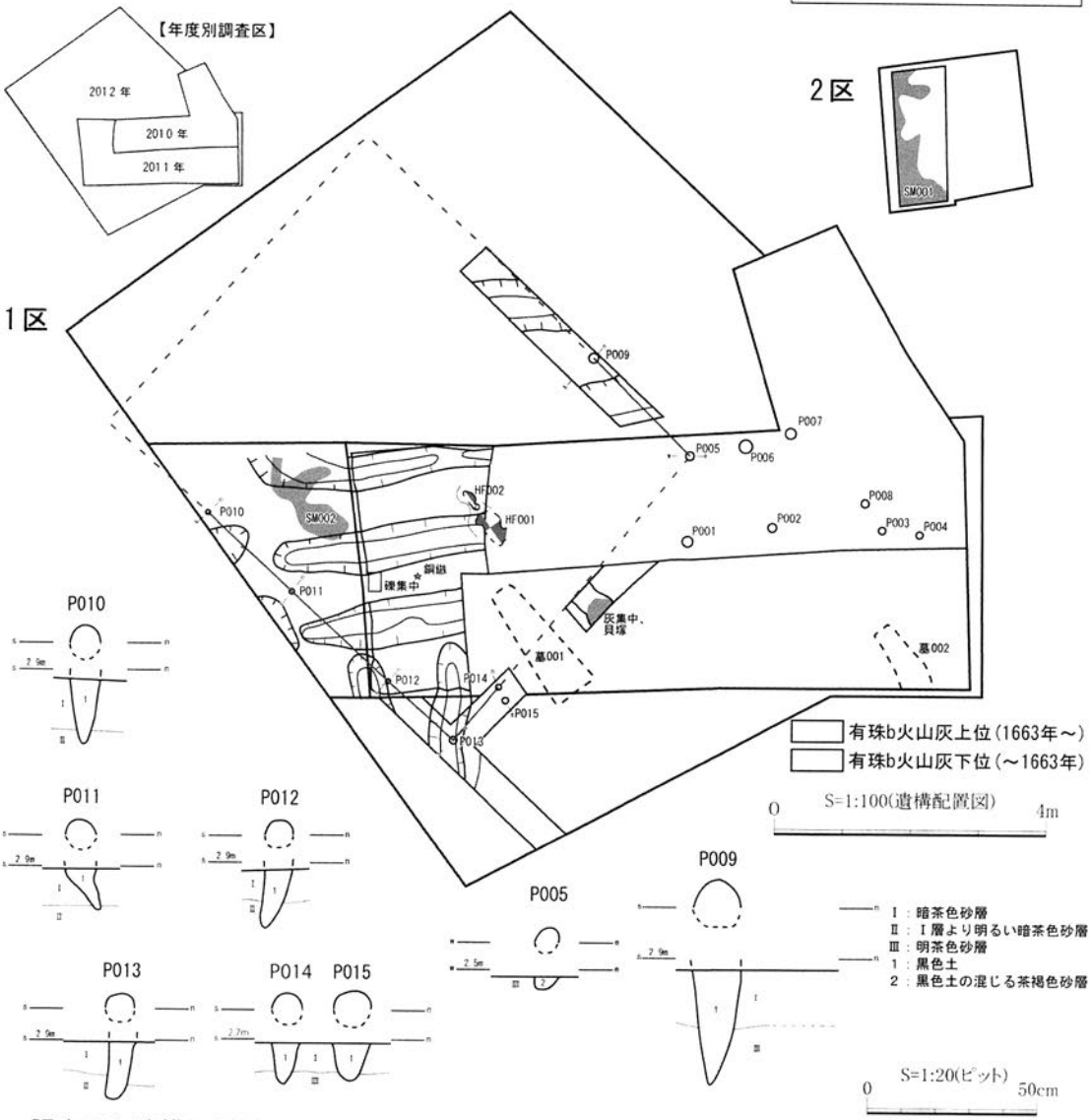
（１）発掘調査の結果、直線状に並ぶ柱穴を検出することができた。これはチセ（住居：15 世紀後半。16 世紀まで使用されていた可能性もある）の壁の一部に相当すると考えられる。また、1640 年に起きた駒ケ岳の噴火による津波の痕跡（津波堆積物）直下にて、灰層が検出された。灰層の直上には貝塚も確認された。灰層には焼土層がなく、山状であることから、別地点から持ち込まれた灰と考えられる。

（２）調査地２区の貝塚（1500 年代後半～1640 年の間）における魚類と哺乳類の遺存体からは、貝塚が全季節を通じて形成されたものと推定された。

（３）貝塚から得られたアサリの成長様式について微細成長縞を用いて検討した結果、遺跡出土アサリは現生アサリに比べて年間成長速度や性成熟到達年齢が遅い傾向がみられ、さらに現在より低海水温環境に生息していた可能性が判明した。また、遺跡出土アサリは５月末以降の夏季に採取された。

これまでの発掘調査および関連分析によって、およそ 15 世紀後半から 17 世紀半ばまでの有珠地区におけるアイヌ民族の生活が明らかにされてきていると同時に、自然災害も含めた当時の古環境が復元されてきている。この約 200 年間は、地球環境が 15 世紀後半の寒冷期から 16 世紀の若干の気候回復期を経て、17 世紀半ばの最寒冷期に至る時期である。したがって、有珠地区では、小氷期におけるこれら一連の気候変化が当時の人々にどのような影響を与えたのか、言い換えるなら、人々がどのように対応していたのか、ということを明らかにすることができると考えられる。





調査区と遺構配置図　破線と実線による長方形の囲みはチセ跡の範囲を示す

試料採取段階におけるプラント・オパール分析の試料汚染対策の検討
―切り替え畑などの初期農耕検証のために―
Examination of the sample pollution prevention method in the sampling process in plant opal analysis.

○宇田津徹朗（宮崎大学）、田崎博之（愛媛大学）、外山秀一（皇學館大学）
○Tetsuro Udatsu (Miyazaki Univ.), Hiroyuki Tasaki(Ehime Univ.),Shuichi Toyama(Kogakkan Univ.)

1．はじめに

弥生時代の水田稲作に関する研究成果は、人文科学と自然科学が協働する必要性の証左の一つに挙げられる。筆者らは、こうした協働が成果に繋がった要因として、あらためて「発掘による相互検証」の機能に注目している。これは、協働の過程に生じた両者の見解の不整合な点が、発掘後に相互検証されることで、互いの長所短所が整理・改善されてきたある種の「システム」と位置づけられる。

一方、縄文農耕研究においては、生産空間立地が明らかとなっていないため、このシステムが機能し得ない。そのため、人文科学、自然科学双方の成果の蓄積が限られた相互検証の下で進んでいるのが実情である。こうした中、プラント・オパール分析など、自然科学分析データの信頼性について、試料汚染など問題視する声が少なくない。現在のところ、先のシステムに代替するような分析手法の客観的な評価手法がないため、時として、試料の提供者（人文科学）や分析者（自然科学）のキャリアが評価の拠り所となっている。

そこで、筆者らは、「自然科学分析の信頼性を評価する客観性の高い基準づくり」なかでも「試料汚染対策などのリスクマネージメント手法」の開発が焦眉の課題と考え、その取組の一つとして、愛媛県松山市文京遺跡（愛媛大学構内）での発掘調査においてプラント・オパール分析の試料採取段階における試料汚染対策を試行・検討した。その取組の概要と成果について報告を行いたい。

2．試料汚染とその対策に対する基本的な考え方

1）プラント・オパールの粒子としての特性と試料汚染のメカニズム

図1はプラント・オパールの大きさと比重を示したものである。当該粒子が、大きさでも比重でも土壌を構成する粒子のほぼ中間に位置づけられることが分かる。このことは、プラント・オパールの発見の経緯が土壌学における腐植層（A層）に特徴的に認められる「土粒子」とされたように、当該粒子が夾雑物ではなく、他の土粒子とともに挙動することを意味する。すなわち、試料汚染のメカニズムとしては、木の根や土壌生物の活動によって、シルトや細砂とともにプラント・オパールが垂直方向に移動することが挙げられる。

そのため、試料採取の時点で細砂とシルトの堆積状況に着目した肉眼観察により、プラント・オパールが移動した箇所やその有無をある程度識別できるはずである。なお、低湿地など、有機物が分解され難い環境では、プラント・オパールは粒子ではなく表皮組織の状態であり、垂直方向の移動は生じにくいと判断される。また、水に浮かないため、地下水の上下動は試料汚染の原因とはならない。

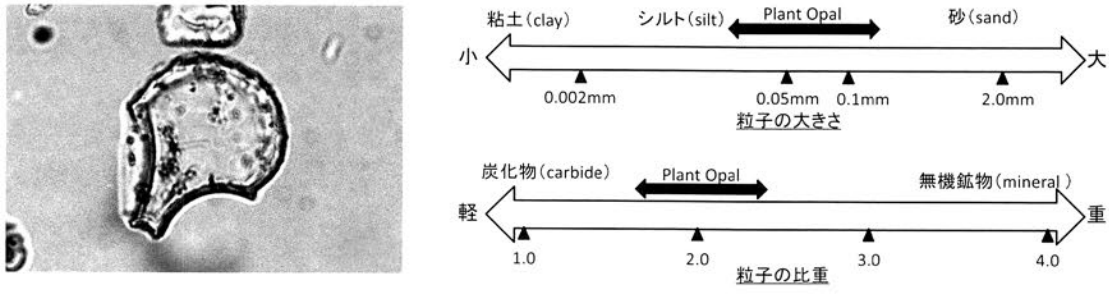


図1 イネのプラント・オパール（左）とプラント・オパールの標準的な大きさと比重

2）「試料汚染の可能性のない安定した堆積」を前提とすることが難しい縄文時代の生産空間

施肥による地力回復の技術が登場するまで、農耕地の連続的な利用年数は水田での稲作を除くと数年に限られる（焼畑では2年～4年程度が多い）。そのため、初期農耕が焼畑等の畑作系譜の技術であれば、縄文の生産空間は数年で移動してゆく「切り替え畑」が想定される。この場合、耕作痕等の存在は期待できるが種子や花粉やプラント・オパールといった植物遺体が包含される土壌は薄く、耕作放棄後の植物の根や土壌生物による攪乱の影響は極めて大きい。そのため、試料採取において「試料汚染の可能性がない安定した堆積」を前提とすることはまず不可能であり、試料汚染の可能性を含んだ堆積から「試料汚染の可能性の低い箇所」を選定採取する手法の構築が必要である。

3．松山市文京遺跡での試料汚染の分析的な把握の検証

1）試料汚染の程度を有無ではなく「確率」として捉え、リスクマネージメントする

本研究では、先の基本的な考え方に立脚し、試料汚染の可能性が高い箇所と低い箇所（数センチ四方）を複数選定して試料採取と定量分析を行い、分析結果の相互比較から、試料汚染の可能性を推定し、可能性が低いと判断される箇所の結果を採択する。採択した分析結果は、当然「絶対に試料汚染がない」わけではないが、比較したバックグランドデータを含めて見ることで分析結果の信頼性を確率的に序列化して位置づけて取り扱う（リスクマネージメントする）ことができる。

2）文京遺跡で試行した試料採取の取組※

当該遺跡では，縄文時代の遺構・遺物が包含される土層群中に当時の地表面に当たる地層が確認され，さらに同土層群中の灰色砂質土層からイネのプラント・オパールが検出された。この結果を受け、当該土層群内に農耕空間の存在を想定して，発掘調査を進めたところ、灰色砂質土層に根による植物擾乱の痕跡が数多く観察されたため、上層のプラント・オパールによる試料汚染の検証が必要であった。そこで、プラント・オパールがシルトから細砂に相当することから、肉眼観察で原堆積箇所と近接する汚染箇所（根の痕跡）の土を識別・採取し、その定量分析結果から試料汚染の可能性を検討した。分析は、同一層準で原堆積箇所と汚染箇所の2組を基本として63試料について実施した。

※科研課題「縄文時代後期における稲作農耕空間の探求」（代表：田崎博之）の一環としての取組

4．結果と考察

定量分析の結果、汚染箇所32試料中21試料、原堆積箇所31試料中3試料からイネが検出された。表1は、原堆積中からイネが検出された試料とその対として採取した汚染箇所の分析結果である。

No1.とNo.2については両者からイネが検出されているが、プラント・オパールの組成が異なっており、また、No.2については密度が大きく異なる。No.3については、イネは原堆積のみから検出されている。プラント・オパールが種類によって独立して挙動することは考えられないため、この結果は両者の給源土壌が異なっている、すなわち、原堆積中にイネプラント・オパールが存在する可能性が高いと判断される。

表1　プラント・オパール定量分析結果

No.	肉眼観察による判定	イネ (O.sativa)	ヨシ属 (Phrag.)	タケ亜科 (Bamb.)	ウシクサ族 (Andro.)	キビ族 (Pani.)	樹木	採取試料番号
1	原堆積	597	0	2,387	597	0	1,193	試料823
	汚染:根の痕跡	749	0	1,873	375	0	0	試料824
2	原堆積	691	0	2,072	1,381	0	0	試料854
	汚染:根の痕跡	1,590	0	2,120	2,120	0	2,120	試料855
3	原堆積	703	0	352	352	0	0	試料866
	汚染:根の痕跡	0	0	447	894	0	0	試料867

5．まとめ

今回、堆積土層の肉眼観察による試料採取と定量分析を組み合わせることにより、試料汚染の可能性を抑制するとともにその信頼性を客観的に評価する仕組みづくりに一定の見通しを得ることができたと考える。今後、試行事例を増やし、リスクマネージメント手法への理解と普及の醸成を図りたい。

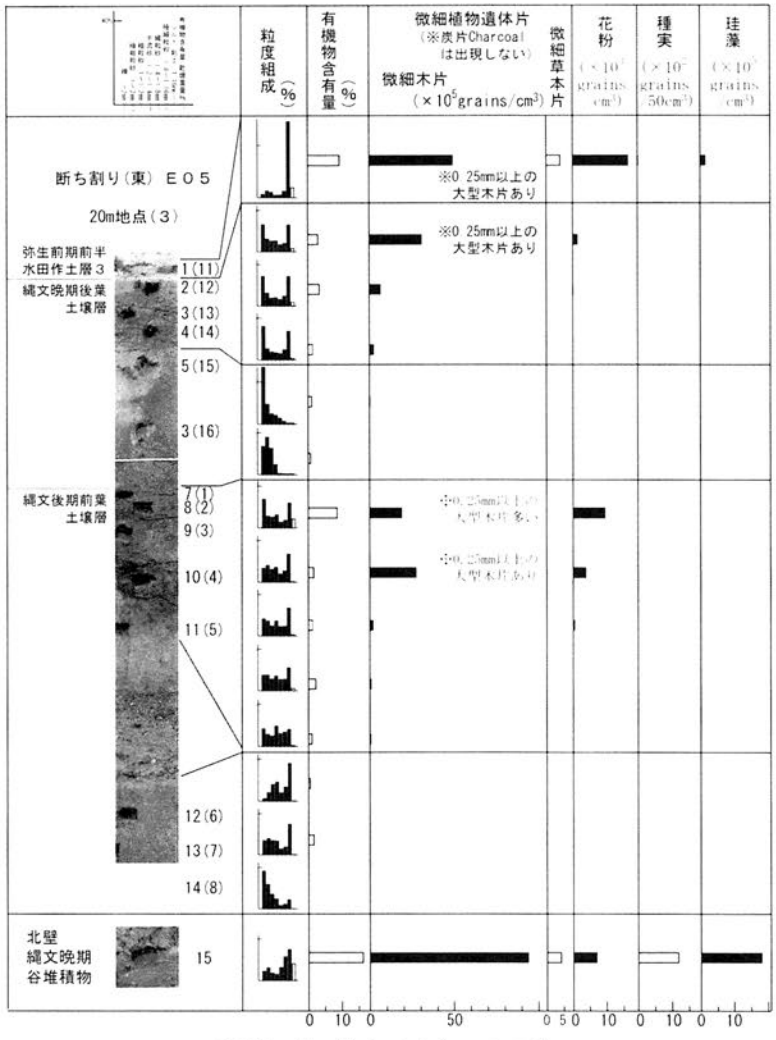
植生と農耕における土壌層分析による実証的研究

Research on the Reconstruction by the Soil Layer Analysis in Vegetation and the Cultivation

○金原正明（奈良教育大学）、金原正子（古環境研究所）
○Kanehara Masaaki(Nara University of Education), Kanehara Masako(Paleoenvironment Research Institute)

1. はじめに

近年、過去の土壌堆積物の花粉分析などをも含む分析を「土壌分析」と呼んでいる場合が多い。「土壌soil」は固体、液体、気体の複合物で土壌生物をも含むものであるため誤りである。土壌学における同語の分析は内容も全く異なる。地質学では「埋没土buried soil」、「古土壌paleosoil」などの用語があるが、考古遺跡においては「土壌層」という呼び名および「土壌層分析」という語を用いることにする。本研究は、土壌層を如何に認識し、その生成特性から各分析で得られる植物遺体群集などの要因を複合的に解析し、より実証的具体的に環境や農耕を復原することを目的とする。



粒度組成、植物由来物の出現状況

2. 方法

花粉分析など自然科学分野からの分析は、地層や湖沼の比較的広域な堆積物を対象とし、zoning methodなど解析法も確立されている。しかし、遺跡のより分解能も良好な状態で検出される土壌層を含む堆積層の解析法は確立されておらず、ケースバイケースでもあり、不明な点も多い。

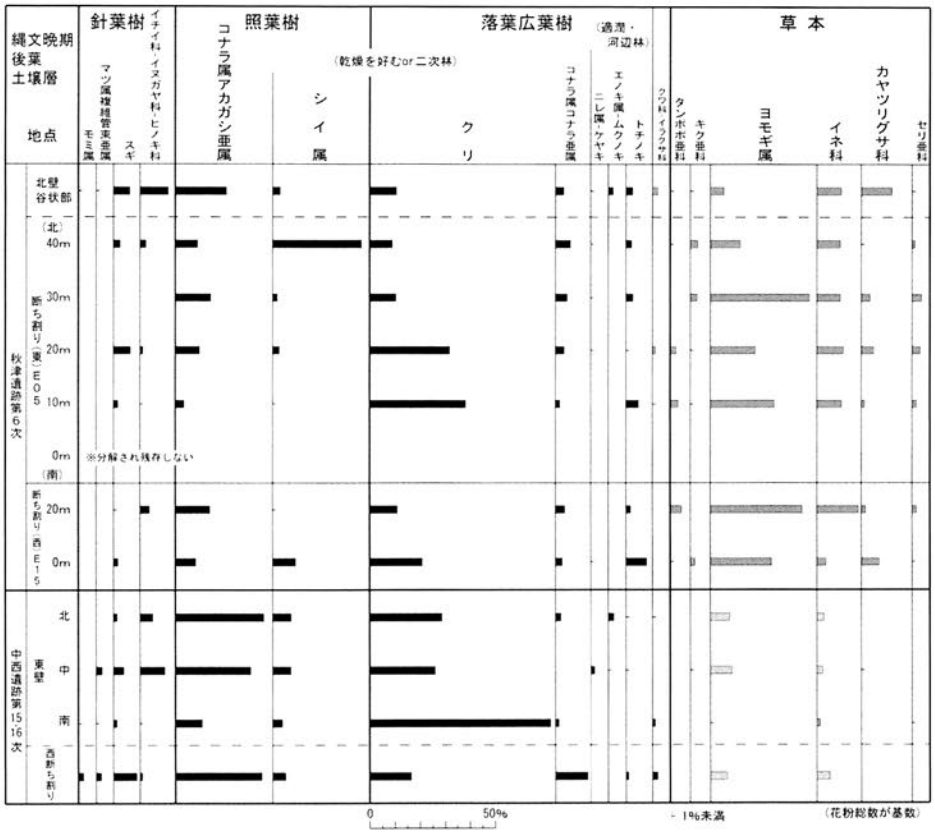
土壌に由来する層は、無層理で堆積構造が明白ではなく、淘汰（分級）も悪い。経年で分解を受けている土壌層は有機物も分解し、植物遺体由来の粒子も残存していない。洪水堆積物や埋土などでパックされ、遺構や堆積状況が把握される場合、土壌層を認識す

ることが可能なこともある。ここでは、堆積粒子の粒度組成とその分布、有機物含有量や花粉など植物由来の遺体を分析し、堆積層の解析と環境、植生、農耕の時空的な実証的解析を行う。なお、分析法の検討も併せて行なったが割愛するが、器具の扱いも含め熟練した技術による高精度のデータが必要となる。

3．結果と考察

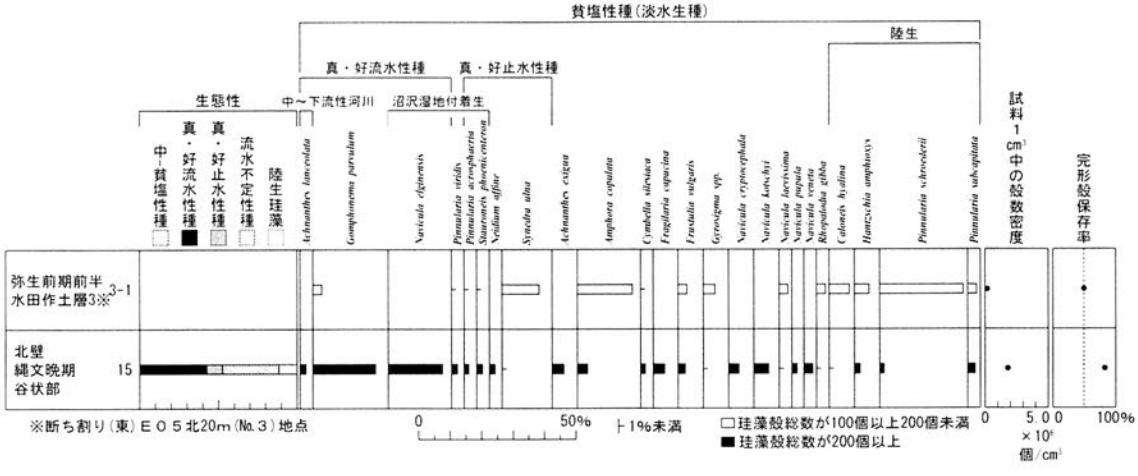
いくつかの遺跡で分析を行った結果、粒度組成には土壌層、水田土壌（作土）層、水域堆積物で明確な違いがあらわれた。植物遺体由来物は、分解を受けた土壌層や粗粒水成堆積物で、含有されない特徴が示された。近年微細炭（micro charcoal）として記載されているものには、木材片の本質的な炭化物と土壌生成作用により黒褐色化したものに分かれた。

これら成因の判明した特に土壌層を時空的に分析解析することによって、植生、環境、農耕をより実証性高く具体的に復原することが可能であった。



空間的花粉組成（縄文時代晩期）

（図示した分析例は中西・秋津遺跡）



水田作土層と谷堆積の珪藻組成

青森平野西端部における低湿地型貯蔵穴を備えた縄文集落の変遷について

A change of settlement with storage pits made on wetland of West Aomori plain since jyomon period.

○伊藤由美子(青森県立郷土館)
○Yumiko Ito(Aomori Prefectural Museum)

1. はじめに

青森平野は、北川を青森湾に対し弓状の海岸線、西側を八甲田火砕流堆積物よりつくられた大釈迦丘陵、南側を八甲田山の山麓、東側を夏泊半島に囲まれた沖積平野で、縄文時代早期から遺跡が確認されている。青森平野の遺跡立地については、工藤(2009)がまとめており、遺跡の立地と青森平野の地形的特徴とには深い関係が存在すると述べている。特に縄文時代には縄文海進の影響を受け、土地利用においても大きな変化が見られたと考えられる。しかし青森平野の形成に関する研究自体が少なく、遺跡との関係についての考察も三内丸山遺跡以外は少ない。

2006年から2008年にかけて東北新幹線建設工事に伴い発掘された新田(1)・(2)遺跡は、丘陵先端部と沖積地に立地している。両遺跡の発掘調査の成果を踏まえて、低地部を利用した集落活動の変遷について考察する。

2. 新田(1)・(2)遺跡の概要

新田(1)・(2)遺跡および周辺の遺跡群(通称石江遺跡群)は、東北新幹線青森駅建設のため発掘調査が行われた。これらの遺跡群は、現在の青森湾沿岸部からは、直線距離にして約3km南西の位置にある。新田(1)遺跡は石江遺跡群の北端に位置し、国道7号線を挟んで南北に広がる。新城川(新田川)右岸沿いの標高約5mの沖積地と、標高約10mの丘陵地に立地する。縄文時代の遺構と遺物が検出されたのは、Z・A・D・G・H区の5地区である。新田(2)遺跡は、(1)遺跡の西隣の新城川の右岸、標高約6～8mの丘陵地及び沖積地に立地する。縄文時代の遺構・遺物は、標高約8mの丘陵先端部と遺跡西側の標高約6～7mの斜面部及び低地(沖積地)から出土している。

3. 考察

(1) 新田(1)・(2)遺跡の集落の変遷について

縄文時代の各時期別の遺構検出状況に基づき、沖積層の層序、既往研究における青森平野西部の形成などに基づいて、新田(1)・(2)遺跡の集落の変遷と周辺の環境の復元を試みた。

縄文時代前期

遺構から出土した土器から約5,500年前の縄文時代前期初頭には集落が形成されたと考えられる。丘陵先端部に住居、土坑などがつくられ、丘陵先端部から沖積地の斜面には捨て場が、丘陵先端部に近い沖積地に土坑がつくられた。内陸側の浜堤列の形成あるいは成長は約5000年前であるため(松本1984)、集落は内陸側の浜堤列が形成される以前につくられたと推定される。新田(1)遺跡D区の自然流路から出土した木材は6,140±40yrBP、E区の標高1mの水成堆積層から採取した木材では6,460±40yrBPの放射性年代測定値を得ているため、約7,000年前にはD区より北側に河川が広がっていたことが推定される。一般的に浜堤列は河口近くに形成されるため、この時期はより内陸側に河口があった可能性があり、新田(1)遺跡D区より北側は、河口部であった可能性がある。

縄文時代中期

丘陵先端部では竪穴住居跡、土坑、土器埋設遺構、捨て場などがつくられ、丘陵先端部から沖積地の斜面には捨て場がつくられた。沖積地の丘陵先端部に近いところに土坑がつくられている。約 5,000 年前に遺跡の北側に浜堤列が形成され、その内陸側は閉鎖的な水域へと変化し、自然流路や後背湿地が形成された。そのため前期には河川であった新田(1)遺跡の G 区・H 区は、じめじめとした湿地に変化し、土器が出土するなど人の活動の痕跡が見つかっている。また堆積物の分析結果から沖積地の微高地上にはオニグルミなどが含まれた湿地林が形成されたことが明らかになっている。(青森県 2009)。

縄文時代後期

丘陵先端部東側に竪穴住居跡や土坑がつくられている。そのうち 18 基がフラスコ型土坑である。丘陵先端部から沖積地の斜面には捨て場がつくられている。沖積地の新田(1)遺跡G区には土坑がつくられ、H区には土器がまとまって出土している。堆積土の分析から沖積地では中期より乾燥が進み、ハンノキ、オニグルミ、サワグルミを主体とする湿地林が形成された。G 区微高地上の土坑からオニグルミが出土し、出土状況から貯蔵穴である可能性が高く、人が積極的に沖積地を利用したことがうかがえる。また後期初頭において、フラスコ型土坑と低湿地型貯蔵穴が併用されている。

以上から新田(1)・(2)遺跡では、前期初頭から断続的ではあるが、後期まで丘陵先端部と近接する沖積地を利用していた。特に約 5,000 年前の浜堤列の形成以降の後背湿地の乾燥化に伴い、より積極的に沖積地を利用したことが明らかになった。また、従来の研究では青森市内縄文時代前期の遺跡は、縄文海進の影響により、三内丸山遺跡に代表されるように遺跡が段丘上につくられたと考えられてきた。しかし新田(1)遺跡の立地と堆積物から復元した古環境から約 7,000 年前の縄文海進極大期の海岸線は、現在の新田(1)遺跡より北側に位置したと推定される。

(2)新田(1)遺跡の沖積地につくられた土坑について

新田(1)遺跡G区で検出された縄文時代後期の土坑4基は、新田(2)遺跡の同時期の竪穴住居跡がある丘陵先端部から約250m離れた後背湿地の微高地上につくられている。沖積地に立地する土坑4基は、同じく沖積地に立地する前期初頭2基、中期前半2基と比べると開口部、底面、深さにおいて大きい。また4基のうち3基はほぼ同じ大きさであるため、ある程度規格を持ってつくられた可能性が考えられる。土坑の底面からオニグルミが出土した。調査時点でも底面から湧水していたため、湧水した土坑の中に入れたと考えられる。オニグルミはドングリやトチノキのようにアク抜きの処理は必要なく、虫による食害もあまり無いため、あく抜きや虫の駆除を目的とした貯蔵ではなく、ドングリのように結実が極端に少ない年はなく、比較的安定して採集できる果実であるため、救荒に備えた貯蔵とは考えにくい。一方でオニグルミは殻の外側を外果皮が覆っていて、堅く簡単には剥けないため、民俗例では殻を取りだすために採集したオニグルミを水漬けにして、外果皮を腐らせる。よって G 区から出土した土坑は外果皮を処理するための土坑である可能性が高い。

引用文献

青森県教育委員会 2009 「新田(2)遺跡」 青森県埋蔵文化財調査報告書第 471 集
青森県教育委員会 2009 「新田(1)遺跡」 青森県埋蔵文化財調査報告書第 472 集
工藤清泰 2009 「青森平野の遺跡立地について」 青森地学 No54 3-7
松本秀明 1984 「海岸平野にみられる浜堤列と完新世後期の海水準微変動」 地理学評論 10

家畜化に関する数値環境シミュレーションモデルの構築

- 時空間偏差に対応するパラメータの評価 -

The Numerical Environmental Effect Simulation for Domestication in Prehistory

○湯佐安紀子（同志社大学）、津村宏臣（同左）、山村則男（同左）
○Akiko Yusa, Hiroomi Tsumura, Norio Yamamura(Doshisha university)

1. はじめに

古環境研究分野での生態系シミュレーションの導入を展望とし、牧畜農耕生活以前のヒトの営みを生態系の一部としてみなした数値環境シミュレーションモデルの構築を行った。

農耕・牧畜の開始という、環境を人工的に制御するようになったプロセスは明らかではない。狩猟採集生活から農耕牧畜生活へという変化は、これまで文化財資料をもとにヒトの発展段階的な説明でしかされてこなかった。特に家畜化の過程は、古環境分析が十分に行われていない中で、遺構・遺物が乏しいために従来の遺跡資料を追跡する研究方法では捉えにくい。家畜化のプロセスは多くの要因が複合し、本研究ではその要因のひとつが生態系の変化であると仮定した。現状では当時の生態系が考慮されていない場合が多く、生態系の中にヒトがいることを前提とした上での、先史時代の生活の変化に関する理解を深めていく必要がある。

2. 数理モデルの作成

狩猟採集生活から農耕牧畜生活への変化について数値環境シミュレーションを実施し、先史時代の古環境のモデルを構築する。具体的には、植生、野生草食動物[1]、そしてヒトの３者が影響し合う生態系の変化を説明する。本研究では、あるステップ環境にヒトが参入し、その後生計を変化させるとして、「ヒトが参入する前」「採集・狩猟生活」「農耕・狩猟生活」「家畜化プロセス」「農耕・牧畜生活」「遊牧生活」６つのヒト－環境相互作用環を設定した。捕食者と被食者のバイオマス[2]増減関係を示す、植生(x)、草食動物(y)、ヒト(z)をバイオマス変数とするロトカ・ボルテラ型の微分方程式を用いた数理モデルを作成した。数理モデルからは３者の同一空間上での関係性、つまり共生するか競争するかについて判別することができる(図1)。

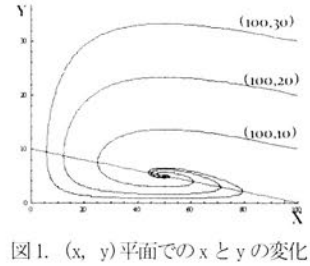


図1. (x, y)平面でのxとyの変化
図は平衡点(時間によって変化しない点)を持ち、共存関係を示す

3. シミュレーション結果と考察

現在のステップ生態系から想定されうるパラメータ値を設定し、作用し合う３者の個体群成長を時系列上で表した(図2)。

[1] 本研究では野生草食動物に、ウシ、ヒツジ、ヤギ、ブタ等の偶蹄目を想定している。また、奇蹄目を排除する意味ではない。

[2] バイオマスとは、単位面積あたりの生物の総量を意味する。

「家畜化プロセスモデル」では3者の共生関係が成立せず、野性草食動物と家畜を介したヒトが、植生をめぐって競争関係となった。共通資源を減らす量が多い方が強者となり、ヒトが家畜を保つためには競争に勝つ必要がある。モデルからは、牧畜の開始が可能となる条件をコントロールできる一人あたりの家畜数によって表すことができる。ただし、現実的な課題として、家畜化プロセスのなかで野生と家畜を明確に分けることは難しい。条件を満たすときを完全なる「家畜」とすれば、そこに至るまでの範囲に家畜化プロセスがあると考えた。人口増加によって周辺野生動物は減少し、狩猟による捕食量も減少する。その状況で、ヒトは飢え対策手段として追い込み猟を繰り返し、長い年月をかけ馴化していった動物を用いた、食糧の貯蓄をゆるやかに増やしていったと考えられる。ゆるやかな動物の貯蓄と、その中での動物の馴化とヒトの動物飼育技術の向上があり、ある環境で、ある一定数の家畜をもって、ヒトは生業としての牧畜を成立することが可能になった。

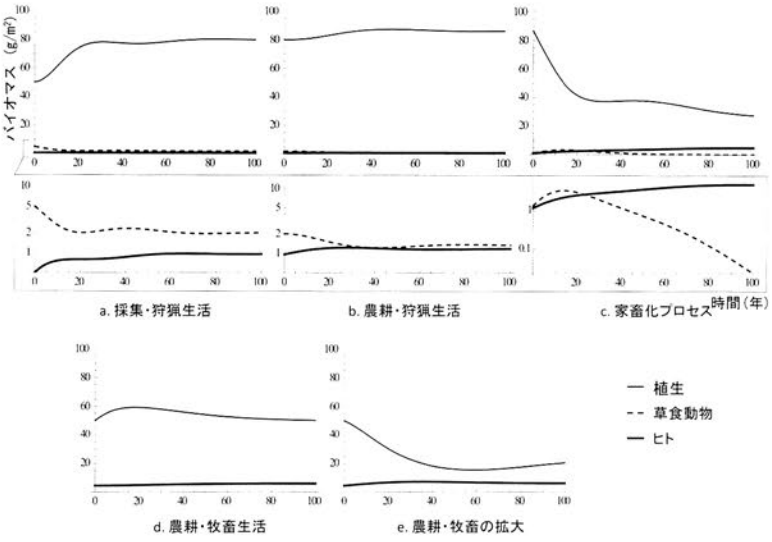


図2. 植生・草食動物・ヒトバイオマスの時間変化

(枠内は草食動物・ヒトバイオマスを対数スケールで拡大した図)

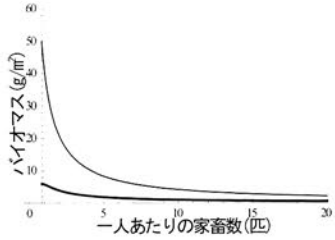


図3. 家畜数によるバイオマス変化

一人あたりがコントロールできる家畜数の増加によるバイオマスの変化をみると、家畜数を増やし続けることで植生・ヒトの双方が減少していくことがわかる(図 3)。定住集落を続けたまま、牧畜のための家畜数を増やすことは、周辺環境にとって過放牧であったと捉えることができる。牧畜を維持し、安定した生活を営むためには、家畜数を増やす必要があるにも関わらず、過放牧である環境では人口は減少してしまう。狩猟採集から農耕牧畜生活へというストーリーでは、一見農耕牧畜生活に完成されたイメージを持つが、その生態系を考えれば、農耕牧畜生活の生計スタイルのまま集落を拡大させるには限界がある。

生態系シミュレーションを農耕牧畜化の研究に導入することで、現在明らかにされていない「どのようにして」「なぜ」について生態系からの説明ができる可能性を示すのが、本研究の意義である。また、新石器化については、個々の地域での過程を明らかにする必要性がある。本研究では一般化した新石器化の流れを汲んだが、特定の土地を対象としたパラメータ設定により柔軟な応用として利用したい。

本格的に、古環境と文化財の研究に生態系シミュレーションを導入するための問題点は多い。現実的には、それぞれの生計スタイルは完全に分離したものではなく、特にその移り変わりは混合したものである。現在のモデルは生計スタイルごとの生態系と、生計スタイルから生計スタイルへの“移り変わりやすさ”の検討に止まる。さらに、段階から段階への切り替わりが突然の単純な変化ではなく、時間を要する複雑な変化である現実を捉えたモデル化を試みることが、新石器化を明らかにする手がかりとなるだろう。

徳川大坂城普請時における東瀬戸内海潮汐シミュレーションと石材運搬技術の検討－小豆島・天狗岩磯丁場の水中遺構調査と評価－

Tide Simulation and Inquiring of Shipping Process in coastal zone, Shodoshima

○茂木孝太郎（同志社大学大学院文化情報学研究科）
高田祐一（国立文化財機構 奈良文化財研究所）
○Kotaro Mogi (Graduate school of Culture and Information Science, Doshisha University)
Yuichi Takata (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

1.はじめに

徳川幕府による大坂城再建時において，瀬戸内海に点在する島嶼のなかでも，小豆島が重要な石材の切り出し地となったことは広く知られるところである。本研究の焦点は，従来の石垣研究において不明であった石材の運搬工程に対して，水中調査を実施することによって得た情報から検討するところにある。水中にも調査範囲を広げることによって，両方の視点から石材の積み出し工程の検討を試みることができ，水中考古学の実践事例としても類例は少ない。とりわけ，こうした実践を通じて具体化していく方向性は，新たな問題提起を可能とし，特にこれまで例の少ない水中調査は，海を中心としたヒトと技術の交流の実態解明において，より意義を持つ方法論となる。尚，小豆島東海岸部に位置する天狗岩磯丁場を対象に実施した調査に基づくものである。

2.調査と分析

2.1 現地調査から

1978 年に国指定史跡のための保存管理計画策定を目的に，当該丁場の山間部・海岸部の石材が把握されたが，この時海中部分は未確認であった。そこで 2012 年の発表者らによる潜水調査では，水中残石の分布と形状を確認し，これを測量した。また，地域伝承で大坂城石垣石の積み出しに使われたとされる水中の“かもめ石”を実測し，精査を行った。“かもめ石”周辺の石材分布は，それより沖側 20m にはまったく石材が存在しないのに対し，海岸との間，特に“かもめ石”付近には加工石材が集中して検出された。また，“かもめ石”上面には穴をあけて石柱が差し込まれており，これらから，海上に巨石を配置し船を係留した施設として評価できる構造を持っているといえる。

2.2 潮汐推算

“かもめ石”が，船を係留する機能を持っていたと仮定すると，常に水面の高さ以上にあることが条件となる。そこで，潮汐調和定数表（参考 1）から，大坂城構築開始 1 年前 1619 年から完成の 1630 年の潮汐状況を推算した。潮汐調和定数表により各引数が求められ，天体の運行に基づく平衡潮汐に対して，

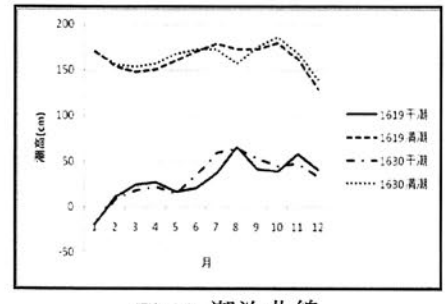


Fig.1 潮汐曲線

実際の海で起こる潮汐は海水の運動による慣性や地形の影響を受けて，振幅の増減や位相の遅れ進みが生じるため，実際の潮汐をηとして，次式が与えられる。

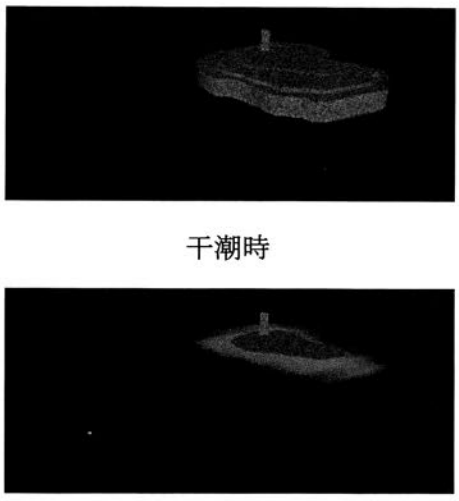
$\eta=\Sigma H_i \cdot \cos(V_i-\kappa_i)+Z_o=\Sigma f_i H_i \cdot \cos(V_i+u_i-\kappa_i)+Z_o$

それに世界時 0.00UT のそれぞれ引数を求めた上で，観測点の経度を L とし，各国の標準時を t:00 (ST)，時差を S とする地点のある時刻 t(ST)の潮汐が次式によって得られる。

$\eta(t)=\Sigma f_i H_i \cdot \cos([V_i u_i]-\kappa_i)$

$[V_i+u_i]=\{(V_{oi}+u_i)-n \cdot L+\sigma_i \cdot S\}+\sigma_i \cdot t(ST)$

尚，Z_oについては海図の水深基準面からの高さを採用しており，天狗岩磯丁場沿岸の海図から正確な水深データを得ることができないので，海図の水深表示が最低水面（略最低低潮面）を採用していることから，調査期間中にダイブコンピューターにより水深を測定した。1619 年，1630 年のそれぞれの潮汐状況を概観すると，波や天候の変化，大潮などの最大潮高を除いては，安定した潮汐がみられていたことが窺える（Fig.1)。水深測定から，データを合わせて過去の満潮時平均値を抽出すると，315.10cm の潮位が推算され，約 320cm の“かもめ石”上部分を超えることがなく，石柱部分が水面より常に高くくるよう “設計されていた”ことが認められる（Fig.2)。このことからも，“かもめ石”が十分に係留施設として機能していたことが確認でき，具体的な係留施設に関わる水中遺構であることの証左となる。このことはまた，現在の潮汐状況からも確認でき，数百年にもわたり経験的に潮汐現象を把握していたこととなり，現象に対峙できる特定の場所を選択したという，海環境を克己した技術的介在が窺える。



干潮時

満潮時

Fig.2　潮汐推算による係留施設の変化（CG）

3.石材運搬技術の検討

現状での一つの解釈として，満潮時にかもめ石と陸地の間に、平田船のような平底船が侵入し，船の錨と“かもめ石”の石柱をもって船を係留し，干潮時に船を固定し，海底を石材でかさ上げしたりしながら、舟の固定を完了させ，陸地と船の間に板を渡し石や修羅やコロでもって移送し，作業完了後、潮が満ちると船の固定を解除し、出船するプロセスが想起される。

4.まとめと今後の展望

本研究で考察した運搬工程プロセスは，あくまで調査と推算データから得られた仮説である。しかし，実態が不明瞭であった運搬に関する見解がこれまで得られていなかったことを考えると，検討に値する十分な提示に成り得るだろう。これまで触れられることのなかった水中環境に有用な情報が存在することを特記しつつ， 調査方法も含め，その解釈の手立てを模索している。

参考文献『書誌第 742 号日本沿岸潮汐調和定数表』（海上保安庁発行）

「史跡　大坂城石垣石切丁場跡　保存管理計画報告書」（昭和 54 年 3 月，内海町教育委員会）