P−1

年輪年代法による年代決定：クロスデーティングの実演

○米延仁志 （鳴門教育大学大学院学校教育研究科），大山幹成，星野安治（東北大学植物園），Dieter Eckstein （University of Hamburg, Department of Wood Science）

はじめに

年輪年代学，あるいは年輪年代法は樹木年輪の変動パターンを利用して文化財試料など古材の絶対年代を決定する年代測定法のひとつである。年輪年代法は自然科学的方法の中で決定する年代が最も正確な手法であり，年代値が暦年代として得られることを特徴とする。年輪年代学は 1980 年代に奈良文化財研究所（以下，奈文研） の光谷によって初めて日本に導入された。年輪年代学における最も重要な方法は試料年輪幅時系列の相互参照による年代決定，すなわちクロスデーティングである。しかしながら年輪年代を利用する立場の研究者にとって，年代決定のプロセスに関する基本的な情報が未だ不足している感は否めない。そこで，本発表では年輪年代学の方法を紹介する。そのために実際の年輪データを用いてクロスデーティングの実演を行う。

年輪年代決定法

年輪年代法では，年輪幅時系列の目視による照合（目視クロスデーティング）と統計的検証（統計的クロスデーティング） を併用する。研究の初期段階では年代既知試料（例えば伐　採年が明らかな現生木）でこれらを行い，現生木暦年標準パターンを作製する。現生木のみではカバーする年代の範囲は多くの場合，数百年程度にとどまる。そのため，現生木の年代範囲内から順次，より古い古文化財試料や自然埋没木試料の年代を決定し，試料年輪パターンをつなぎ合わせていくことで標準パターンを延長する。暦年標準パターンは試料年輪幅時系列を同じ年代ごとに平均（アンサンブル平均）することで得られる（図１a)。

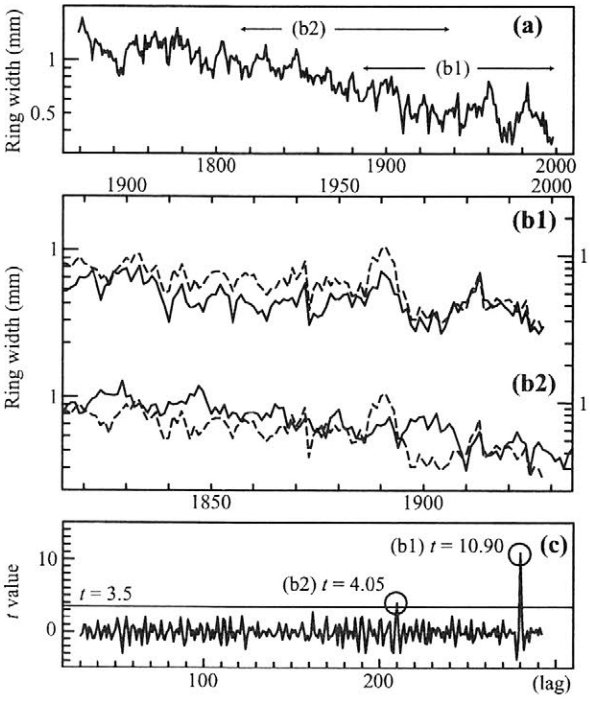


図 1: クロスデーティングによる年代決定．（a） 暦年標準パターン．（b） 目視クロスデーティング．実線：試料，点線：(a) 参照．（c） 統計的クロスデーティング．

統計的クロスデーティングでは相互相関法を用いる（図１c)。そのために先ず暦年標

準パターンおよび試料年輪パターンそれぞれに対して標準化と対数変換を施す。標準化は年輪幅時系列の５年移動平均値に対してその中央年の値を除すことで得られる。次に暦年標準パターンに対して試料を１年ずつずらしながら，その都度，２つのパターンが重なり合う区間について相関係数を算出し，Student の t 値に変換する。この t 値が高い年代から順にいくつかを拾い上げ，それらに対して目視クロスデーティングを行って年輪年代を決定する（図１b)。

目視クロスデーティングでは，試料の年輪幅変動パターンをプロットしたグラフを目視で照合することで決定される。ここでは典型的な事例として１つの地域（あるいは遺構や文化財など） で得られた複数の試料群を，１つの暦年標準パターンで年代決定することを想定する。１試料につき複数の測線が得られている場合は，それらどうしを照合する（試料内照合)。次に，任意に２つの試料を選び試料平均パターンを照合する（試料間照合)。さらに対象試料で連続した編年が可能な場合は，それらで任意に年代を設定した試料群の平均パターンを作成し，統計的クロスデーティングで得られた年代候補を主な対象として，暦年標準パターンを用いた目視照合を行い，絶対年代を決定する。その際，試料群平均パターン，試料平均パターン，および測線での変動パターンの全てを繰り返して照合し，結果の信頼性を評価する（照合の反復)。

以上で述べた方法の他に，年輪年代を決定するための補助手段として指標年を用いる方法がある。指標年は，暦年標準パターンを構成する試料について，ある年の年輪幅の前年に対する増減が一致する試料数の割合を百分率で求め（一致率)，一致率がある基準を超える年代として定義される。日本産材では，木曽ヒノキおよびブナの現生木で指標年データが得られている。

年代測定の対象となる試料の年輪数は，年代決定の正否に非常に強く影響する。年輪年代学では，年輪変動パターンがある年代範囲だけに一意的に起こっており，それ以外では同じ変動パターンが繰り返されていないことが前提条件となる。試料の年輪数が多いほど，同じパターンの出現確率が激減するため，年輪年代法に適している。一般的には年輪数は 100 年を超えていることが望ましいとされており，50 年以下は原則的には測定の対象から除外される。

P—2

岐阜県飛騨地方におけるブナ材製民具の年輪年代測定

○星野安治[1]，大河内隆之[2]，光谷拓実[2]
[1]東北大学植物園，[2]奈良文化財研究所

岐阜県，飛騨みやがわ考古民俗館に収蔵されているブナ材製の民具（除雪具）の年輪年代測定成果を報告する。

年輪年代学では，暦年代，すなわち人類史と正確に対応した年代値を得ることができる。地方における民俗史は，文字による記録が残りにくく，あいまいな口承記録として残される場合が多い。そのため，年輪年代のように，物質そのものから得られる詳細な年代情報は，地域史を理解する上で重要である。

これまで日本での年輪年代測定は，有用材として主に利用されてきたヒノキ・スギ等の針葉樹材への応用に限られていた。しかしながら，先史時代から極めて多種多様な木材利用がなされてきたわが国では，さらに多様な樹種，特に広葉樹材についても年輪年代測定のニーズがあり，それぞれにクロノロジー（暦年標準パターン；標準年輪曲線）を整備することが必要といえる。

クロノロジーを長期にわたり延長させるためには，まず伐採年のわかっている現生木によるクロノロジーと，年代範囲と重複する古材・遺物などから得られる年輪幅変動とをマッチングさせ，順次さかのぼって延長させていくことが必要となる。現生木によるクロノロジーの年代範囲は，多くの場合，数百年間程度にとどまる。そのため，現生木クロノロジーとマッチングさせ，さらにクロノロジーを延長させていくためには，近世または近代の試料が，年輪年代学研究の初期段階において非常に重要である。

年代未知のブナ製民具試料として，岐阜県飛騨地方において明治時代末から昭和時代初期頃に使用されていたという，バンバと呼ばれる木製の除雪具48点を用いた。試料として用いたバンバは身と柄からなる一木のものであり，木取りが柾目のものでは身の部分に100層以上の年輪が刻まれているものも多い。この民具試料に刻まれる年輪は，現生木のクロノロジーとの年代期間と重複し，さらにブナのクロノロジーをより古くさかのぼらせることが期待できる試料といえる。

発表者らは，このブナ材製民具の年輪年代測定を行い，年代未知の広葉樹材製文化財の年輪年代測定を日本で初めて成功させた。年輪幅の計測には，マイクロフォーカスX線CT装置による非破壊的計測の応用も試みた。ブナ材製民具の年輪年代測定は，星野ら（2006）で公表されているブナ現生木のクロノロジーと民具の年輪幅変動とのクロスデーティングにより行った。

引用文献

星野安治，米延仁志，安江恒，野堀嘉裕，光谷拓実，2006．東日本におけるブナ年輪幅暦年変動パターンの広域ネットワーク構築．考古学と自然科学，54，69-79.

本発表は，財団法人高梨学術奨励基金より助成を受けて行った研究成果の一部である。

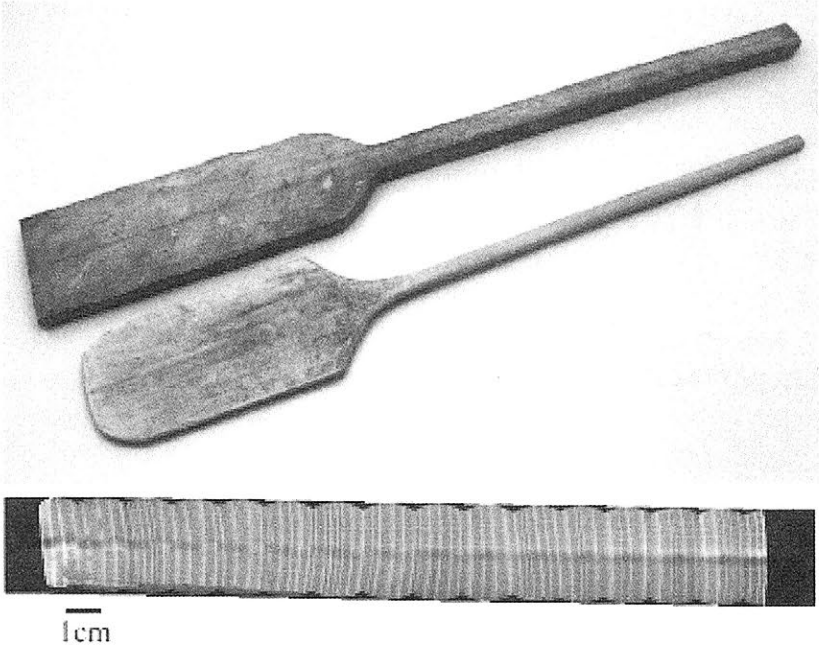


図. ブナ材製民具(上)とマイクロフォーカスX線CT画像(下).

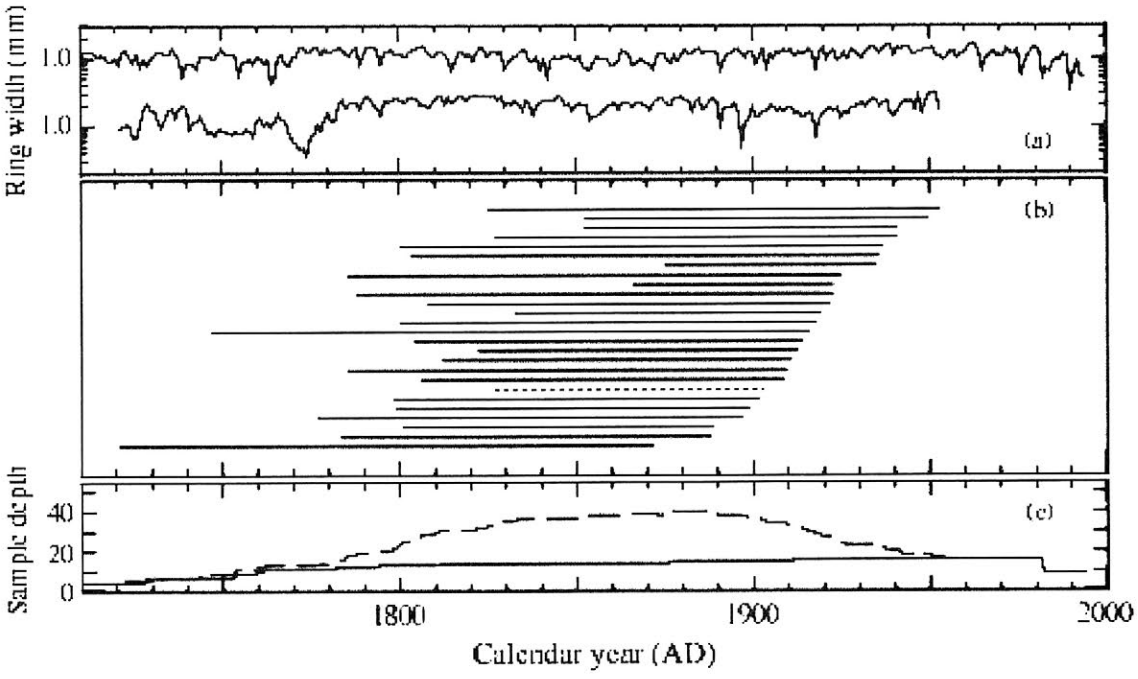


図. ブナ材製民具の年輪年代測定結果. (a)中部地方における現生木のクロノロジー(上)と民具のクロノロジー(下). (b)試料ごとの年輪年代(破線:マイクロフォーカスX線CT画像から年輪幅を測定した試料). (c)中部地方のクロノロジーの試料数(実線:現生木, 破線:民具).

P—3

マイクロフォーカスX線CTによる池口寺木造菩薩形立像の非破壊年輪年代測定

○大河内隆之・光谷拓実（奈良文化財研究所）・児島大輔（日本学術振興会特別研究員）

はじめに

年輪年代法は、木造文化財の調査において一年単位で年代を決定できる自然科学的年代測定法として、重要な役割を果たしている。文化財の調査においては、非破壊でおこなわれることが望ましい。とりわけ、仏像のようにそれ自体に美術的な価値があり、かつ信仰の対象でもある場合には、調査対象を損なわないことが厳に求められる。ところが、実際に仏像などの年輪年代調査をしようとすると、調査対象の年輪を観察して正確なデータを計測することが困難な場合も少なくない。体躯の表面に、彩色、漆塗、金箔貼などの仕上げが施されている場合、あるいは表面が劣化している場合には、仏像の表面で正確に年輪を観察することはほぼ不可能である。そこで筆者らは、非破壊での年輪年代測定技術の開発と応用について、2004年から取り組んできた。本報では、池口寺に伝わる木造菩薩形立像1躯を奈良文化財研究所に輸送し、マイクロフォーカスX線CTによる非破壊年輪年代測定をおこなった成果について報告する。

調査対象

池口寺は、長野県木曽郡大桑村殿に所在する臨済宗の寺院で、寺伝では承平7年（937）創建と伝えられる。同寺に伝わる木造菩薩形立像は、宝髻を高く結い上げ、天冠台を戴き、条帛・天衣・裙を着し、腰をやや左にひねり前傾して立つ菩薩形像である。尊名不詳。ヒノキ材による一木造、彫眼、彩色仕上げ（現状素地）。髻頂から地付まで足枘を含んで一材より彫出し、両肩先に別材（欠失）を寄せる。宝髻・耳・背面全体を彫り残すほか、地髪部・裙裾先に粗い鑿痕を残す。前述の両肩先材のほか、右腰より下および左脇腹より下の天衣垂下部を欠失する。両足先割損。背面は全体に虫損および朽損が著しい。彩色は剥落し素地をあらわすが、正面では髻から足枘まで黒色を呈すほか、一部に胡粉下地が残る。台座・光背を欠失する。伝来不詳。銘記等なし。法量は、像高 112.5cm、髪際高92.8cm（三尺）、面奥13.3cm、腰張23.2cm、総高116.2cm。

高く結い上げられた宝髻、穏やかながらも適度な肉付けをほどこす面相表現、おとなしい衣文表現等の特徴から、本像の制作時期は平安時代後期～鎌倉時代初期（12世紀後半～13世紀初頭）とみてよいだろう。なお、足枘の作り出される角度からうかがえる前傾姿勢は、本像が来迎する阿弥陀如来像に随侍する観音もしくは勢至菩薩像である可能性を想起させるが、確証はない。

調査方法

調査に際しては、奈良文化財研究所と島津製作所株式会社が非破壊年輪年代測定用に共同開発したマイクロフォーカスX線CT装置（SMX-100CT-D）を使用した（図1）。本装置で対象とするのは直径27cm・高50cm以内の木造文化財であるが、調査対象の状況によっては直径45cm・高128cmまで大きさのものでも扱うことが可能である。撮像条件は、管電圧65kV・管電流75～100μAの16分照射である。一回あたりの撮像視野が直径35.3mm（2048画素×2048画素）であるため、画素当量寸法は17.2μmとなる。撮像視野の半径相当量を順次スライドさせながら調査対象立像の腰部を撮影し、14枚の画像を統合して年輪幅計測用の断層画像を得た（図2）。年輪幅の計測には、筆者らが開発した年輪画像計測ソフトウェアを用いた。年輪年代測定に際しては、対数変換・5年移動平均ハイパスフィルタ処理を施したのち、暦年代の確定しているヒノキの標準年輪パターンとの相関分析・t検定をおこなった。

結果

本像腰部の断層撮像位置には219層の年輪が含まれており、左腰部に残存する本像中の最新年輪

の年代は 1115 年（t 値 9.7）であった。本像には辺材や樹皮が残存していないため、この年輪年代は原木伐採の上限年代を示している。

考察

調査対象に辺材や樹皮の残存しない場合には、造像に際して切除されてしまった辺材部や心材部に含まれていた年輪数ぶんを、得られた年輪年代に加算して考えなければならない。筆者らのこれまでの経験では、調査対象が心材のみから成る場合、得られた年輪年代は、実際の伐採年代よりも最低でも数十年程度、場合によっては 100 年以上も古くなることがある。こうした点を考慮すると、本像の造像時期は、年輪年代によって得られた 1115 年を上限とする 12 世紀後半ないし 13 世紀前半頃となる蓋然性が高い。年輪年代学によって導かれたこの結論は、制作時期を平安時代後期～鎌倉時代初期とする美術史学的な所見とも矛盾はしない。

まとめ

池口寺木造菩薩形立像は心材型の仏像であったため、年輪年代調査からは造像年代を明確に絞りこむことができなかったものの、三尺立像であっても非破壊年輪年代調査が可能であるということが実例をもって示された意義はたいへん大きい。

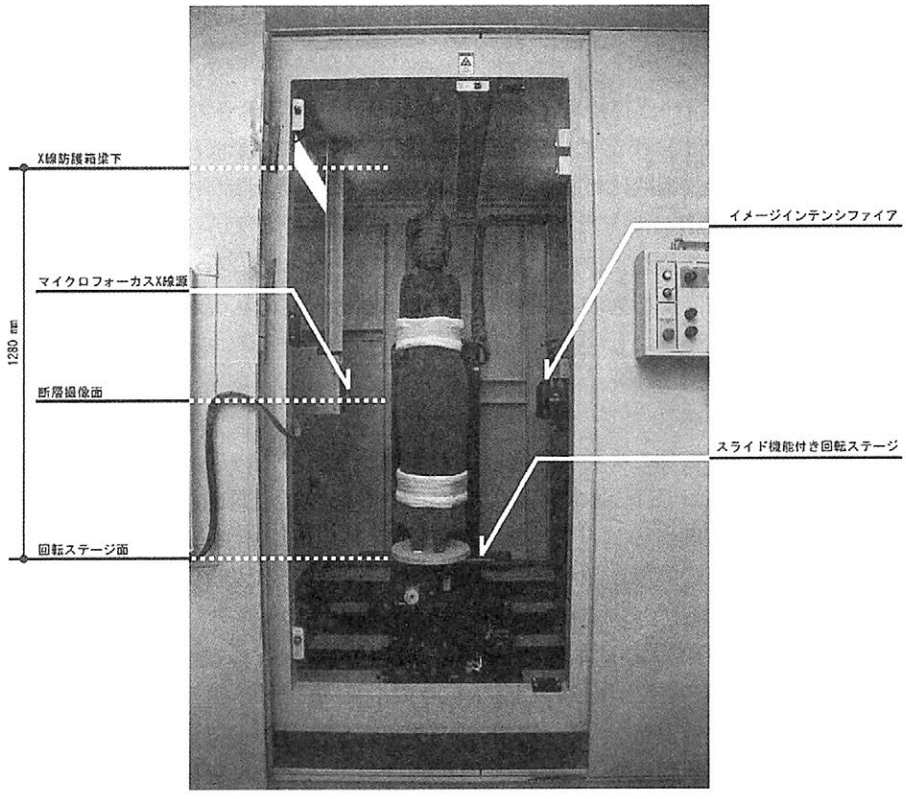


図 1　マイクロフォーカス X 線 CT 装置内に設置された池口寺木造菩薩形立像

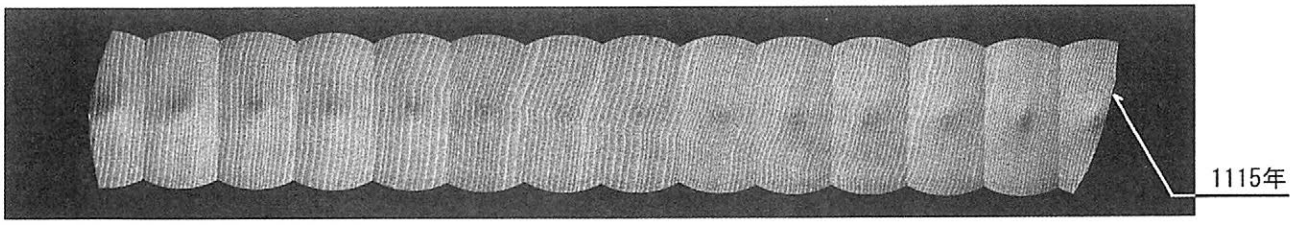


図 2　池口寺木造菩薩形立像の腰部断層画像

P−4

日本産ツガ属の年輪年代測定

−近世建造物における試み−

○藤井裕之（奈良文化財研究所）、竹口泰生（奈良県文化財保存事務所）

はじめに

「ツガ普請」という言葉からも知られるように、ツガ（栂・トガ）の木材は、近畿を中心とした近世の建築用材に好んで利用されたといわれており、文化財建造物でも目にすることが多い(伊原 1989)。一方、ツガが年輪年代法に有望な樹種であることも以前から知られており、現生木における若干の検討から、ヒノキ等と年輪データの相関が高いことが指摘されている（光谷ほか 1990)。しかし、現在に至るまで基礎的な研究は不十分なままで、暦年標準パターンの作成や個別物件の年代測定にはまだ至っていない。

こうしたなか、奈良県文化財保存事務所が最近実施した近世建造物の保存修理事業において、主要な部材を対象に年輪データの計測と比較を試みる機会があった。その過程で、ツガ属の部材から測定した年輪データにも年代値を与えることができた。この年代は、痕跡や文献の記載から判断した建造物の履歴ときわめて整合的であったので、以下報告したい。

1．調査の対象

調査対象とした建造物は、現在保存修理工事中（半解体修理）の當麻寺大師堂（奈良県指定文化財、葛城市所在）である。大師堂は當麻寺境内の北端に位置し、中には木彫弘法大師像を祀る。建物は南向きに建つ宝形造の三間堂で、周囲には縁が廻り正面中央には向拝一間がつく。棟札の記載によると建立は 1646（正保３）年であり、もとは御影堂と呼ばれていたことがわかる（奈良県教委 2004)。現状では背面側にある脇仏壇の部分および両側面後方間が板壁となっているが、目視による痕跡調査の結果、これらは建立後の改造によるものと判断できた。風蝕その他の状況からすると、改造は建立後 30 年ほど経過した頃と推定できる。

2．試料とデータ処理の方法

まず部材を目視で観察し、1 点につき 100 層以上の年輪が含まれていると判断できたものを計測試料に選んだ。試料の樹種については、木材組織プレパラートを作成し同定を行っている。その結果、これまでに部材点数にして 105 点の試料を得た（2008 年 5 月現在)。今回の試料は 3 種類の樹種で構成されているが、痕跡調査の結果、ヒノキのものはすべて当初材、トガサワラ属は改造時の後補材、ツガ属にはその両方に由来する材が含まれていると考えられた。

年輪データの計測や比較、照合は、基本的に Baillie (1980) 等をベースとした光谷らの方法 (1990) によった（照合の目安；重複年輪数 100 層以上、t=5.0 以上)。専用の年輪読取器で年輪幅を直接計測できなかった場合には、試料の表面をコンパクトデジタルカメラ（Panasonic FX-30）で撮影し、印刷出力したものから年輪幅を計測した。この際、写真画像にはスケールを写し込むようにした。なお比較、照合の作業は主としてコンピュータ上で行い、年輪分析ソフト PAST4（オーストリア SCIEM 社)、および ExcelVBA による自作プログラムを併用した。

3．年輪データの比較（クロスデーティング）とその結果

総当り比較と平均値パターンの作成　年輪データの比較はまず総当り方式で行い、互いの相関が高かった群をグループ化して平均値パターンを作成しつつ、作業を繰り返した。その結果を見ると、樹種が同じで、なおかつ部材の種類も同じであれば、年輪データの相関も高くなる状況が認められる。

しかし、部材の種類が異なる場合に一致するものはかなり少数であった。樹種の違いに着目すると、トガサワラ属については他の樹種との接点を全く見いだせなかったが、ヒノキとツガ属の間においてはクロスデートにつながる組み合わせがいくつか見られた。

暦年標準パターン（ヒノキ）による年代づけ　グループ化できる年輪データはできるかぎり平均値パターンにまとめた上で、A．ヒノキの暦年標準パターン（光谷拓実氏作成）と直接クロスデートを行う、B．Aによって年代値を得た年輪データを基準として間接的にクロスデートを行う、という2通りの方法で年代づけを試みた。計 11 本の年輪データでこの作業を行ったところ、前者によってクロスデートが成立したのはヒノキ3本のみであった。このうちの1本が、総当り比較でツガ属と相関の高かった実肘木の平均値パターンである。ツガ属についての主な結果を下図に示す。

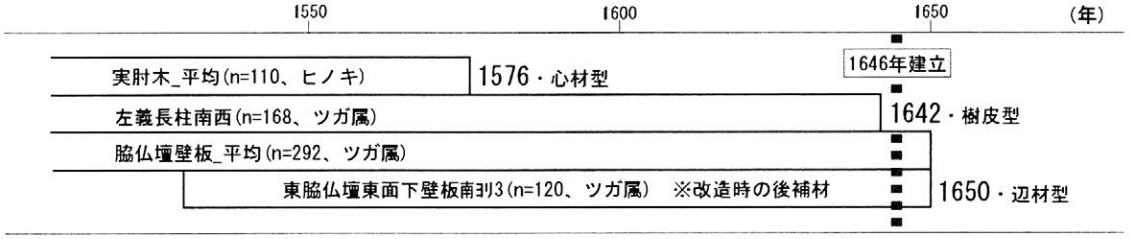


図　ツガ属の部材にかんする主なクロスデート結果（當麻寺大師堂）

4．年代値の評価と今後の課題

以上のようにして得られた年代は、棟札や痕跡調査の結果と矛盾なく対応している。とりわけツガ属について見ると、樹皮型の年輪を有する左義長柱南西の伐採年は 1642 年で、ちょうど建立直前の年代を示している。これが正しいとすると、ヒノキとツガ属における年輪データの同調性についても改めて確認できることになる。

ただ現在のところ、今回得られたツガ属の年代値を確たる年輪年代として扱うわけにはいかない。気象因子に対する反応が樹種によって異なるからであるが、今後はツガ属独自の暦年標準パターンづくりを目指しながら広くデータを蓄積し、改めて見直す機会を持つ必要がある。

一方、ツガ属がヒノキの暦年標準パターンに対してではなく、年輪データの一部に対して高い相関を示している点からすると、標準パターンで表現されるような広い地域におよぶ気象因子ではなく、局地的な要素が今回の結果に強く影響していることが予想される。これは今後の作業の進め方について示唆的である。ツガ属を研究する上でも、ヒノキ等の年輪データの質を底上げしていくことが求められるだろう。

まとめ

これまでツガは、年輪年代測定の対象としてあまり認識されていなかったのではないだろうか。今回の試みからすると、実用化に向けた研究を行う価値は十分にあると考えられる。年輪データの蓄積が当面の課題となる。より多くの試料を計測できるよう、引き続き努力したい。

末筆ながら、暦年標準パターンとのクロスデートを快く引き受けていただいた光谷拓実博士に感謝申し上げる。

参考文献

Baillie, M.G.L. 1982 Tree-ring dating and archaeology. London, Canberra

伊原恵司 1989「古建築に用いられた木の種類と使用位置について－中世から近世への変化を中心にして－」『保存科学』No.28　東京国立文化財研究所保存科学部　pp.25-62

奈良県教育委員会事務局文化財保存課 2004「當麻寺大師堂」『奈良県指定文化財』平成 14 年度版（第 44 集）pp.1-4

光谷拓実ほか 1990『年輪に歴史を読む－日本における古年輪学の成立－』奈良国立文化財研究所編　同朋舎

P—5

東京都千代田区弥勒寺跡出土の木棺材より構築した年輪幅クロノロジー

○大山幹成（東北大学植物園）・鈴木伸哉（早稲田大学人間科学部）・八木千紘（（株）アットホーム）・鈴木三男（東北大学植物園）

【緒言】

年輪年代法は、木質遺物を対象とする高精度の年代決定法であり、絶対年代が得られる点が大きな特徴である。その基盤となるのは、暦年標準パターン（クロノロジー）であるが、研究先進地のヨーロッパなどと比較すると我が国ではその整備がまだ不十分であり、特に東日本においては連続的なクロノロジーすら構築されていない状況にある。また、近年、ヨーロッパで注目を集めている木材の産地推定のためには各地域においてさらにクロノロジーの構築と充実を進めていく必要がある。

江戸は、徳川家康の関東入府以降都市化し、江戸時代以降、木材の大消費地となった。近年、江戸の寺院跡などから出土する木棺材の樹種および木取りを調査し、森林資源の荒廃と植林の進展を検討する研究が進められている(例えば鈴木 2006)。

本報告においては、これらの遺跡の 1 つである弥勒寺跡遺跡（東京都千代田区）から出土した木棺材を用いて、ヒノキ属のクロノロジーを構築することを目的とした。

【試料】

弥勒寺跡遺跡は東京都千代田区岩本町 2 丁目に位置する遺跡で、寛永期には「清水寺」、その後、明暦の大火 （1657）後に「弥勒寺」という寺院の境内の一部となった。その後天和の大火（1682）により弥勒寺は消失した。この寺院段階の遺構から数多くの円形木棺が出土した。これらは六道銭等の副葬品を有し、被葬者の中心は町人・商人などの一般都市住民層に比定されている。この遺跡の木棺材から年輪数の多い材（50 年輪以上）、103 点を選び出して試料とした。遺構の存続期間が限定されており、副葬品も豊富なため、年代的には、当地に寺院が存在した 17 世紀前葉から後葉に属することは確実である。

【方法】

試料(側板、底板)を切断し、横断面をカッターナイフなどで削ったあと、フラットベッドスキャナで年輪画像を取り込んだ（解像度は 1200dpi)。この画像から年輪幅測定ソフト（ringMeas)を用いて年輪幅を測定した。また年輪幅が狭く画像での計測が困難であった一部の試料については、年輪幅測定器を使用し、0.01mm 単位で測定した。

クロスデーティングは統計的検証と目視により行った（Baillie 1982, 本大会 P-001 参照）。クロスデーティングを行った試料のデータをアンサンブル平均し、クロノロジーを構築した。　また、試料から 3 断面の切片を採取し、光学顕微鏡観察による樹種同定を行った。

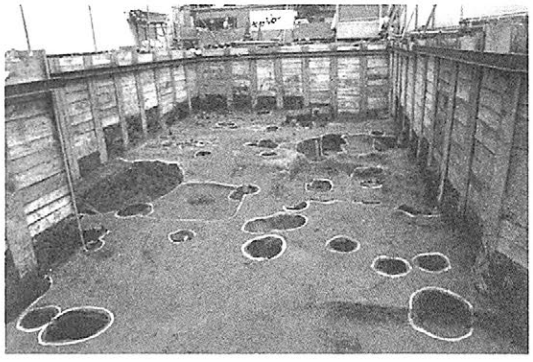
【結果と考察】

試料間でクロスデーティングを反復し、103 点のうち、55 点の試料で他の試料とのク

ロスデーティングに成功した。成功した試料の年輪数は、72 年～464 年（平均 187 年）、平均年輪幅は 0.26～1.12mm（平均 0.58mm)である。55 点の樹種は、54 点がサワラ (*Chamaecyparis pisifera* Endl.) 、1 点がヒノキ（*Chamaecyparis obtusa* Endl.）であり、いずれもヒノキ属であった。また、クロスデーティングできなかった試料もほとんどがサワラであった。

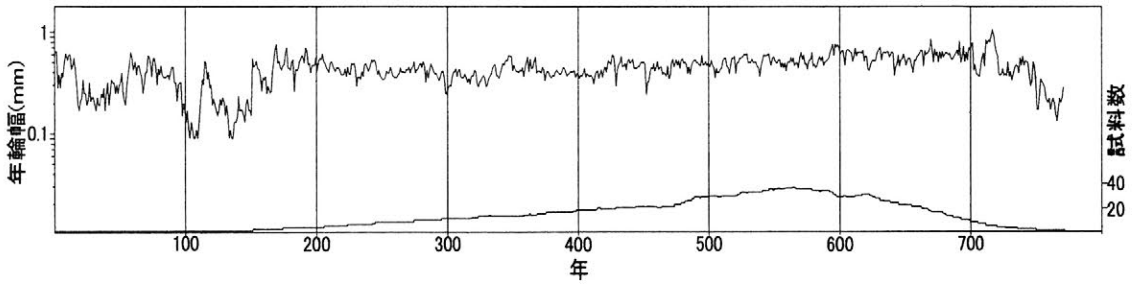
55 点の試料から、771 年の年輪幅クロノロジーを構築した。作成したクロノロジーの同調性の高さを示すクロノロジーー各試料間の t 値の平均は 9.2 であり、十分な年代決定能が見込まれることが示唆された。

遺跡の営まれた年代からこのクロノロジーは、9 世紀から 17 世紀にかけての年代範囲に相当すると推定され、今後、クロノロジーの暦年代を決定すれば、同地域における年輪考古学研究に資することが期待される。今後、同種の遺跡において更に試料収集を進め、クロノロジーの質、量を充実させていく必要がある。



弥勒寺跡遺跡発掘時の様子

木棺出土状況



弥勒寺跡遺跡の試料から構築したクロノロジー

【引用文献】

Baillie MGL(1982) Tree-ring dating and archaeology. Croom Helm, London, 274pp

鈴木伸哉・能城修一(2006)東京都新宿区崇源寺・正見寺跡から出土した江戸時代の木棺の形態と樹種. 植生史研究, 14:61-72.

P−6

TL 法を用いた磁器の年代測定にみられる問題点の検討

○青木智史・長友恒人（奈良教育大学）

1. はじめに

熱ルミネッセンス法（TL 法）は陶磁器の焼成年代を測定する代表的な方法である[1]。その適用範囲は広く、ほとんどの陶磁資料の年代測定が可能であるが、未だ検討すべき問題も少なくない。特に、磁器を対象とした陶磁器真贋判定法において、バラツキが大きく、かつ線量依存性も良好ではないデータは蓄積線量評価にとって極めて大きな悪影響をもたらしてきた。 本発表では、同様の性質を示した出土白磁片（韓国、牛山里窯址出土）を対象として、この問題の検討と解決策の模索を行い、その結果と改善の方策について報告を行う。

2. 磁器を対象とした TL 年代測定にみられる問題点

TL 法は、石英や長石類などのルミネッセンス鉱物が吸収した放射線量をもとに年代値を評価する方法である。陶磁器胎土に含まれる石英や長石類の TL 発光強度は、鉱物が吸収した放射線量に比例して増加する性質がある。TL 法は、これを利用して吸収放射線量を評価する。TL 年代測定法では、鉱物がゼロイング後に吸収した放射線量（蓄積線量）を鉱物が一年間に吸収する放射線量率（年間線量）で除することにより年代値を評価する。これまでも磁器は TL 法の測定対象であったが、時に TL グローカーブのバラツキが大きく、線量依存性も乏しい、解析困難なデータが得られることがある。このような試料の蓄積線量評価は極めて困難であり、従来は大まかに年代値を評価するにとどまっていた。

3. 原因の究明と解決策の検討

本研究では、磁器を対象とした TL 測定時にしばしばみられる上記の問題点の原因を探るため、試料粉末の X 線回折分析を実施した（図 1）。分析の結果、石英とムライト以外の鉱物のピークが検出されないことがわかった。これは 1300℃以上の高温に達する磁器焼成において、粘土鉱物はムライト化し、長石類は熔融して冷却時に再結晶せずにガラス化した状態で固化しているためと考えられる。これは Stoneham によってすでに指摘されている通りであり、本研究でも同様の見解に達している[2]。以上のことから、磁器胎土原料の主成分の一つであり TL 発光の主要な担い手である長石類が、TL 発光を示さない状態になっていると判断される。よって、このよう場合の TL 発光は、胎土中に僅かに含まれるガラス化していない石英粒子によるものであると考えられる。磁器胎土中の石英含有量は僅かであるため、TL 発光強度が微弱になっているのであろう。つまり、胎土中の石英を抽出・集積すれば、この問題を解決できる可能性がある。しかし、この方法は大量の試料採取量が必要とするため作品に甚大な破損を強いることになる。よって、美術品や文化財を対象とした分析においては現実的ではない。

これまで我々は作品へのダメージを最小限に抑えるため、磁器を対象とした測定では微粒子法を適用してきた。微粒子法では、石英だけでなく長石類も主要な測定対象とするため、検出波長域を 350−470nm としていたが、長石類がガラス化して TL 発光を示さない場合には必ずしも適当な波長域とは言い難い。橋本らが指摘するように、高温に曝された石英には RTL（赤色 TL）を示すものが多くある[3]。磁器胎土中の石英を測定対象とする場合、検出波長域を改めて検討する必要がある。よ

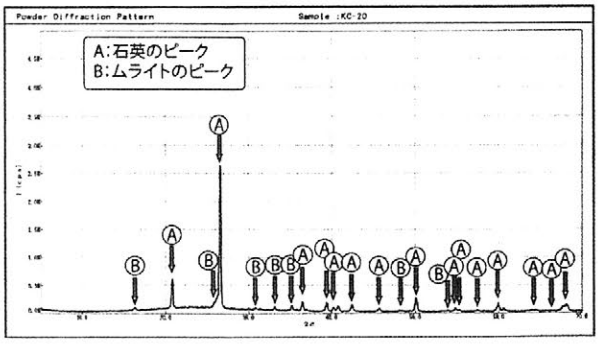


図 1. Sample 3 の X 線回折分析結果

って本研究では、検出波長域を380－580nmとし、従来よりも広範囲の検出波長域を採用して測定を実施した。

4. 測定結果と考察

測定対象とした白磁片は、韓国の牛山里窯址の製品である。Sample 1およびSample 2は、15世紀に操業した窯址、Sample 3は16世紀に操業した窯址由来の試料である。測定結果は、表1および表2に示した。

従来の条件での測定結果は、Sample 3に関しては比較的妥当な年代が得られているものの、Sample 1およびSample 2は既知年代とは全く整合しないものとなっている（表1）。また、これらのデータはTL強度が微弱で、線量依存性も乏しい（図2）。一方、新たな条件で測定した結果は、表2に示したように既知年代と調和的である。そして、TL発光強度は数倍になり、線量依存性も良好であるなどTLデータに改善が見られる（図3、図4）。以上の結果から、本研究で採用した検出波長域（380-580nm）は、従来の波長域（350-470nm）よりも優れた測定条件であると考えられる。今後は測定数を増やしてこの結果の正当性の検討を行うとともに、より適した検出波長域を模索いていく必要がある。

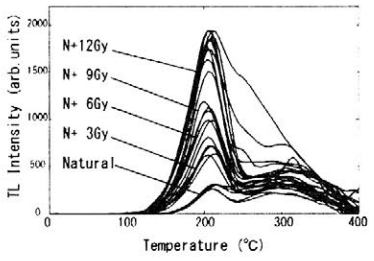


図2. 従来の測定条件での TLグローカーブ（Sample 3）

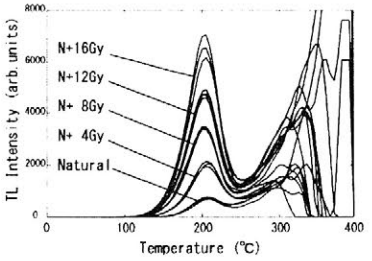


図3. 新たな測定条件での TLグローカーブ（Sample 3）

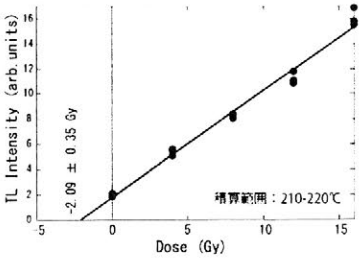


図4. 新たな測定条件での 生長曲線（Sample 3）

表1. 従来の検出波長域(350-470nm)で測定したTL年代測定結果

試料名	蓄積線量(Gy)	年間線量(mGy/a)	TL年代(年前)
Sample 1	7.38±0.55	3.80±0.16	1950±170
Sample 2	5.29±0.89	5.68±0.34	930±170
Sample 3	2.01±0.74	6.44±0.30	310±120

表2. 新たな検出波長域(380-580nm)で測定したTL年代測定結果

試料名	蓄積線量(Gy)	年間線量(mGy/a)	TL年代(年前)
Sample 1	1.92±0.42	3.80±0.16	510±110
Sample 2	2.76±0.50	5.68±0.34	490±90
Sample 3	2.09±0.35	6.44±0.30	370±100

§参考文献

[1] 長友恒人（1999）ルミネッセンス法，考古学のための年代測定入門，古今書房，pp59-76.

[2] Stoneham, D.（1983）Porcelain dating, *PACT*, **9/1**, pp. 227-239.

[3] 例えば、Hashimoto, T., Hayashi, Y., Yokosaka, K., *et al.*（1986）Red and blue colouration of thermoluminescence from natural quartz sands, *Nuclear Tracks and Radiation Measurements*, **11**, p. 229.

§謝辞

本研究で測定対象とした白磁片は、韓国の公州大学校の徐廷昊教授ら諸氏の厚意によって測定の機会を得たものである。ここに厚く感謝の意を表したい。

P−7

考古遺跡を形成する堆積物の光ルミネッセンス（OSL）年代測定
—多試料法と単試料法による蓄積線量評価の比較—

長友　恒人[1]・○ 下岡　順直[1,2]・小畑　直也[3]
1：奈良教育大、2：日本学術振興会特別研究員、3：倉吉博物館

1.　はじめに

考古遺跡を形成する堆積層、もしくは遺物包含層について、直接年代測定を行うことができる方法として、光ルミネッセンス（OSL）年代測定法がある。OSL 測定は、堆積物のような太陽光などの露光によって、それまでに蓄積された OSL 信号がタイムゼロイングされた試料に対して有効な方法である。OSL 法では、土壌中の石英や長石を測定の対象とする。その際、鉱物によって OSL 測定する際の励起光波長を選択している。一般に、長石では励起光を赤外光（880nm）とし、石英では緑色光（514nm）もしくは青色光（470nm）を励起光として用いる。さらに、蓄積線量評価法（図 1）として、従来用いられてきた Multiple aliquot（多試料）法に加えて、近年 Single aliquot（単試料）法が開発され、多方面で用いられている。単試料法は、OSL 測定のときに試料に生じた感度変化や信号の回復現象といった年代測定で誤差の要因になってきたことを補正することができるようなった。さらに、単試料法では測定に必要な試料の量がこれまでの多試料と比べて 10%以下にまで減らすことができるという点で、考古遺跡や遺物などへの応用が期待されている。最近では、単試料法による蓄積線量評価が、多試料法による蓄積線量評価よりも信頼性が高いとされている。

今回、考古遺跡堆積物において、従来用いられてきた多試料法と単試料法で蓄積線量評価を行い、比較を試みた。

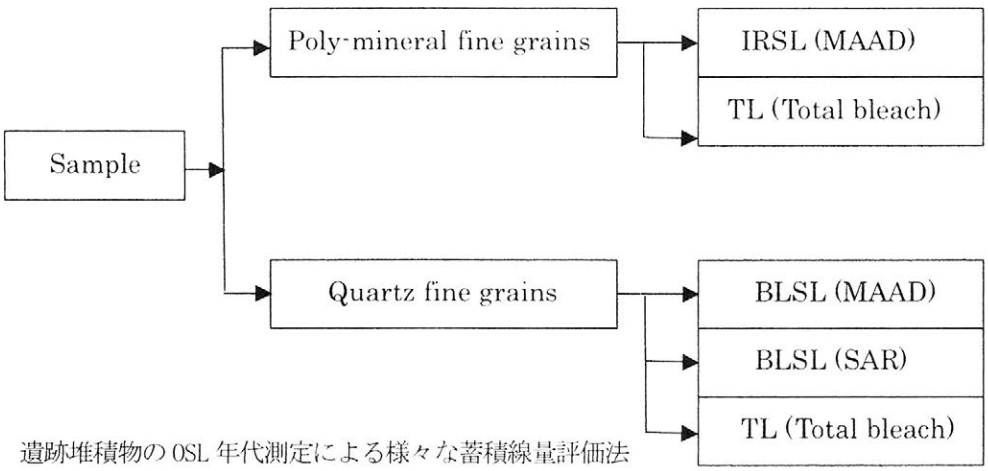


図 1　遺跡堆積物の OSL 年代測定による様々な蓄積線量評価法

2.　考古遺跡堆積物の OSL 年代測定

OSL 年代測定には、中国河北省に位置する旧石器遺跡の遺物包含層の直上層と直下層（厚さは、それぞれ約 10−15cm 程度）を試料に用いた。試料は、過酸化水素水による有機物除去と塩酸による炭酸塩除去を行い、約 1−8μm の粒度に揃えた。その後、ケイフッ化水素酸を用いて試料を微粒の石英に純化させた（以下、処理した試料をナチュラル試料と称す）。蓄積線量評価は、多試料法では付加線量法を、単試料法では再現法を用いた。前者では、低線量域の補正のためナチュラル試料を一度人為的に信号をリセットさせた。その後、^{60}Co γ線を付加照射した。OSL 測定には、自作の装置 NRL-99-OSTL 自動測定装置を用いた。OSL 測定条件は、励起光波長 470±40nm、検出波長 250−380nm、測定前の加熱（プレヒート）処

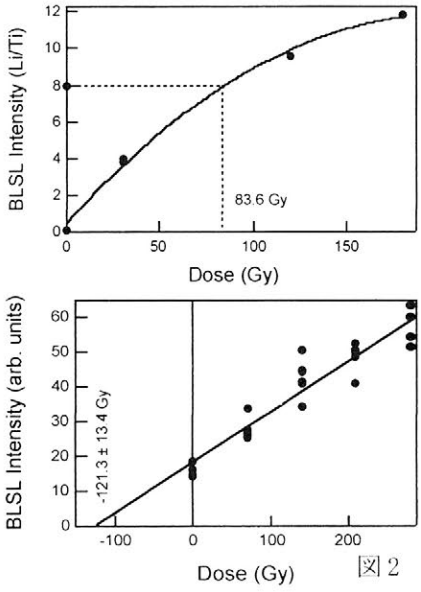


図2　単試料法（上）と多試料法（下）による等価線量評価（遺物包含層直下層）

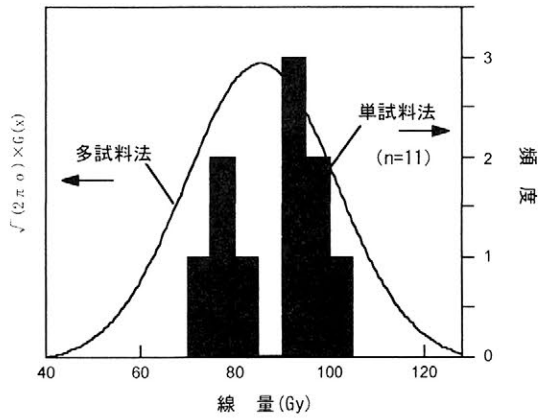


図3　多試料法と単試料法による蓄積線量分布比較（遺物包含層直下層）

理を220℃で60秒間行った。そして、測定温度120℃で100秒間測定を行った。単試料法では、一皿分の試料について照射と測定を繰り返す。照射は、測定装置に装着させた ^{90}Sr のβ線源を用いた。ナチュラル試料もしくは照射した試料のOSL測定後、感度変化を補正するために、一定量の線量をテストドーズとして照射し、カットヒート（160℃で60秒）後OSL測定を行い、そのOSL強度で補正した。

3.　測定結果と考察

多試料法では、BLSL測定を行った8ー14秒のルミネッセンス強度を積算して生長曲線を作成した。付加線量法では、最小二乗法により直線回帰し、直線を外挿して横軸との交点が等価線量もしくは低線量域補正線量となる。このとき蓄積線量は、等価線量と低線量域補正線量の和で求まる。単試料法では、最初の一秒間のBLSL強度をテストドーズのBLSL強度で補正した値を用いて生長曲線を作成した(図2)。そして、ナチュラル試料のルミネッセンス強度を生長曲線に内挿させることで蓄積線量を求めた（表)。

図3に試料とした遺物包含層直下層の多試料法と単試料法による蓄積線量評価の結果を比較した。多試料法による蓄積線量はガウス曲線に従うとし、単試料法では11個の測定結果の頻度分布を示した。多試料法では、蓄積線量は86±16Gyであり、86Gyを中央値として正規分布となった。これに対して、単試料法では、75Gy付近と90ー100Gy付近の二カ所に分布した。そして、単試料法では11試料の平均値は、91±9Gyであった。多試料法と単試料法による蓄積線量評価を比較した結果、単試料法の頻度分布は、多試料法の1標準偏差の範囲と重なる結果となった。つまり、多試料法で得られた蓄積線量は、同一層位において個々の鉱物が吸収、蓄積した放射線量の平均的な値であるといえる。なお、単試料法の結果を詳細に検討すると、この試料に含まれる微細な石英は、露光による光ブリーチの度合いが二パターンのものが混在して一つの層を形成しているものと考えられる。この類例として、東京都下原・富士見町遺跡で採取した試料に対して、多試料法と単試料法による蓄積線量の分布が重ならないという結果が得られている。その原因は、生物擾乱があったために、後世の土壌が混入したためであることがわかっている。このように、多試料法と単試料法を併用した年代推定を行うことは、土壌形成過程およびその続生作用を考慮した上で、考古遺跡堆積物の数値年代を評価するための有効な手段であることがわかった。

表　旧石器遺跡堆積物の多試料法と単試料法による蓄積線量比較

	多試料法	単試料法
遺跡包含層直上層	67±19 Gy	65±7 Gy
遺物包含層直下層	86±16 Gy	91±9 Gy

P—8

学術創成研究「弥生農耕の起源と東アジア」による弥生期の高精度編年

○坂本　稔（国立歴史民俗博物館）・学術創成研究グループ（代表者：西本豊弘）

1.　はじめに

文部科学省科学研究費補助金・学術創成研究「弥生農耕の起源と東アジア-炭素年代測定による高精度編年体系の構築-」（16GS0018）は，2003 年に提案された弥生開始期に関する新しい年代観を受け，2004 年から 5 年計画で進められている研究プロジェクトである。その研究目的の一つは，考古学的な手法で整備されてきた弥生期の編年に，炭素 14 年代法による高精度の実年代（較正年代）を与え，その再構築を図ることである。最終年度にあたり，これまでに蓄積されたデータを整理し，日本列島各地における弥生期の年代について全体的な考察を行う。

2.　試料と測定

研究グループは高い精度・確度での年代値獲得のため，試料の採取から調製，測定，解釈に主体的に関わってきた。型式の判明した土器の付着物は，その年代に考古学的な解釈を直接加えられる試料として重要である。精確な実年代を得るために一型式あたり 5〜10 点の土器付着物の測定を目標とし，対象とする遺跡を全国に拡大した。また共伴する種実，炭化材，漆などの植物性の試料も対象に加えた。調製は基本的に歴博の年代測定資料実験室にて実施し，加速器質量分析法（AMS）による測定は，東京大学大学院，名古屋大学，および民間の外部機関にて行った。

3.　結果と考察

歴博にて先行した研究を含め，これまでに 5,000 近い測定が行われてきた。それらのうち，1,000 を越える測定が日本版較正曲線整備のために行われ，弥生期に前後する縄文晩期〜古墳期については 1,500 測定以上が実施された。

各地域（九州，中国・四国，近畿：兵庫以東，中部・関東：新潟・福島以南，東北，北海道）の結果を，植物性試料についてプロット，土器付着物についてはヒストグラムにて時期毎に示した（図 1）。なお研究グループは，九州北部に本格的な水田稲作が開始された弥生早期を設定している。その近傍の土器型式（黒川式〜板付 I 式）の年代が 2,900〜2,500 ^{14}C BP であることが，弥生開始期遡上の論拠となっている。

各時期について，植物性試料と土器付着物の炭素 14 年代はほぼ一致し，少しずつ重複しながら推移している。ただし北海道については測定例が少なく，かつ土器付着物に海洋リザーバー効果の影響が見られることがわかっていて，その傾向ははっきりしない。考古学の立場からは土器型式の併行関係から地域毎の年代観を構築してきたが，炭素 14 年代法による実年代を与えることでその関係をより具体的に示すことができる。

本研究は最終年度に向け，北海道などの十分でない地域の測定を追加したうえで，これまでの測定結果を改めて整理，集成する計画である。これらの成果は関係諸機関のご理解に負うところが大きく，ここに深謝申し上げる次第である。

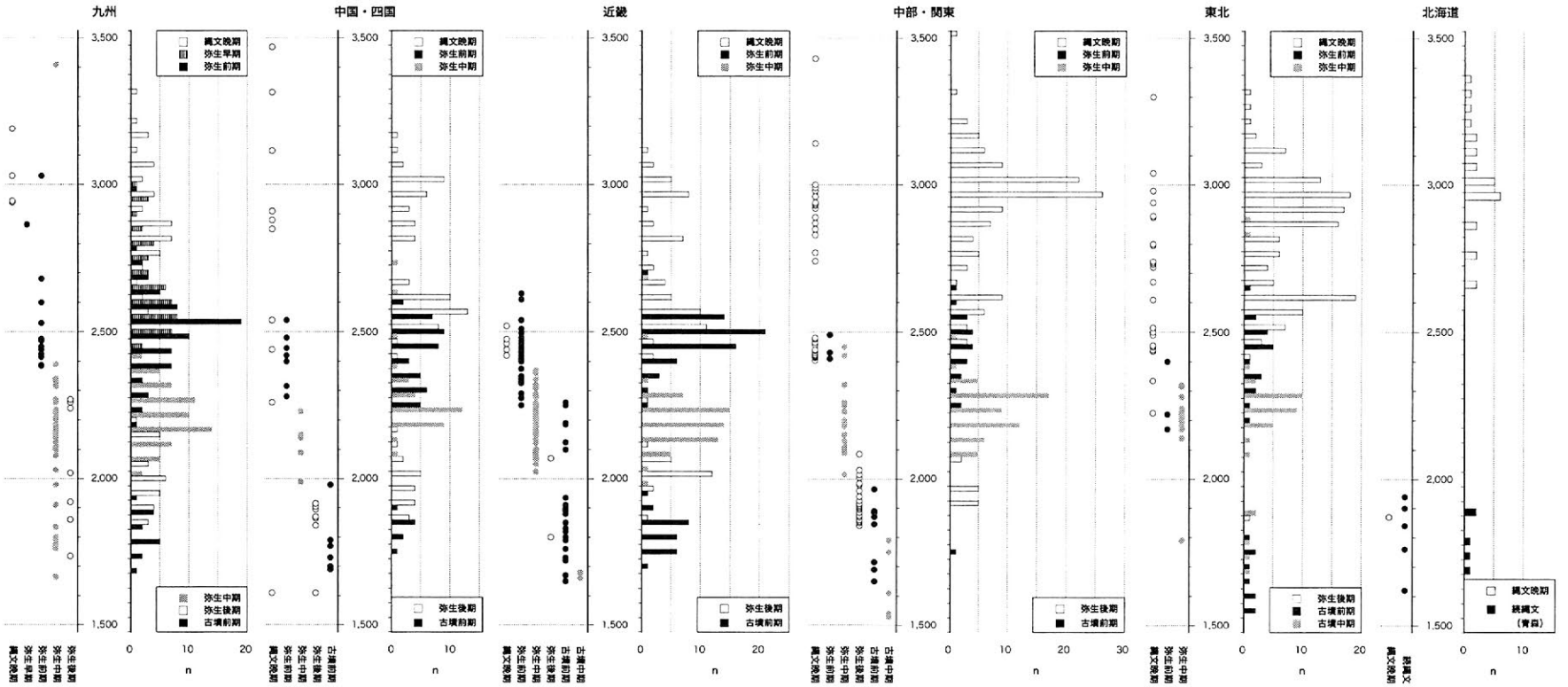


図1：縄文晩期～古墳期の植物性試料（プロット）と土器付着物（ヒストグラム）の炭素14年代

P−9

日本産樹木年輪試料の炭素 14 年代を用いた弥生時代後期から古墳時代初期の暦年較正

○尾嵜大真[1]、藤尾慎一郎[1]、小林謙一[2]、坂本稔[1]、春成秀爾[1]、今村峯雄[1]、西本豊弘[1]、松崎浩之[3]、中村俊夫[4]、光谷拓実[5]
[1]国立歴史民俗博物館、[2]中央大学文学部、[3]、東京大学大学院
[4]名古屋大学年代測定総合研究センター、[5]奈良文化財研究所

近年、遺跡から出土する資料に対して多くの炭素 14 年代測定が行われるようになってきた。しかし、炭素 14 年代値はいくつかの仮定をもとに試料中の炭素 14 濃度から算出された仮想的な年代値であり、北半球一般で適用可能とされる炭素 14 年代較正曲線 IntCal04（Reimer et al.（2004））を用いて実際の年代に較正される。しかし、紀元後 1 から 2 世紀にかけては箱根スギ（Sakamoto et al.（2003））や木曽ヒノキ（中村ら（2004））の炭素 14 年代測定の結果から IntCal04 と比較して系統的に古くなることが示唆されており、日本の試料の暦年較正には IntCal04 が必ずしも適切ではないことが予想される。実際に小田ら（2007）は弥生終末期から古墳前期の土器付着炭化物の炭素 14 年代について IntCal04 を用いた暦年較正の結果が不自然なものとなることを指摘している。

本研究では紀元後 1 から 4 世紀にわたる新たな日本産樹木年輪試料について高精度での炭素 14 年代測定により確認された日本における炭素 14 年代の地域効果を踏まえ（図 1）、弥生時代後期から古墳時代前期の試料について暦年較正を行い、IntCal04 を用いた場合との比較検討を行った。

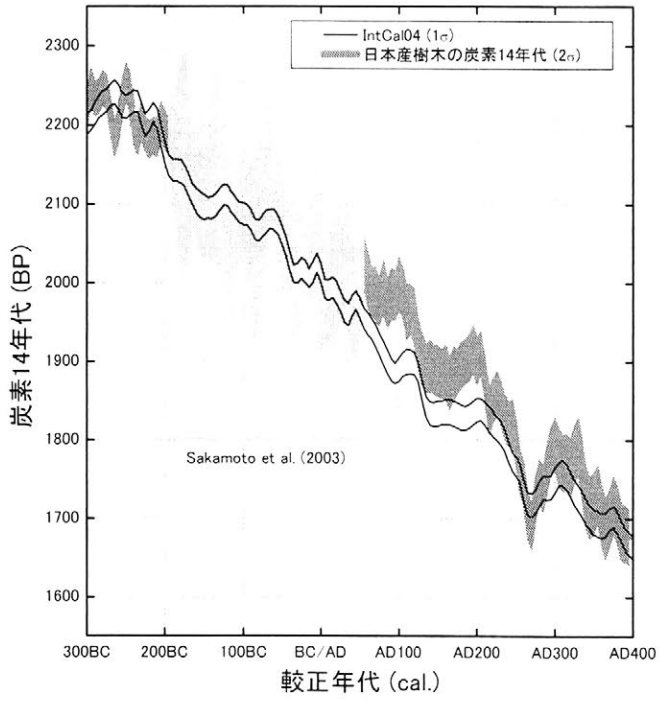


図 1 弥生時代後期から古墳時代前期にわたる日本産樹木年輪試料の炭素 14 年代と IntCal04

図 2 に、我々の研究グループによってこれまでに得られた弥生時代後期から古墳時代前期についての試料から得られている炭素 14 年代値を参考に 1850±40 ^{14}C yrBP という炭素 14 年代の暦年較正の結果を示した。

この図から IntCal04 と日本産樹木年輪試料の炭素 14 年代による暦年較正結果は年代的に完全に分かれてしまうような結果とはなっていないが、確率分布に明らかな違いが認められる。現在の我々の土器付着炭化物などについての炭素 14 年代測定では誤差は±40 年ほどであり、単一の炭素 14 年代値の暦年較正では完全に異なる結果とはならない。しかし、小田ら(2007)が報告したような±15 年というような非常に高い精度で炭素 14 年代値が得られた場合、二つの暦年較正の結果はもっと明瞭に異なるものとなり、1900 ^{14}C yrBP 付近では完全に異なる暦年較正結果を与える。また、ウィグルマッチ法による高精度の暦年較正では実年代にして 100 年ほども異なる結果を与える可能性もある。

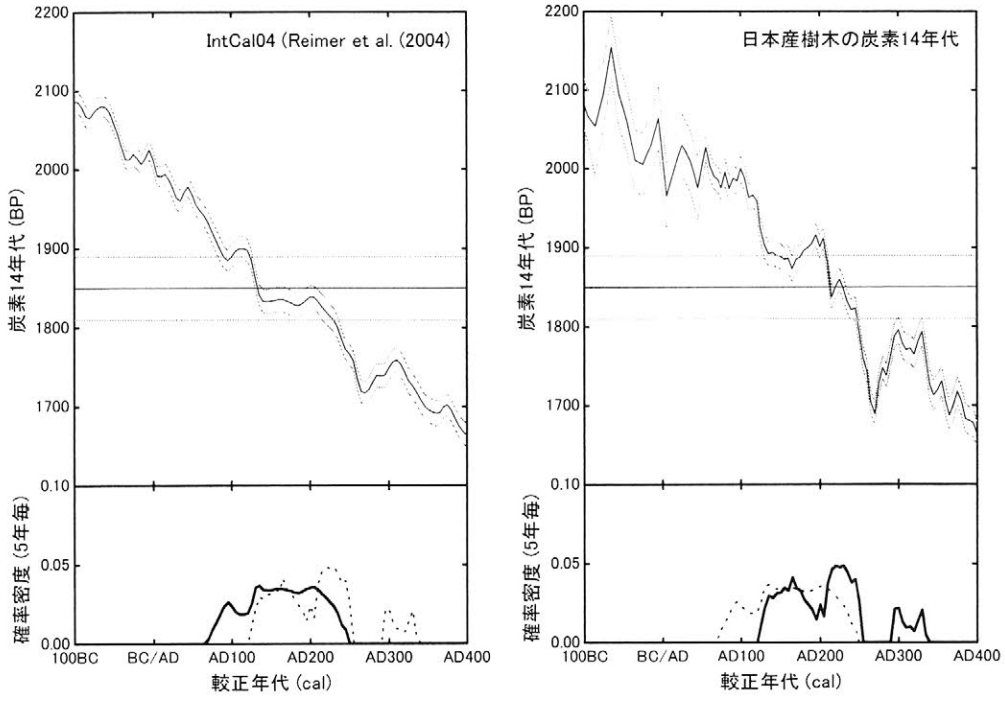


図 2 IntCal04(左)および日本産樹木年輪試料の炭素 14 年代(右)を用いた暦年較正結果の例:
炭素 14 年代値 1850±40 ^{14}C yrBP の暦年較正
確率分布図で、実線はそれぞれの上の図の較正曲線を用いた場合、点線は他方の場合

参考文献

中村ら(2004)名古屋大学加速質量分析計業績報告書(XV) 206-213.
小田ら(2007)第 24 回日本文化財科学会要旨集 136-137.
Reimer et al. (2004) *Radiocarbon* **46(3)**:1029-1058.
Sakamoto et al. (2003) *Radiocarbon* **45(1)**:81-89.

P−10

敦煌莫高窟初期窟の放射性炭素年代

○高林弘実[A]・中村俊夫[B]・郭青林[C]・岡田健[A]
A 東京文化財研究所、B 名古屋大学、C 敦煌研究院保護研究所

1. はじめに

敦煌郊外に開かれた石窟寺院遺跡・莫高窟の造営年代を明らかにすることは、敦煌石窟芸術の中国美術史上における位置を把握すると共に、東西文化交流の様相を明らかにする上で意義がある。莫高窟の造営年代については、石窟に残る紀年銘や文献資料、ならびに美術史・考古学的な比較研究によって数多くの検討がなされてきた。莫高窟は、李懐譲『重修莫高窟仏龕碑』によれば、前秦の建元二年（西暦 366 年）に開かれたとされるが、これらの草創期の石窟は現存しないと考えられている。現存する石窟で、最も早期に属するとされる石窟は、第 268 窟、第 272 窟および第 275 窟の三窟である。ただし、これらの三窟には年代を確定できる材料は残っていないため、その年代については諸説あり、結論が出ていない。壁画の下塗りあるいは塑像の芯材に使用された植物片や木材から得られる放射性炭素年代（^{14}C 年代）は、年代を確定できる人文科学的資料が残っていない場合、年代判定の大きな指標の一つとなる。本研究では、莫高窟初期窟の造営年代を考察することを目的として、加速器質量分析（AMS）による ^{14}C 年代測定を行った結果を報告する。

2. 試料の採取

測定に供する試料の採取は、莫高窟に現存する石窟のうち最も早期に属するとされる、第 268 窟、第 272 窟、第 275 窟の三窟と、莫高窟初期窟で唯一の紀年銘が残されており、編年を考察する上で重要な窟となる第 285 窟を中心に行った。壁画の下塗りあるいは塑像の芯材が露出し、採取によって壁体や塑像が損傷することのない安全な場所から 36 点の試料を採取した。

3. AMS による ^{14}C 年代測定と暦年代への較正

採取した試料を AAA 法で化学処理した後、酸化銅を用いて二酸化炭素に酸化し、真空装置内で精製した。精製した二酸化炭素を鉄の粉末を触媒として水素でグラファイトに還元し、得られたグラファイトから同位体比測定のための検査試料に調製した。同位体比測定は、名古屋大学に設置されている High Voltage Engineering Europe 社製のタンデトロン加速器質量分析計を用いて行った。^{14}C 年代測定に際して用いる ^{14}C 濃度の標準体には、NIST から提供されているシュウ酸（NIST-SRM-4990C, HOxII）を分析試料と同様に二酸化炭素、さらにグラファイトに変えた検査試料を用いた。測定によって得られた各壁画試料および標準体の ^{14}C と ^{12}C の存在比より、$\delta^{13}C_{PDB}$(‰)を用いて炭素同位体分別効果の補正をしたのち、同位体分別補正 ^{14}C 年代（^{14}C 年代）値を算出した。^{14}C の半減期には、Libby の半減期 5568 年を用いた。^{14}C 年代から暦年代への較正は、^{14}C 年代－暦年代較正データ IntCal04 および較正プログラム CALIB Rev. 5.0 を使用して行った。

4. 結果および考察

壁画から採取された試料の ^{14}C 年代の分布範囲を年代の古い順に図 1 に示した。ただし、同じ石窟から採取された試料については、同一のグループとした。誤差は 1 標準偏差を示した。石窟ごとにみていくと、第 275 窟では、試料番号 C275-1、2、3、および 4 についてほぼ同じ ^{14}C 年代が得られているが、C275-5 および 6 の 2 試料では他の 4 試料よりも若い ^{14}C 年代が得られている。C275-5 および 6 の 2 試料とその他の 4 試料の ^{14}C 年代が大きく異なるのは、C275-5 および 6 が、4 試料を採取した壁画の上に後世に描かれた壁画の下塗り層から採取されているためである。第 268 窟から採取された 3 試料からはほぼ同じ ^{14}C 年代が得られている。第 272 窟から採取された 4 試料からも、ほぼ同じ ^{14}C 年代が得られている。第 285 窟では 22 試料を測定

に供したが、これらの試料は 1610～1520BP の範囲に ^{14}C 年代が得られたものと、それより新しい ^{14}C 年代が得られた試料がある。

次に、^{14}C 年代を較正して得られる暦年代の確率密度分布関数を示す。最初期 3 窟（268、272、275 窟）のうち、C275 - 5 および 6 を除く 11 試料の確率密度分布関数を図 2 に示す。C275-1 および C275-2 では、A.D. 380～430 年に確率密度分布の大きなピークがあるが、それ以外の試料では較正年代範囲が A.D. 400-550 年に広くに亘っていることが示される。較正年代範囲の幅が広くなるのは、A.D.430～540 年の間において、^{14}C 年代と暦年代の対応が複雑になっており、1 つの ^{14}C 年代値が 1 つの暦年代に対応しないためである。このようなことから、今回の測定によって得られた理化学的な年代のみから、最初期窟の年代を議論することは難しいと考えられる。現在、さらに精度の高い年代を得るために、この 3 窟よりあらためて試料の採取し、年代測定を行なっている。

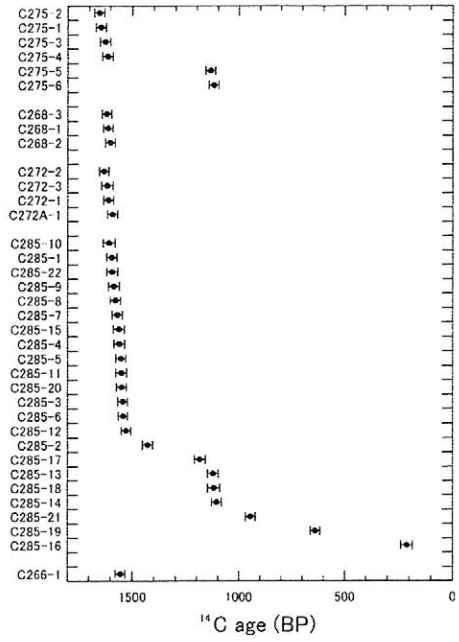


図 1 莫高窟初期石窟試料の ^{14}C 年代

第 285 窟より採取した試料の確率密度分布関数を図 3 に示す。第 285 窟北壁の発願文に残る紀年の暦年代を点線で示した。第 285 窟から採取された試料は、暦年代は広範囲にわたっており、第 285 窟では重修がなされていることがわかる。年代の古い順から 14 点の試料は、いずれも西魏時代の壁画が描かれているとされる壁、あるいは同時代とされる塑像の欠損部から採取されたものであり、第 285 窟の造営年代に深く関わると考えられる試料である。これらが示す較正年代は、この発願文の紀年とほぼ調和的である。重修による壁画や後世に設置されたとされるストゥーパなどから採取されたもの年代を議論するためには、より多くの試料の年代測定が望まれるところである。

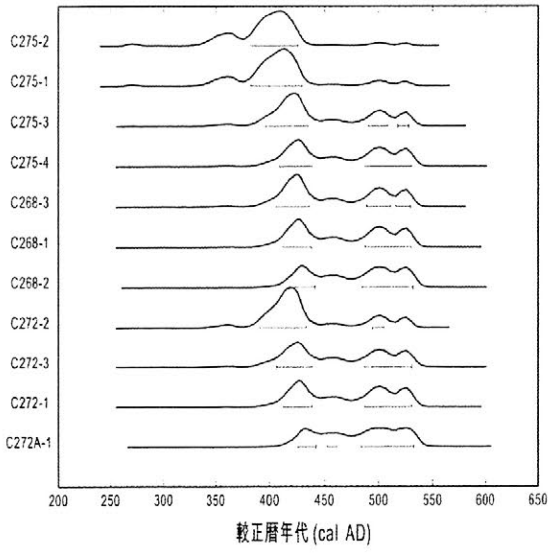


図 2 莫高窟最初期窟より採取した試料の較正暦年代の確率密度分布

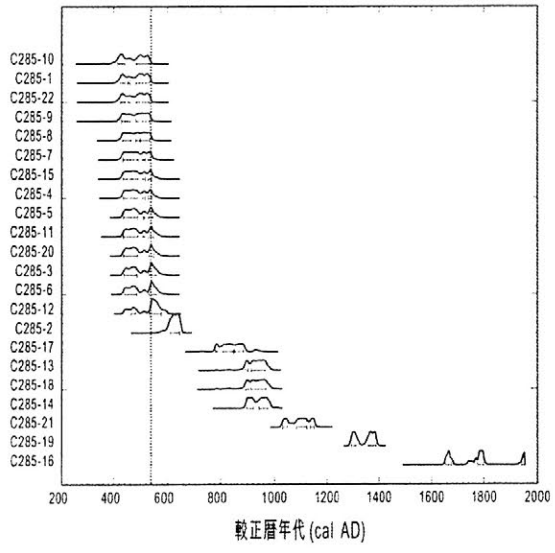


図 3 第 285 窟より採取した試料の較正暦年代の確率密度分布

P−11

北陸地域における環状木柱列の年代観の再検討 -考古学的編年と ^{14}C 年代の比較-

○西本寛　高田秀樹　中村俊夫
名古屋大学大学院環境学研究科　能登町教育委員会　名古屋大学年代測定総合研究センター

はじめに

環状木柱列とは、木材を円形に配置した構造物であるが、用いられている木材が大型（最大径約 1m）であることや、木芯をはずすように半割されていること、また、樹種がほぼクリに限定されることなどから他の建造物とは一線を画す特殊な遺構であったことが予想される。1980 年、石川県金沢市のチカモリ遺跡での検出例を発端に、同県能登町真脇遺跡や、富山県小矢部市桜町遺跡など、能登半島を中心とする日本海沿岸域（今日の北陸地方）において検出例が報告されている。環状木柱列の形成時期については、共伴する土器の型式から縄文時代晩期に位置づけられてはいるが、晩期を細分した際の位置づけについては様々な問題により明確な答えが出されていない。これは、研究者間で晩期の中での時期区分に違いが生じていることや、共伴土器が環状木柱列の年代と完全に一致するのかといった問題に起因する。また、環状木柱列の存続期間についても、土器型式自体が数値年代をもたないために有用なデータを提供することができていない。これらの問題を打開するためには客観的な数値年代を与える必要があるが、そのための手法の一つが ^{14}C 年代測定法である。そこで、本研究では環状木柱列を構成する木材の ^{14}C 年代測定を行い、得られた ^{14}C 年代から環状木柱列の形成時期について考察を行った。さらに、真脇遺跡や桜町遺跡の報告書で報告されている先行研究の ^{14}C 年代を加味して考古学的編年観との比較を行い、縄文晩期の中での位置づけを推定した。

試料と実験

通常、^{14}C 年代測定によって得られる ^{14}C 年代は暦年代とはズレが生じることが知られており、これを修正するためには較正と呼ばれる作業が必要である。しかし、較正によって得られる年代は、確立密度が広がるために精度よく試料の年代を求めることが困難になる場合がある。そこで、本研究では ^{14}C 年代測定に加えウイグルマッチングとよばれる手法を用い、より高精度な年代決定を行った。本研究で対象試料としたのは、真脇遺跡から検出された環状木柱列を構成する木材である。真脇遺跡の環状木柱列は、6 つの環（A-F）が互いに重なり合うかたちで検出されており、切り合い関係をもとに推定される最も古い A 環と最も新しい F 環からそれぞれ木材 2 本を選び、計 4 本の木材を試料とした。ウイグルマッチングを行うには、木材から年輪ごとに試料を採取し、それぞれの ^{14}C 年代を求める必要がある。A 環の木材からは 1 年毎に、F 環の木材からは 5 年毎に年輪試料を採取した。採取した試料から、それぞれ約 10-20 試料を選別して測定試料とした。これらの試料は、1.2mol/l の HCl 水溶液（約 70-80°C, 6h）、1.2mol/l の NaOH 水溶液（約 70-80℃, 6h）により二次的に付加された炭素の除去を行った。さらに、乾燥させた試料を CuO と共に加熱し真空ガラスラインで精製することにより CO_2 ガスを得た。精製済みの CO_2 は、水素により還

元することで、^{14}C 測定用グラファイトを生成した。^{14}C の測定には、加速器質量分析計（HVEE, model 4130-AMS）を用いた。ウイグルマッチングは、それぞれの木材から得られた一連の ^{14}C 年代と、較正曲線 IntCal04（Reimer *et al.* 2004）の X^2 検定により行った。

結果

本研究で行った真脇遺跡の環状木柱列 A 環および F 環の木材のウイグルマッチング結果は以下のように得られた。まず、A 環の木材はそれぞれ 68%の確率で 801+6/-6[calBC]、780+3/-4[calBC]となった。次に、F 環の木材は 68%の確率でそれぞれ 708+12/-13[calBC]、684+9/-3[calBC]といった結果が得られた。これらの結果から推定される形成時期は、誤差を考慮に入れて約 810-680[calBC]と推定できる。しかし、上述した年代はあくまで 68%の確率で得られる結果であり、95%に確率を上げてみると、F 環の年代が BC500 年頃まで含まれてくる。実際に 95%の確率でみたときに推定される形成時期は、約 820-490[calBC]となり、下限の推定年代域が大幅に広がってしまう。これについては、追加測定をするなどして、年代を絞り込んでいく必要がある。

考察

本研究で行ったウイグルマッチングの結果に、これまでに報告されている環状木柱列の ^{14}C 年代を加え、現時点での環状木柱列の数値年代をまとめた。真脇遺跡については、山田（1986）と中村（2006）により ^{14}C 年代が報告されている。ウイグルマッチングまでは行われていないが、^{14}C 年代を較正すると A 環の木材については最も古い年代が 95%で約 900[calBC]、F 環については最も新しい年代が 95%で約 400[calBC]となっている。本研究で行ったウイグルマッチングの結果はこの年代域に収まっており、ウイグルマッチングを行う事で精度よく年代が求められたことを物語っている。環状木柱列の ^{14}C 年代は、桜町遺跡においても報告されている（小矢部市教育委員会 2005）。桜町遺跡では、二つの環（A 環と B 環）が検出されており、切り合い関係からは A 環が古く、B 環が新しいと考えられている。A 環から 1 本、B 環からは 2 本の木材の ^{14}C 年代が求められており、これらを較正すると 95%の範囲で BC1110-830 頃の年代が得られる。較正結果は A 環と B 環の新旧関係を裏付けるほどの精度は無いが、真脇遺跡の環状木柱列よりも明らかに古い年代が得られている事がわかる。これは、遺跡ごとに環状木柱列が作られていた時期に差がある可能性を示唆している。

次に、^{14}C 年代測定によって得られたこれら環状木柱列の年代と、土器付着炭化物の ^{14}C 年代測定により推定される北陸地方の土器型式の年代との比較を行った。北陸地方における縄文時代の土器型式は、晩期前半の御経塚式、中屋式、晩期後半の下野式、長竹式の 4 型式に分けることが出来る。山本（2006）に示されているこれら土器型式の年代を用いると、桜町遺跡の環状木柱列の年代は晩期前半の中屋式から後半の下野式に求められる。一方、真脇遺跡の環状木柱列については晩期後半の下野式から長竹式の範囲内に収まると考えられる。

以上のように、環状木柱列の年代は晩期の一型式に収まるものではなく、ある程度の時間幅をもって存在していたことが推定できる。今後は、各型式の文化的違いに着目しながら年代を論じる必要があるであろう。

P−12

長崎県鷹島沖から回収された元寇関連資料の放射性炭素年代

○中村俊夫（名古屋大学）・山田哲也（元興寺文化財研究所）・松尾昭子（鷹島町教育委員会）・太田友子（名古屋大学）・植田直見（元興寺文化財研究所）

１．はじめに

加速器質量分析（AMS）による放射性炭素（^{14}C）年代測定では，関連する諸技術の発展により高精度，高正確度の年代推定が可能となり，近年，古文化財資料の年代測定に利用する研究が増加している．長崎県北松浦郡鷹島の南岸の海底からは，以前から漁師により壺，船材，碇石などが多数引き揚げられており，鎌倉時代の蒙古襲来と関係づけられてきた．鷹島は，第２回目の襲来にあたる「弘安の役」（AD2781）において，集結した蒙古船が暴風雨に遭って，大部分の軍艦が沈没した場所とされている．これまでにも，^{14}C 年代測定が実施されているが，改めて，形成期間が短くて年代推定に適すると思われる種類の試料を中心に採取を実施し，名古屋大学年代測定総合研究センター所有のタンデトロン加速器質量分析計による ^{14}C 年代測定を行い，史実との関連を検討した．

２．元寇関連資料の採取と試料調製

採取した資料の種類は，シュロ縄，赤ウルシ，竹索（竹製のロープで，石製の碇をつなぐために使用された），炭化籾の４種類である．炭化籾以外は，すべて沈水保存されていた．

採取したシュロ縄，赤ウルシ，竹索，炭化籾試料は，蒸留水に浸して超音波洗浄し，汚れを取り除いた．次に，試料が埋まっていた間に付着した可能性のある，有機態や無機態の炭素含有物からなる不純物を除去するための化学処理を行った．まず試料を，蒸留水を用いて90℃で加熱処理した．次に，1.2 規定塩酸で90℃，２時間の処理を２回行い炭酸塩等を溶解除去した．さらに，1.2 規定水酸化ナトリウム水溶液を用いて 90℃で２時間処理してフミン酸などを溶解除去した．このアルカリ処理を２回繰り返した．さらに，1.2 規定塩酸で 90℃で２時間の処理を２回行い，蒸留水でよく洗浄して塩酸分を完全に取り除いたあと乾燥した．これらの乾燥した試料から炭素を二酸化炭素として回収し，得られた二酸化炭素（炭素にして 1.0−2.0 mg）を，約 3mg の鉄粉末を触媒として水素で還元してグラファイトを得た．次に，グラファイトを乾燥したのちアルミニウム製の試料ホルダーに圧入し，検査試料としてタンデトロン AMS 装置のイオン源に装填した．^{14}C 年代測定に不可欠な，^{14}C 濃度が既知の標準体については，米国国立標準技術研究所（NIST）から提供されている国際的な標準体であるシュウ酸（NIST-SRM-4990C，HOxII）を用いた．シュウ酸の試料調製は，資料の場合と同様にして行った．

３．加速器質量分析計による ^{14}C 年代測定と暦年への較正

シュロ縄，赤ウルシ，竹索，炭化籾試料およびシュウ酸標準体から調製した固形の炭素試料について，タンデトロン加速器質量分析計を用いて ^{14}C 年代測定を行った．タンデトロン分析計では，^{14}C と ^{12}C の存在比（$^{14}C/^{12}C$ 比(=R)）が未知試料（R_{sample}）と ^{14}C 濃度が既知の標準体（R_{AD1950}）とについて測定され，R_{sample}/R_{AD1950} 比が得られる．また，タンデトロン分析計では $^{13}C/^{12}C$ 比も測定できる．測定された R_{sample}/R_{AD1950} 比について，タンデトロン分析計で測定された $\delta^{13}C$ を用いて

炭素同位体分別の補正を行ったのち，試料の ^{14}C 年代値（conventional ^{14}C age: 同位体分別補正 ^{14}C 年代）を算出した（中村，2001）．^{14}C の半減期としては，国際的な慣例に従って，Libby の半減期 5568 年を用いた．^{14}C 年代値は，西暦 1950 年から遡った年数として与えられる．

得られた同位体分別補正 ^{14}C 年代を，^{14}C 年代-暦年代較正データ（IntCal04, Reimer, *et al.*, 2004）および較正プログラム CALIB Rev. 5.0 (Stuiver and Reimer, 1993)を用いて暦年代に較正した．

4．^{14}C 年代測定の結果および考察

試料の $\delta^{13}C$ 及び ^{14}C 年代（同位体分別補正 ^{14}C 年代，conventional ^{14}C age と通称），較正年代（2 標準偏差の範囲）を表 1 に示す．元寇は，「文永の役」（AD1274），「弘安の役」（AD1281）と 2 度の襲来があり，鷹島沖で蒙古の軍船が多数沈没したのは，後者の場合である．しかし，両者の年数の差は 7 年しかなく，両者の年代差を ^{14}C 年代測定で明らかにすることは出来ない．表 1 に示すように，形成・生長期間が短いシュロ縄，赤ウルシ，竹索，炭化籾試料についての ^{14}C 年代およびそれを較正した年代は，「弘安の役」（AD1281）の歴史年代と極めて調和的である．他方，シュロ縄資料 TKSM-1 は，例外的に若い年代を示している．ごく最近の，しかし，大気圏内核兵器実験がまだ本格化していない 1955 年以前に作られたシュロ縄が混入したものと考えられる．

表 1　長崎県鷹島沖海底から採取された元寇関連資料の ^{14}C 年代及び較正年代

資料番号	試料採取地区	試料物質（試料確認番号）	$\delta^{13}C_{PDB}$ (permil)	^{14}C age (BP)	^{14}C 年代を暦年代に較正した年代 (Reimer et al, 2004) * ±2σの暦年代範囲 (probability)	測定番号 (NUTA2-)
TKSM-1	KZK02	シュロ縄 (No.827)	-29±1	79±32	cal AD 1688 - 1730 (26.2%) cal AD 1809 - 1926 (72.4%)	11723
TKSM-2	KZK02	シュロ縄 (No.1302)	-26±1	772±32	cal AD 1215 - 1282 (100%)	11308
TKSM-3	KZK02	シュロ縄 (No.1473)	-25±1	788±33	cal AD 1187 - 1200 (3.0%) cal AD 1206 - 1280 (97.0%)	11309
TKSM-4	KZK02	赤ウルシ (No.1721)	-28±1	781±33	cal AD 1190 - 1196 (1.0%) cal AD 1207 - 1282 (99.0%)	11312
TKSM-5	KZK02	赤ウルシ (No.2-A3-A)	-27±1	736±32	cal AD 1222 - 1294 (100%)	11313
TKSM-6	KZK02	炭化籾（コメ） (No.602)	-24±1	651±30	cal AD 1280 - 1325 (46.0%) cal AD 1344 - 1394 (54.0%)	11725
TKSM-7	KZK02	赤ウルシ (No.2A-2B)	-27±1	743±30	cal AD 1223 - 1289 (100%)	11726
TKSM-8	94-碇	竹索 (Ikari-1994)	-28±1	751±33	cal AD 1220 - 1288 (100%)	11314
TKSM-9	94-碇	竹索 (Ikari-1994)	-27±1	757±33	cal AD 1218 - 1286 (100%)	11315
TKSM-10	94-碇	竹索 (Ikari-1994)	-29±1	748±33	cal AD 1220 - 1289 (100%)	11316
TKSM-11	94-碇	竹索 (Ikari-1994)	-28±1	674±33	cal AD 1271 - 1321 (57.3%) cal AD 1349 - 1391 (42.7%)	11317
TKSM-12	94-碇	竹索 (Ikari-1994)	-29±1	716±32	cal AD 1238 - 1304 (90.2%) cal AD 1364 - 1384 (9.0%)	11727

KZK02: 試料採取地点が神崎港，採取年が 2002 年であることを示す．
94-碇：1994 年に引き揚げられた碇に関連した資料であることを示す．

P－13

統計データによる土器付着炭化物の ^{14}C 年代測定結果の評価

○今村峯雄、坂本稔（人間文化研究機構・国立歴史民俗博物館）

１．はじめに

国立歴史民俗博物館(歴博)ではAMS-炭素14年代測定法を用いて、縄文時代・弥生時代の土器型式編年を実年代によって構築する研究プロジェクトを、2001年来進めてきた。これまでの研究から、土器付着炭化物で得られた炭素14年代値は、木材・木炭・漆など他の共伴遺物の測定値と統計誤差の範囲で一致すること、またそれらを暦年較正して得られる実年代も、年輪年代が得られているケースでは整合的であることが示されている。一方、海産物が少量含まれる場合や低湿地遺跡の資料（宮田ほか、本大会）のように、元素や同位体情報だけからは資料の適否を判断するのが難しいケースがある。こうしたケースは多くはないものの、年代データを評価する際に考慮しなければならない事項である。本研究では、年代値の妥当性をみるために、測定値の出現頻度に注目して炭素14年代値の統計データを解析評価する方法を考えた。現実の縄文時代・弥生時代の炭素14データについて解析を行った例について報告する。

２．炭素14年代値とその出現頻度

炭素14値には、暦年較正曲線で見られるようにある年代で急激に炭素14濃度が変化する領域がある。前800年、前380年前後などにみられる現象である。炭素14年代値ではそれぞれ2600～2700BP、2400～2300BPである。この領域では、測定値の頻度が小さくなるために、分布にギャップが生ずることが予想される。

土器付着炭化物の年代値は、海洋起源のものの場合には見かけ上古い値が得られる。また古い炭素の汚染がある場合も同様で、それらの場合、炭素14年代値の分布にギャップは生じない。炭化物が海洋起源か陸生起源か、動物か植物か、あるいはC3植物かC4植物かなど内容物を推定するのに、同位体比情報や元素比などが用いられる。そこで、炭素14測定値の分布を同位体比や元素比との関係から調べてみた。以下には、炭素13同位体比の場合について記す。

３．外部付着炭化物の場合

図１（右図）は、縄文土器および弥生土器外部の付着炭化物について炭素14年代測定値を炭素13同位体比に対してプロットしたものである。年代測定値には大学・民間の複数のAMS施設のデータが含まれ、おもに±20～±40炭素年の範囲のデータが含まれているが同様に扱った。また、炭素13同位体比は、標準からの偏差値を千分率（permil、‰）で示す$\delta^{13}C$で示してある。

土器外部の付着炭化物は、一般に煤である。土器外部の付着炭化物の炭素・窒素元素比および同位体（坂本、2007）をみると、北海道を除く各地域で時代によらずほぼ同じような組成の特徴をもつ。燃料材は時代を通じて同じようなものが使われてきたことを示唆する。枯れた枝葉などが燃料材であったと推測される。

リグニン質を含む木材は$\delta^{13}C$が25～27‰を示すものが多く、図１(右図)もそれを反映している。結果は2650 BP、2350 BP付近に年代値の明瞭なギャップがみられる。

４．土器内部付着炭化物の場合

図１左図には同様に、内部付着炭化物について、炭素13同位体比に対する炭素14年代測定値の分布をプロットした。内部の焦げは、一般には、食材の調理の際に生じたものと推測される。歴博では酸・アルカリ・酸のいわゆるAAA処理によって十分炭化したものが残存するように前処理を行って測定試料を得ており、食材が十分に炭化せず残った場合に想定される土壌中での

生物学的作用による汚染の効果は少ないとみられる。

海洋生物の $\delta^{13}C$ は-21‰前後に現れるが、陸生のものとの混合する場合を考えると、$\delta^{13}C$ が-25‰前後まで影響が存在しうる。この図でもやはり 2650 BP、2350 BP に年代値のギャップがみられるが、外部炭化物の場合でみられたほどには明瞭ではなく、特に-25‰より重いほうでは明らかにギャップが崩れているのがわかる。海産物による古い炭素の影響と見られる。ただし、C3 植物でもセルロースやタンパクはやや重い方にシフトしているので、数値が-25‰より重いことがすべて海洋生物の混入を意味するものではない。

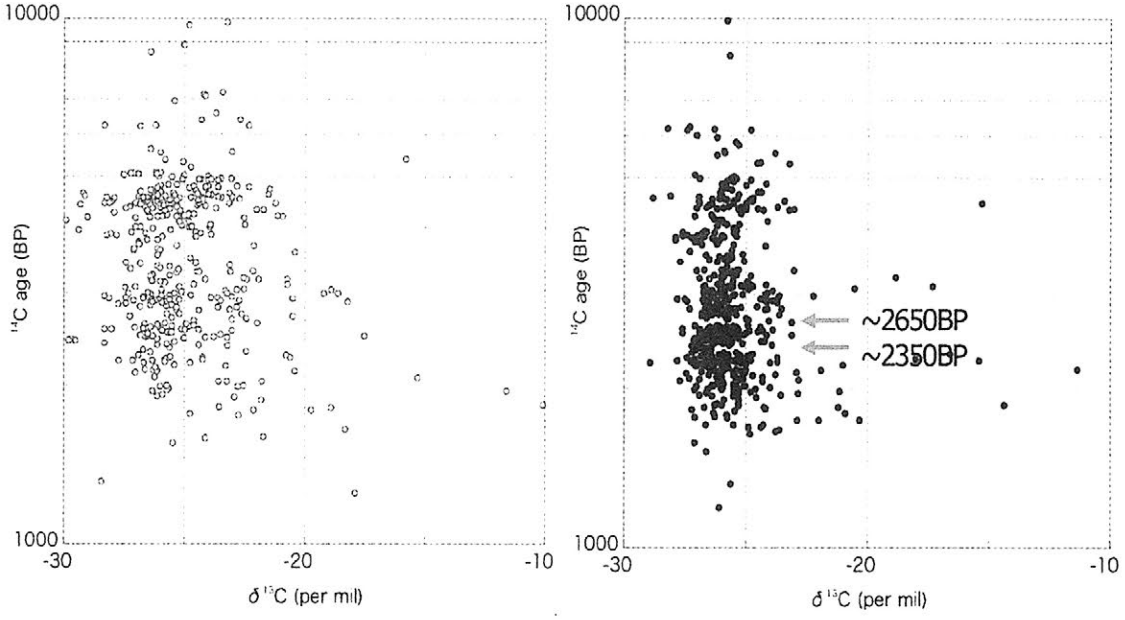


図 1. 土器付着炭化物における炭素 14 年代値と炭素 13 同位体比の分布（左図：内部、N=407、右図：外部、N=575）

5. 考察

土器型式編年の研究では、土器型式で代表される資料群の年代の分布を求めることが目的であるので、外れ値（outlier）がごく少数存在することは大きな問題ではない。実際統計的な揺らぎや、汚染や不適切な資料選択のため外れ値が存在することは避けられない。個々のデータを精査することはもちろん大事であるが、データを統計的に解析しマクロに評価することの方がより重要である。

一般に、個々の年代値そのものの妥当性の評価は、他の共伴資料の測定値との比較や、型式内での年代値の分布および再現性によって行うが、本研究で示したように年代値の分布を解析することで土器付着炭化物の年代値のマクロ評価が可能である。本研究の結果は、土器付着炭化物の炭素 14 測定値を中心に構築した弥生時代の実年代編年の正当性を補強するものと考える。発表では、シミュレーションによる理論的分布との比較、窒素同位体比との相関などのデータも示す予定で、海産物その他の古い炭素による影響のリミットをマクロな観点から定量的に議論したい。

本研究では、全国各地の遺跡からの土器資料の測定値を用いている。測定値は平成 13～15 年度科学研究費補助金・基盤研究 A「縄文時代・弥生時代の高精度年代体系の構築」、平成 16～20 年度科学研究費補助金・学術創成研究「弥生農耕の起源と東アジアー炭素年代測定による高精度編年体系の構築ー」、および国立歴史民俗博物館平成 15~17 年度基盤研究「高精度年代測定法の活用による歴史資料の総合的研究」による成果の一部である。協力をいただいた関係機関・関係諸氏に深謝します。

P−14

琵琶湖周辺の遺跡の炭素14年代と淡水リザーバー効果の可能性

○ 宮田佳樹, 遠部慎, 坂本稔, 今村峯雄
国立歴史民俗博物館

はじめに

琵琶湖沿岸の低湿地にある滋賀県入江内湖遺跡(図1)から出土した土器8破片の内, 外面付着炭化物を炭素年代測定したところ, 内面付着物の年代が外面付着物の年代よりも, 系統的に古い値を示した(Miyata et al., 2007)。

土器内面に付着した調理残査である“コゲ”が,外面に付着した主として燃料材を起源とする“”ススよりも古い炭素年代を示す可能性としては,

1)外面に付着した”ススが”古木効果“の影響を受け, 古い炭素年代を示す場合,

2)何らかの原因により, 内面に付着した“コゲ”の炭素年代が古くなった場合が考えられる。

図1 滋賀県入江内湖遺跡

しかし, これまでの国立歴史民俗博物館年代測定研究グループの2000点以上にわたる土器付着炭化物の炭素年代測定結果によれば, “古木効果”は土器付着炭化物の炭素年代測定結果に対してほとんど影響を及ぼさないことが示されている。

また, 古い有機物が堆積している琵琶湖のような古代湖では, 堆積した古い有機物が分解, 再循環し, 見かけ上古い炭素年代を持つ有機物が湖水に供給されるために, 湖内の魚介類が同時代よりも古い炭素年代を示す“淡水リザーバー効果”の影響を受ける可能性が考えられる。実際, 琵琶湖底から発掘された粟津湖底遺跡第3貝塚(縄文時代中期)の各層から採取された同時代の木片とセタシジミの炭素年代は, それぞれ, ～4600BP と～4900BP であった(中村ら, 1997)。同時に出土した土器は, 船元Ⅰ, Ⅱ式であり, ほぼ木片の～4600BP という年代に合致する。したがって, 縄文時代中期, セタシジミの年代は同時代よりも 300 年古い炭素年代を示していた。もし, 琵琶湖の淡水性の魚介類がこの淡水リザーバー効果の影響を受け, 土器でその魚介類を調理していたとすれば, 調理残査である内面付着炭化物が外面付着炭化物よりも古い炭素年代を示すことは, 十分に考えられる。

そこで, 本研究では, これまで他の琵琶湖沿岸の低湿地遺跡でも観察されてきた, 外面よりも内面付着物の方が古い炭素年代を示すこの現象を琵琶湖における“淡水リザーバー効果”の可能性から考察することを目的とする。

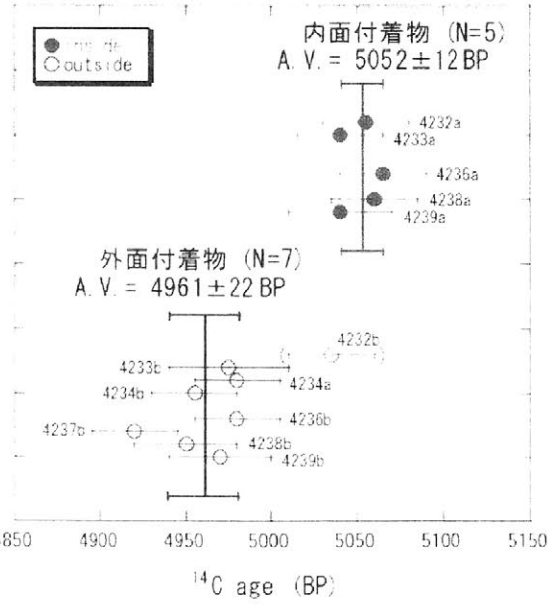


図2 入江内湖遺跡出土土器の内面, 外面付着炭化物の年代測定結果
ただし, SGMB-4232b は統計処理から除く。

結果と考察

研究に用いた土器は，滋賀県米原市入江内湖遺跡から出土した北白川下層Ⅱc式(縄文時代前期)の8つの土器片である。これら土器片の内面，外面からそれぞれ，土器付着炭化物を採取した。採取した付着炭化物は，国立歴史民俗博物館でAAA処理を行い，炭素精製，AMS年代測定は(株)パレオラボ社で行った(一点のみ国立歴史民俗博物館で炭素精製し、東京大学工学部MALTでAMS年代測定を行った)。これらの土器片は，年代測定作業終了後の整理作業段階で，全て同一個体であることが判明した。図2より，SGMB-4232b の年代測定結果を除くと，内面付着物(5053±12 BP; N=5)の炭素年代の方が，外面付着物(4961±22 BP; N=7)の年代よりも，系統的に90 ^{14}Cyr 古い値を示した(t検定を行ったところ，内面と外面は有意水準5%で異なる二つの集合であることが示された。SGMB-4232b は外面付着物であるが，年代が古い方へずれており，統計計算からは除く)。これら土器8破片の内面，外面の炭素年代測定値が系統的にずれているため，この炭素年代差は偶発的なものではなく，統計的に有意なものであると考えられる。したがって，琵琶湖の淡水魚介類が淡水リザーバー効果の影響を受けて、同時代よりも古い炭素年代を持つとするとするならば，この内，外面付着炭化物の炭素年代差は琵琶湖産魚介類を土器で煮炊きした可能性を示しているのかもしれない。

琵琶湖における“淡水リザーバー効果”の存在の可能性を議論するためには，年代既知の淡水性魚介類試料の炭素年代測定結果が必要である。そこで，予察的に，琵琶湖産現生セタシジミを炭素年代測定を行った。2007年12月に採取した貝殻は－160±20BP，1997年12月に採取した貝の身は－430±20BPを示した。明らかに，同時代の大気中の14C濃度よりも低い14C濃度であり，炭素年代に換算すると，それぞれ，同時代から300年以上，100年以上古い値である。この結果は，縄文時代以降，現代まで琵琶湖は“淡水リザーバー効果”の影響を受けている可能性を示唆するものである。特に，琵琶湖水系の炭素年代測定値に関しては，名古屋大学年代測定総合センター中村，南，小田らによる先行研究が数多く存在し，それらの研究結果も湖水中の無機炭素，有機炭素の炭素14濃度は同時代の大気に比べて低い濃度を示しており，本測定結果と矛盾しない。ほんの二点のみの測定結果であるが，現生では貝殻に比べて身の方が古い炭素年代を示した。それは，貝の身が湖水(DIC;溶存性無機炭素)より古い炭素年代を示すPOC(粒子状有機炭素)の影響をより強く受けているためかもしれない。実際，琵琶湖底直上に堆積している有機物(POC源と考えられる)の炭素年代は，堆積年代に比べて1000年～4000年程度古い。また，このDICとPOCの取り込みの差は魚と貝などの生物種の差，生息域の差によっても現れる可能性がある。今後，これらの要因に注目して，現生の生体試料の炭素年代測定を行い，これまでの琵琶湖の炭素年代測定結果(DIC，POC，フミン酸，フルボ酸，堆積物)などと比較することにより，“淡水リザーバー効果”の大きさや生物種による違いなども注意して琵琶湖における“淡水リザーバー効果”の可能性に関して考察していく予定である。

さらに、これまで行われてきた人骨コラーゲンを用いた食性解析同様，土器付着炭化物の安定同位体組成のみからでは，先史時代人の淡水性魚介類の利用を明らかにすることは困難であった。そのため，淡水性の動物性タンパクの摂取が過小評価されている可能性はあるが，それを立証する直接的な証拠もほとんどなかった。したがって，本研究で問題とした琵琶湖の“淡水リザーバー効果”の検討は単に炭素年代の評価に関わる問題ではなく，縄文時代前期以降における琵琶湖周辺の淡水性魚介類の利用を土器付着炭化物を用いて評価する上で，重要な研究に発展していく可能性がある。

本研究は、科学研究費補助金若手(B)「土器付着炭化物を用いた古食性の研究」，「土器付着炭化物及び，土器吸着物を用いた先史時代の食性の研究」(研究代表 宮田佳樹)、学術創成研究「弥生農耕の起源と東アジア－炭素年代測定法による高精度編年体系の構築－」(研究代表 西本豊弘)の成果の支援を受けた。

P−15

AMS年代測定法による弥生時代墳墓の検討
―長崎県宇久松原遺跡の石棺墓と甕棺墓―

○川宿田 好見（鹿児島国際大学）

はじめに

長崎県宇久松原遺跡出土の弥生時代人骨について，加速器質量分析法（AMS法）による放射性炭素年代測定を行った。この地域は弥生時代において再葬のような二次的埋葬の存在が指摘されているが，本遺跡では1基の甕棺墓の中から2体の人骨が出土したものや，型式学的な編年が未確定である石棺墓からも1基から複数体の人骨が出土したものがあるなど，考古学的に興味深い現象が認められる。編年への貢献のためにも，本地域の特色ある墓制を研究する上からも，年代測定の実施は有益であると考える。

ここでは，得られた結果をもとに，本遺跡の埋葬に関する年代に関して若干の考察を加える。

試料について

型式学的に弥生時代前期末頃と判断されるSK030甕棺墓から，成人（壮年）女性人骨と幼児人骨（4～5歳と推定）が出土しており，その関係を考察する一助として分析の対象とした。この甕棺墓からは，イノシシ牙製腕輪2点と，ガラス小玉1点も出土している。また，弥生時代前期～中期とみられる石棺墓で型式の異なる2基について，出土した人骨を対象とした。すなわち，SK025石棺墓の成人人骨，SK027石棺墓の成人人骨である。ただし，SK027石棺墓からは人骨が複数体検出されており，それぞれ測定する必要があるが，今回は1体のみとした。

試料の選別と採取は演者が行い，調整・分析は株式会社パレオ・ラボが実施した，試料は調製後，加速器質量分析計（パレオ・ラボ，コンパクトAMS：NEC製 1.5SDH）を用いて測定された。得られた^{14}C濃度について同位体分別効果の補正を行った後，算出された^{14}C年代，暦年代が得られた。

結果と考察

パレオ・ラボによる分析結果については，表・図のとおりである。なお，SK025石棺墓出土人骨は，採取試料の量的制約のため，十分なコラーゲンが得られず，分析は実施されなかった。

SK030甕棺墓の成人女性と幼児人骨の2体については，暦年較正年代ではほぼ同じ年代を示した。これをもって両者の先後関係や同時埋葬に対する決定的証拠とはできないが，少なくとも両者が比較的近い時期に死亡したということは，考古学的調査結果と調和する。したがって，解剖学的検討を含めたそれぞれの骨の重複関係という，一種の層位学的方法によって両者の先後関係を決定すべきである。出土状況から成人人骨と幼児人骨における追葬・再葬の有無について言及するためには十分な検討を要するが，両者の考古学的先後関係のみについては，成人女性よりも幼児人骨が後から埋葬された可能性が高いように思われる。

なお，本甕棺墓は弥生時代前期末のものであり，弥生時代前期と中期の境が概ねBC400年頃にあるとすれば，今回の測定結果は妥当な結果が得られたといえよう。さらに，本甕棺墓からはイノシシ牙製腕輪2点と，ガラス小玉1点が出土している。特に，ガラス小玉については日本において極めて古い部類に属するものであり，貴重な資料といえる。今回の測定は，はからずも，その年代を考察する手がかりを得たことになる。

SK027から出土した人骨も測定を行った。本遺構からは複数個体の埋葬人骨が出土している。測定において得られた年代はそのうちの1体のものであり，SK030とほぼ同時期か，若干新しい中期に該当する年代が得られた。この石棺墓は弥生時代前期末から中期前半にかけての埋葬が存在

表　放射性炭素年代測定および暦年較正の結果

測定番号	試料	$\delta^{13}C$ (‰)	暦年較正用年代 (yrBP±1σ)	^{14}C 年代 (yrBP±1σ)	^{14}C年代を暦年代に較正した年代範囲	
					1σ暦年代範囲	2σ暦年代範囲
PLD-9046	SK030甕棺墓出土人骨(成人女性)	-16.77±0.16	2299±24	2300±25	400BC(68.2%)370BC	410BC(84.7%)350BC 290BC(10.7%)230BC
PLD-9047	SK030甕棺墓出土人骨(幼児)	-18.66±0.24	2276±26	2275±25	400BC(52.5%)350BC 280BC(15.7%)250BC	400BC(57.0%)350BC 300BC(38.4%)210BC
PLD-9049	SK027甕棺墓出土人骨(成人男性)	-27.53±1.17	2203±166	2200±170	410BC(68.2%)10AD	800BC(95.4%)150AD

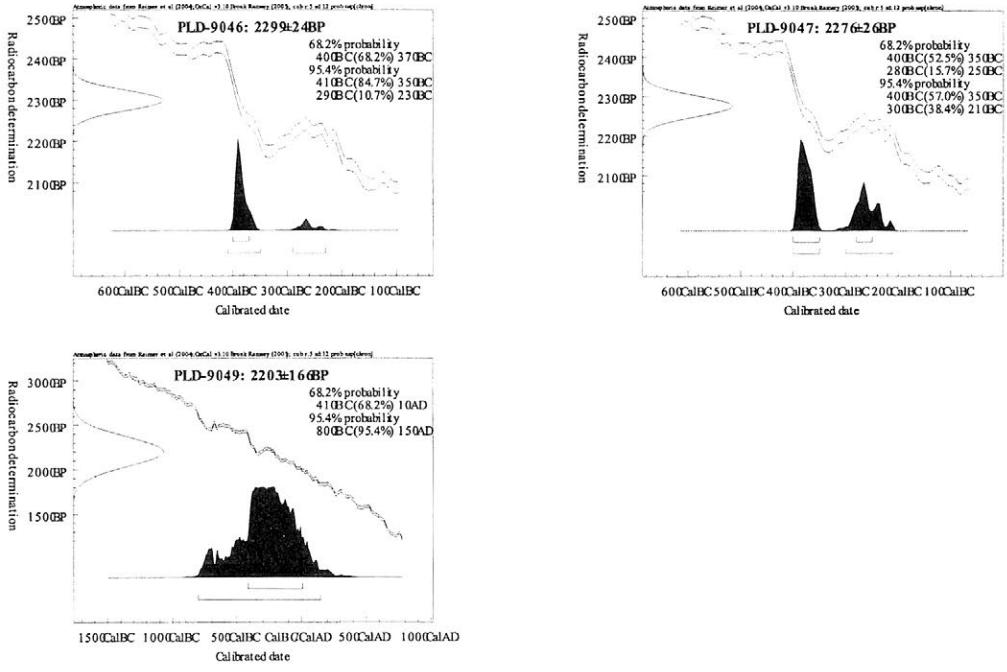


図　暦年代較正結果

する地点の一角にあるものであり，測定結果はそうした考古学的知見と矛盾しない。今後，各個体の年代測定がそれぞれ可能となれば，追葬・再葬についての解釈や追葬期間などについての豊かな情報が得られることになろう。

SK025とSK027は型式を異にする石棺墓であり，両者の先後関係の手がかりとして今回の分析が期待されたが，残念ながらSK025の人骨については測定不能であった。現在試料を追加して分析中である。

今後新たに数点の分析を行う予定である。^{14}C年代測定結果と考古学的コンテクストを合わせて考察することは，今後，考古学的解釈を行ううえで必須のものとなろう。今回の宇久松原遺跡の調査では，墓壙の切り合いが判明し，墓の先後関係を知る手がかりが得られるという光明が見出せたが，暦年代情報を知る意義は減少することはないであろう。追再葬の検討に年代測定の結果を踏まえることで，弥生社会の葬送システム・葬送行為の解明につながることを期待したい。

本報告は演者に与えられた平成19年度パレオ・ラボ「若手研究者を支援する研究助成」の成果の一部である。

P−16

アムール下流域・マラヤガバニ遺跡における新石器文化編年の検討

○國木田大、吉田邦夫（東京大学）、I. Shevkomud（極東国立博物館）、大貫静夫、熊木俊朗（東京大学）、
福田正宏（東北芸術工科大学）、A. Konopatskii（ノボシビルスク教育大学）

1．はじめに

ロシア・アムール川下流域は、北方のシベリア寒冷帯遊動社会と南方の極東寒温帯定住社会との接触地域であるとともに、サハリンを通じた北海道との関係論の中で、縄文時代早期の石刃鏃文化や5世紀～13世紀頃に展開したオホーツク文化などの話題で触れられ、研究者の高い関心が寄せられてきた。しかし、このような関心事とは裏腹に、確固とした文化編年が確立していないのが現状で、必ずしも十分な議論がなされているわけではない。各文化の具体的な数値年代や存続期間の解明が急務といえるが、堆積環境の問題や土器付着物の海洋（淡水？）リザーバー効果の影響により容易ではない。本発表では、①考古学的コンテクストの明確な遺構出土炭化物と土器付着物の ^{14}C 年代値の比較検討、②$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$、C/N比を用いた各文化の大まかな食性分析について報告を行う。

2．測定資料および試料の調製・測定

測定資料は、ロシア・ハバロフスク地方ウリチ地区スサニノ村から約7km上流側に位置するマラヤ・ガバニ遺跡の資料で、発表者が直接資料採取を行った。これまでに新石器時代前期から初期鉄器時代にかけての資料を中心に、遺構出土炭化物など18点、土器付着物19点の計37点の測定を行った。測定試料の調製は通常の方法に従って行った。木炭は80℃, 1.2MNaOH水溶液で処理した。土器付着炭化物の処理は、試料が全て溶解しない程度にとどめた。測定は、東京大学工学系研究科に設置されているAMS装置を用いて行い、$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$、C/N比の測定は東京大学放射性炭素年代測定室のEA-MSシステム（MICROMASS社製、The Isoprime EA System）を用いて測定した。

3．測定結果

[遺構出土炭化物と土器付着物の年代値比較]

東北アジア地域における土器付着物年代値は、海洋リザーバー効果の影響により、古く算出されることが多い。その原因は、太平洋北西部に存在する古い炭素を含んだ海洋深層水の影響を受けた海洋資源（遡上性のサケも同様）にあると考えられる。現在までの北海道の報告例では、約300～800 BP程度古く算出されており（國木田ほか2006）、アムール河口域でも初期鉄器時代初めのコッピ文化の段階で、約500 BP程度の年代差がある（坂本2007）。

今回の測定試料では、コンドン、ベリカチ、マリシェボ文化、河口域ウリル系3期の時期で、すべて土器付着物の方が遺構出土炭化物より年代値が古く、その年代差は150～810 BPの範囲であった。各時期における土器付着物の年代値はややばらつくものの、約500～600 BP古い値のものが多く、新石器時代を通じて同じ傾向を示す。土器付着物年代値の分散が、各土器個体のリザーバー効果の影響の度合いを反映しているのかどうかは、土器型式の細分も含めて今後検討したい。

[$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$、C/N比を用いた食性分析]

土器付着炭化物は、$\delta^{13}C$、$\delta^{15}N$、C/N比を用いて非常に大まかな食性分析が可能である。今回の測定では、外面の資料2点以外は非常にまとまっており、各時期における土器付着内容物に比較的差がないことが分かった。その内容物の由来は、海洋資源の影響が強いと考えられるものの、$\delta^{13}C$が陸域の領域に寄っているので評価が難しい。いずれにせよ、Nの含有率と$\delta^{15}N$が高いことから、動物または魚類資源の影響が高い付着物といえる。まだ資料数が少ないが、初期鉄器時代のウリル系資料の分布が、やや他の資料と異なっている可能性があり、新石器時代から初期鉄器時代への移行期に食性の変化があったかもしれない。坂本（2007）のゴールィ・ムィス1遺跡出土のウリル文化の分析結果では、さらに分布が陸域に寄っているため、「淡水リザーバー効果」の影響も示唆されている。

4．まとめ

マラヤ・ガバニ遺跡の居住時期は大きく4時期あり、その数値年代を得ることができた【コンドン（7500？～6200 BP）、ベリカチ・マリシェボ（5000 BP 前後）、ヴォズネセノフカ（4100 BP 前後）、河口域ウリル系 3 期（2500 BP 前後）】。また、付着物の年代からベリカチ文化は、マリシェボ文化に先行する可能性が高い。コンドン文化→マリシェボ文化への変遷を明らかにした年代値は、これまでに皆無といえるので、今回の結果の意義は大きいと考えられる。今後は、コンドン文化の詳細な編年を解明し、北海道の石刃鏃文化との年代的な関係を議論したい。

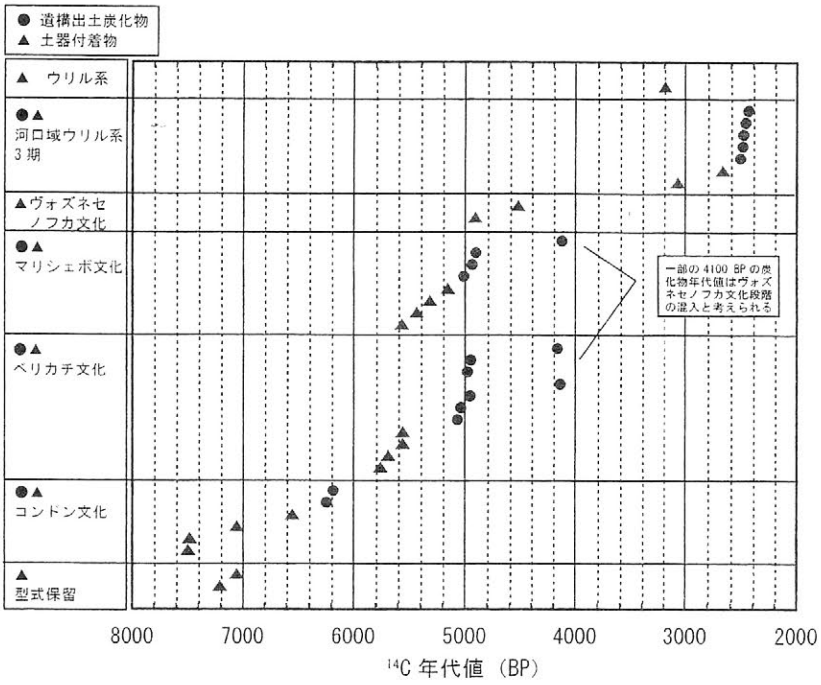


図1　遺構出土炭化物と土器付着物の ^{14}C 年代値

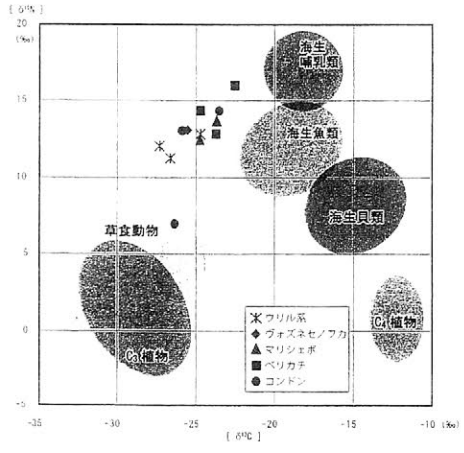


図2　土器付着物の炭素・窒素同位体比

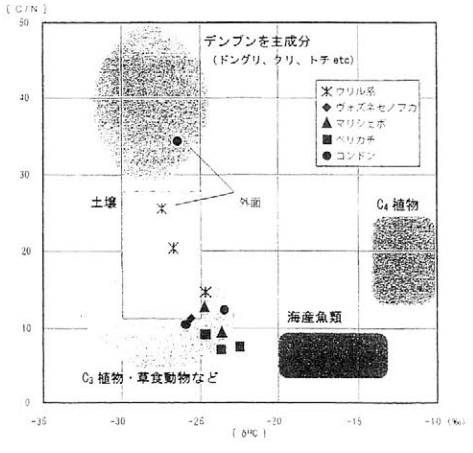


図3　土器付着物の炭素同位体・C/N

【引用文献】

國木田ほか（2006）「北海道における土器付着炭化物と木炭の年代差」、『第 9 回 AMS シンポジウム（Proceedings）』

坂本稔（2007）「炭素 14 年代法による北海道・ロシア連邦出土遺物の較正年代の検討」、『北海道における古代から近世の遺跡の暦年代（科研報告書）』

P−17

アンコール遺跡（カンボディア）の木材に対する ^{14}C 年代測定

○内田悦生（早稲田大学理工学術院）・オリビエ=クニン(Centre for Khmer Study)・
下田一太（早稲田大学理工学研究所）・田久保豊・中川武（早稲田大学理工学術院）

1．はじめに

アンコール遺跡は9世紀から13世紀にかけて建造されたヒンドゥー教・仏教寺院である。アンコール遺跡では、主として、砂岩、ラテライトおよびレンガが建築材料として用いられているが、それに加えて、屋根部や少量ながら開口部の上枠や梁等として木材が使用されている。屋根部の木材は朽ち果て、現在では完全に失われているが、開口部上枠材や梁等の建造物内部に使用されている木材は、幾つかの遺跡で残存している。この残存している木材が創建当時のものであるのか、または、後世のものであるのかといった疑問があるとともに、当時のものであるならば建造時期を新たな角度から推定することが可能となる。本研究ではこのような目的から、残存している木材に対して ^{14}C 放射性炭素年代測定を実施した。

2．年代測定方法

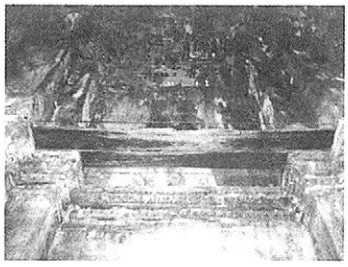
Table 1に示した15の木材試料片に対して ^{14}C 放射性炭素年代測定を行った。処理および測定は(株)パレオ・ラボに依頼した。木材試料は、超音波煮沸洗浄後、酸－アルカリ－酸処理（AAA処理）を行った。処理した試料を燃焼させ、二酸化炭素に変化させたのち、この二酸化炭素を還元しグラファイトを得た。

得られたグラファイトは、Paleo Labo Compact AMS system（NEC社製）を用いて ^{12}C、^{13}C、および ^{14}C 濃度の測定を行った。測定結果に対して同位体分別効果に対する補正を行った後、暦年較正プログラム OxCal 3.10 を用いて暦年較正を行った(Bronk Ramsey, 1995; 2001)。なお、較正曲線には INTCAL04 を用いた(Reimer et al., 2004)。

3．測定用木材試料、測定結果及び考察

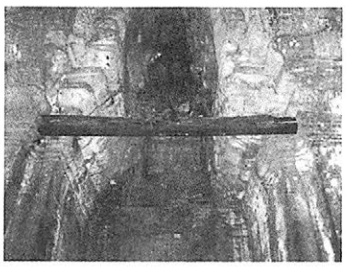
アンコール遺跡の主要遺跡の中で木材の残存が確認されたのは次の 8 遺跡である：Bakong、Lolei、Baksei Chamkrong、North Khleang、Angkor Wat、Banteay Kdei、Bayon、West Gate of Angkor Thom（建造順）。放射性炭素年代測定は、これらの遺跡から採取した15の木材試料に対して実施した。代表的な木材の産状をFigure 1に示す。分析試料は木材表面から採取した。なお、断面を観察することができないことから年輪との関係は不明である。Table 1には、分析に供した15の木材試料の遺跡名、産出場所、産状、とともにAMS分析によって得られた $\delta^{13}C$ 値、^{14}C 年代および暦年代範囲（1σ、2σ）に示す。

Sample no. 2003　Lolei：開口部上枠材



Sample no. 1928　Angkor Wat：内回廊北西塔天井板

Sample no. 1929　Angkor Wat：内回廊北西塔扉軸受材



Sample no. 1916　Angkor Thom：西門北側梁材

Figure 1 アンコール遺跡における木材の産出状況

Table 1 アンコール遺跡における木材の産出場所およびその^{14}C年代測定結果

Laboratory no.	Sample no.	Monument	Sampling point	Occurrence	$\delta^{13}C$(‰)	^{14}C age (yrBP±1σ)	2σ calibrated ^{14}C age (probability)
PLD-6414	1916	West Gate of Angkor Thom	Lower tie beam in the north side	Tie beam	-26.81±0.17	830±20	AD 1170-1260 (95.4%)
PLD-6901	1919	North Khleang	Door opening in the south inner wall under the central tower	Head frame	-25.66±0.16	935±20	AD 1030-1160 (95.4%)
PLD-6902	1920	Baksei Chamkrong	Door opening	Head frame	-25.70±0.17	630±20	AD 1280-1330 (38.6%) AD 1340-1400 (56.8%)
PLD-6415	1921	Bayon	Middle door opening in the south part of the central tower	Head frame	-25.68±0.15	810±20	AD 1180-1265 (95.4%)
PLD-6903	1922	Bayon	Inner door opening in the south part of the central tower	Head frame	-25.04±0.18	820±20	AD 1180-1270 (95.4%)
PLD-6416	1923	Bayon	Middle door opening in the east part of the central tower	Crossbeam with pivot hole	-27.09±0.16	890±20	AD 1040-1100 (28.5%) AD 1120-1220 (66.9%)
PLD-6417	1924	Bayon	Inner wall in the east part of the central tower	Horizontal wood in the inner wall	-25.05±0.16	900±20	AD 1040-1210 (95.4%)
PLD-6904	1925	Banteay Kdei	Central tower	Ceiling bracket	-25.87±0.19	905±20	AD 1030-1210 (95.4%)
PLD-6905	1926	Angkor Wat	East door opening in the north Gopura of the Middle Gallery	Crossbeam with pivot hole	-26.02±0.17	975±20	AD 1010-1060 (43.2%) AD 1070-1160 (52.2%)
PLD-6906	1927	Angkor Wat	West door opening in the north Gopura of the Inner Gallery	Crossbeam with pivot hole	-24.53±0.15	910±20	AD 1030-1190 (95.4%)
PLD-7676	1928	Angkor Wat	Northwest tower in the Inner Gallery	Ceiling board	-28.91±0.22	190±20	AD 1650-1690 (20.1%) AD 1730-1810 (54.8%) AD 1920-1960 (20.5%)
PLD-6907	1929	Angkor Wat	South door opening in the northwest tower of the Inner Gallery	Crossbeam with pivot hole	-25.55±0.17	1020±20	AD 980-1040 (95.4%)
PLD-7677	1930	Angkor Wat	East door opening in the southwest tower of the Inner Gallery	Crossbeam with pivot hole	-30.59±0.20	265±20	AD 1520-1570 (20.3%) AD 1630-1670 (67.9%) AD 1780-1800 (7.2%)
PLD-6908	1931	Bakong	Door opening in the southwest brick tower	Head frame	-26.93±0.14	1270±25	AD 670-780 (95.4%)
PLD-7028	2003	Lolei	Door opening in the southwest brick sanctuary	Head frame	-25.69±0.14	1280±20	AD 670-780 (95.4%)

4．まとめ

今回測定した木材の放射性炭素年代測定結果は、Baksei Chamkrong の出入り口上枠材、Angkor Wat 内回廊北西塔の天井板および南西塔の軸受け材以外はオリジナルのものである可能性が高いことを示している。また、North Khleang 中央塔下部の内壁開口部の木材の放射性炭素年代測定結果は、この部分が後の増築によって建造されたことを支持するものである。

P−18

Lake Megata 2006 Project: 湖沼年縞堆積物による古環境復元

○米延仁志（鳴門教育大学大学院学校教育研究科），山田和芳（国際日本文化研究センター），五反田克也（千葉商科大学政策情報学部），北川淳子（国際日本文化研究センター），篠塚良嗣（北海道大学大学院地球環境科学研究院），奥野充（福岡大学理学部），斎藤めぐみ（国立科学博物館地学研究部），原口強（大阪市立大学理学部），安田喜憲（国際日本文化研究センター），Lake Megata 2006 Project Members

はじめに

東アジアモンスーンは地球気候システムの重要な構成要素の一つである。その変動は人口稠密な東アジア地域の社会・経済活動に大きな影響を与えるが、近年の気候変動の将来予測では地球温暖化傾向に伴う気候の急変や異常気象の多発化が懸念されている。一方で、こうした予測は限られた百年以下の短い観測データをもとにしている。そこで、代理となる古環境記録（プロキシーデータ）を用いて長期間・高時間分解能での古環境を復元することは環境変動の性質を理解するために極めて重要である。プロキシーデータは様々な試料から得られる。代表例としては海底、湖沼あるいは氷床から得られるボーリングコア、洞窟内生成物、樹木やサンゴの年輪、古文書などがあり、それぞれ環境復元が可能な期間や時間分解能が異なる。これらの中では樹木年輪が時間分解能と年代決定精度の点で最も優れているが、最も長期間にわたるものでも過去約1万年程度である。一方、近年では、年縞を持つ湖沼堆積物を利用することで、樹木年輪に肉薄する精度でより長期間にわたる古環境復元を目指す研究が世界各地で進展しつつある。

Lake Megata 2006 Project

本発表では現在、日本で進行している湖床掘削プロジェクトのひとつ Lake Megata 2006 Project について紹介する。このプロジェクトでは、2006年11月から12月にかけて秋田県男鹿半島西部に位置する一の目潟でボーリング調査が行われた。目潟は、火山のマグマ水蒸気爆発で形成された3つの火口湖から成り、これらのうち最大のものが一の目潟である。

プロジェクトの主な研究目標は以下の通り。(1)年縞計数、^{14}C 年代、イベント層（広域およびマイクロテフラ、攪乱層）を併用した高精度編年、(2)花粉スペクトルによる植生変遷および古気候の復元、(3)古地磁気測定による堆積物の供給源と運搬機構、それらに関与する環境システムの変動の解明、(4)珪藻分析による湖水環境の変遷史の解明、(5)地球化学分析による周辺環境の復元とモンスーン強度の復元、(6)音響探査による湖底と周辺地形の3次元デジタルマップ作成と地質構造の解析など。さらにヒノキ・

スギなど本邦産樹木年輪による気候復元や他地域のプロキシーデータとの対比・検証も計画している。

これまでの成果

音響探査

3次元デジタルマップが完成した。また音波反射強度の解析から表層付近のタービダイト層の構造を視覚的に明らかした。

ボーリング調査

調査では、掘削深度を厳密に調整しながら近接した平行に複数のボーリングを行なうことで、完全に連続した古環境記録を得ることを目標とした（コア1ストロークの長さは1m)。そのためにコア採取直後に柱状のコアを半割、断面の写真撮影、特徴的な堆積層（鍵層）の記載およびストローク間で抜け落ちた深度範囲のチェックを行った。また古地磁気解析のために定方位でのサンプリングを行った。その結果、合計3本のコアで全くギャップの無い試料採取に成功した。

編年

テフラ層の分析では、白頭山苫小牧(B-Tm)、鬼界アカホヤ(K-Ah)、浅間草津(As-K)姶良Tn(AT)などの代表的な広域テフラが検出された。またコア全長(約38m)で80点の^{14}C年代が得られた。年縞計数については表層部分で地震や人為活動の記録と対比し、良好な一致が得られた。すなわち現在のところ一の目潟に含まれる葉理は年層と考えて差し支えない。

花粉分析

試料を1cm間隔で採取した。現在のところ110点の分析が終了し、主として過去5000年の植生の変化が明らかになった。

地球化学分析

炭素・窒素・イオウなどの含有量測定から生物生産量と夏期の水温躍層の強化度が明らかになった。また、ICP法、マイクロXRF法を用いた堆積物中の無機物質の微量定量分析を実施している。

なお、これらの結果はポスターで詳細を発表する。

P−19

1669年に起きたシャクシャインの戦いの「遠因」について

○添田雄二（北海道開拓記念館）

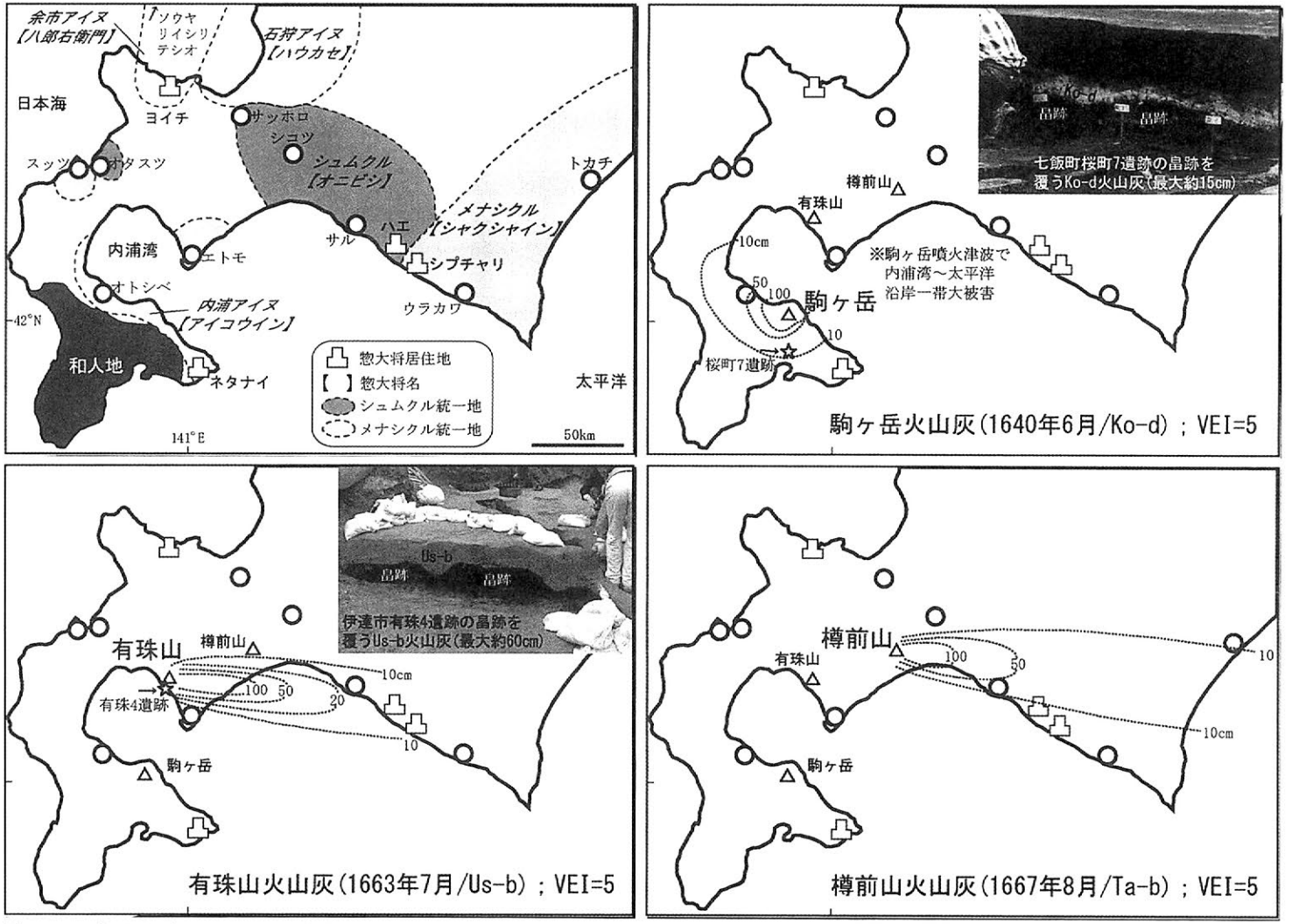
北海道で1669年に起きたアイヌ民族の大きな戦いは、アイヌ同士の漁業権の争いに端を発したが、やがて松前藩に不満を抱えていたアイヌがシャクシャインの呼びかけに呼応し、同藩との大戦に発展したものといわれている。氏家（2006）は、この戦いが起きた背景にはいくつかの原因があるとし、その一つとして、当時の度重なる自然災害が藩財政を圧迫したことをあげている。また徳井（1993）は、1640年駒ヶ岳、1663年有珠山、1667年樽前山の各噴火による大量降灰で自然や生活環境が悪化したことが、この戦いに間接的に作用しているとした。いずれにせよ、当時藩財政が困窮しアイヌ民族に圧政を行ったことが大戦に発展した原因の一つである。そこで藩財政を圧迫させた要因として、徳井らのデータをもとに自然災害や小氷期との関連を考察した。

まず、上記3火山噴火のVEI（火山爆発度指数）は全て5で（町田・新井，2003）、「数百年か数千年に一度しか発生しない爆発的巨大噴火」である（町田・森脇，1994）。VEI=4～5以上の場合、火山ガスの影響によって、噴火後数ヶ月～数年にわたって地球表面が寒冷化することが知られ、上記3噴火の場合は0.2～0.3℃低下したとされている(町田，森脇，1994)。このことは、もともと小氷期で厳寒であった気候をさらに寒冷にしたと考えられる。1640年駒ヶ岳噴火の記録にも、翌朝から暗闇と化し4日間降灰が続いたとある（北海道編，1989）。また各火山灰の分布を見ると(第1図)、数km～数十kmにわたって厚さ1m以上も堆積し、1663年有珠山噴火の記録にも「付近のアイヌ家屋焼失・埋没．アイヌの死者多数」とある(北海道編，1989)。さらに、上記3噴火は作物の成長・栽培にとって最も重要な6～8月に発生した。各火山の近くに位置する畠跡では、直上にこれらの火山灰が厚く堆積し（第1図）、埋没した畠を放棄したことが伺える（山田・椿坂，2006；山田，2008）。また、古文書に記された北海道の飢饉は、1600年代前半にも確認できる。

以上のように、当時の北海道は火山灰による大被害を受けたことに加え、小氷期との相互作用により、寒冷下において物資や食糧が不足していたと推定される(添田・山田，2008)。そして藩の財政基盤を蝦夷地での独占的な交易から得ていた松前藩を圧迫したと考えられる。本発表では、1669 年の戦いの「遠因」として、小氷期と自然災害の相互作用が藩財政を圧迫していた可能性をのべる。

なお、本研究の成果は、北海道開拓記念館第 4 次北方文化共同研究事業「北方の資源をめぐる先住者と移住者の近現代史」および、日本学術振興会科学研究費補助金若手研究Ｂ「アイヌ文化期における小氷期とその影響に関する基礎研究」(課題番号：20720215、研究代表者：添田雄二)によるものである。

引用文献：氏家　等，2006，アイヌ文化と北海道の中世社会，北海道出版企画センター；徳井由美，1993，火山灰考古学，古今書院，194-206；町田　洋・新井房夫，2003，新編火山灰アトラス，東京大学出版会；町田　洋・森脇　広編，1994，火山噴火と環境・文明．思文閣出版；北海道編，1989，新北海道史年表，北海道出版企画センター；山田悟郎，2008，北海道開拓記念館研究紀要，36，37-56；山田悟郎・椿坂恭代，2006，科学研究費補助金基盤Ｂ「雑穀資料からみた極東地域における農耕受容と拡散過程の実証的研究」（課題番号 16320110，研究代表者：小畑弘己）中間研究発表論文集，極東先史古代の穀物2，熊本大学，15-26；添田雄二・山田悟郎，2008，本要旨集，古環境-8.



第1図　寛文期(1661～1672年)におけるアイヌ社会の地域的統一(海保，1974を基に作図)と各火山灰の等層厚線図
(町田・新井，2003を基に作図．ただし層厚10cm以上のみを表示)　　写真提供：山田悟郎氏

P－20

日本産樹木による古気候復元の試み

○大山幹成（東北大学植物園）・米延仁志（鳴門教育大学学校教育学部）・星野安治（東北大学植物園）

【緒言】

樹木は主として気候の影響を受けながら、年輪を形成する。この年輪成長と気象要素との応答を解析し、気象観測データがない時代の古気候を復元する分野が年輪気候学である。地球温暖化のような気候変動が憂慮される現在、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 4 次レポートでは、樹木年輪を含めた代理データによる気候復元の成果が、地球温暖化を確実視する科学的根拠の一つとして取りあげられている。

従来の年輪気候学研究は、主として、気象条件が厳しい高緯度、高標高の地域において盛んに行われてきたが、中緯度に位置する日本を含む東アジア地域は年輪データの少ない空白域であった。しかし、近年、この地域においても気候復元が可能であることが示されつつあり(例えば Yonenobu and Eckstein 2006)、地球規模での気候システムを解明する上でも、東アジアモンスーンの強い影響下にある同地域における気候復元は注目を集めている。また、人間活動に影響を及ぼしてきた古環境や災害記録の復元という観点からも年輪による高精度の気候復元は重要である。

本報告では、発表者らが現在進めている日本産樹木における気候復元を概括すると共に今後の展望について述べる。

【試料】

針葉樹としてヒノキ科のスギ（秋田県藤里、高知県魚梁瀬）、ヒノキ（長野県木曽）、ヒノキアスナロ（青森県津軽）、広葉樹としてブナ科のブナ（青森県下北）の現生木円盤試料を各数十点収集した。

【方法】

各試料に複数測線を設定し、年輪幅計測器を用いて、0.01mm 単位で年輪幅の計測を行った。ヒノキアスナロについては、試料の薄切片化とソフト X 線による撮影を行い、Windendro(Reagent 社製)を用いて、平均年輪密度、最大密度も計測した。

得られた年輪時系列を標準化し、樹種、地点ごとにクロノロジーを構築した後、隣接する気象台の気象データ（月平均気温、月降水量）と年輪成長間の応答解析（単相関および応答関数解析）を行った。この解析結果をもとに、重回帰分析により、年輪データを独立変数、気象データを従属変数とする気候復元モデル式を作成し、その検定を行った。

【結果と考察】

クロノロジーの信頼性の目安となる EPS(Wigley et al. 1984)が 0.85 以上となるクロノロジーの全長は、スギで 217 年と 256 年（秋田：1786-2002、魚梁瀬：1750-2005）、ヒ

ノキで 283 年（1719-2001）、ヒノキアスナロで 243 年（1760-2002）、ブナで 162 年（1843-1994）であった。

応答解析の結果、ヒノキ科に属するヒノキ、ヒノキアスナロ、スギはいずれの地点においても、前年夏の気温と有意な負の相関、当年冬～春の気温に有意な正の相関を示し、共通した傾向があることが明らかとなった。一方、ブナは対照的に前年夏の気温と有意な正の相関を示し、当年春の気温と有意な負の相関を示した。また、ヒノキアスナロの平均密度、最大密度は、前年夏の気温と有意な正の相関、当年夏の気温と有意な負の相関を示した。

この応答解析の結果から、各地点において、気候復元モデル式を検討したところ、スギで 4 月（秋田）と 1-3 月（魚梁瀬）、ヒノキアスナロ（青森）で前年 7-8 月、ヒノキ（長野）で 2-4 月、ブナ（下北）では 7-8 月の平均気温を復元するモデル式が最も復元能力が高いことが確認できた。なお、このとき各モデル式の決定係数（r^2）は、0.20～0.28 であった。気温の復元値と実測値について、年輪気候学で一般的に用いられる各種検定を行ったところ、ほとんどのケースで、基準を満たし、供試した日本産樹木が十分な気候復元能力を有していることが明らかとなった。特に数十年スケールで実測値と復元値の傾向がよく一致していた。また、復元値と既存の文献記録、他の代理データによる気候復元値との比較検討も行っている。

今後は、東アジアにおける気候場復元に向け、さらなるクロノロジーのネットワーク構築と延長を進めていく必要がある。

応答解析結果

樹種	試料採取地点	気象台	解析期間	前年		当年		
				夏	秋	冬	春	夏
ヒノキアスナロ	青森	青森	1886-2002	−			+	
スギ	秋田	秋田	1886-2003	−		+	+	
ヒノキ	長野	高山	1900-1961	−		+	+	
スギ	高知	室戸	1922-1988	−	+	+	+	
ブナ	青森	青森	1886-1994	+			−	

注：月平均気温との単相関解析の結果のみを示す。＋：正の相関（$p<0.05$），－：負の相関（$p<0.05$）

【引用文献】

Wigley, T.M.L., Briffa, K.R., Jones, P.D., 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23, 201-213.

Yonenobu, H. and Eckstein, D., 2006. Reconstruction of early spring temperature for central Japan from the tree-ring widths of Hinoki cypress and its verification by other proxy records. Geophysical Research Letters, 33, L10701, doi: 10.1029/2006GL026170.

P−21

横尾遺跡における縄文時代早期後葉以降の遺体群集の検討と環境の変遷

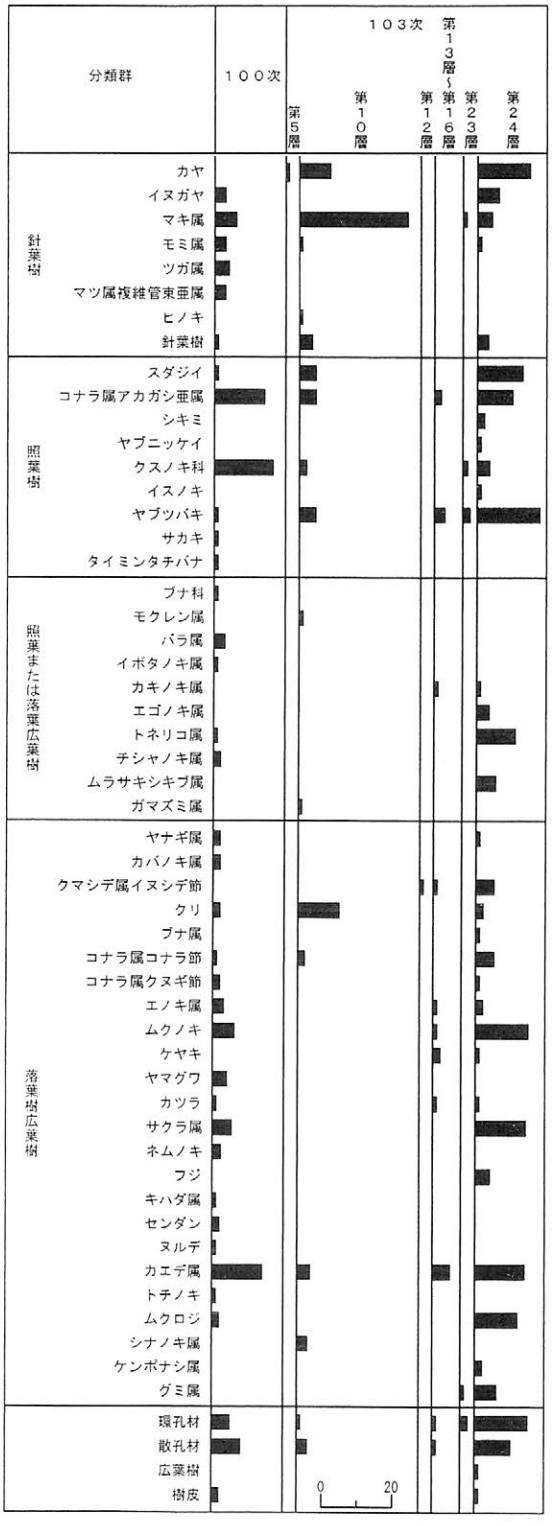
金原正明（奈良教育大学）、塩地潤一（大分市教育委員会）、○金原正子（古環境研究所）
古川匠（大分市教育委員会）、金原裕美子（奈良大学）

大分市横尾遺跡では、縄文時代早期後葉以降の花粉、種実、木材という部位や器官による各植物遺体群間の対比が行え、より詳細な植生の検討と復原が検討できた。

谷口部（103 次、100 次）地点では、花粉群集と木材群集が対比され、火山灰降灰前と後の対比が行え、火山灰降灰による影響が具体的に明らかになった。アカホヤ火山灰降灰以前の第２４層では、花粉はアカガシ亜属とエノキ属ームクノキが多く、木材ではアカガシ亜属、スダジイ、ヤブツバキの照葉樹、カヤを主とする常緑針葉樹に、ムクノキとなり、サクラ属、カエデ属、湿地性のムクロジやトネリコ属の落葉広葉樹も多く分布していた。これらは谷の植生を強く反映しているとみなされ、ムクノキなどの落葉広葉樹が多いのが特徴である。アカホヤ火山灰降灰後では、花粉においてもエノキ属ームクノキが激減し、木材では第 10 層で落葉広葉樹が大きく減少または消滅し、クリだけが増加する。常緑針葉樹のマキ属が増加し、照葉樹はやや減少するが、木材数自体の定が減少している。このことから、火山灰の降灰により、落葉樹が減少し、二次林性のクリのみがやや増加し、大きな影響が認められる。

珪藻分析からは、アカホヤ火山灰降灰および直後が最も海水準が高く、停滞もしくは降下に向かうと汽水域へ変化するパターンが認められた。

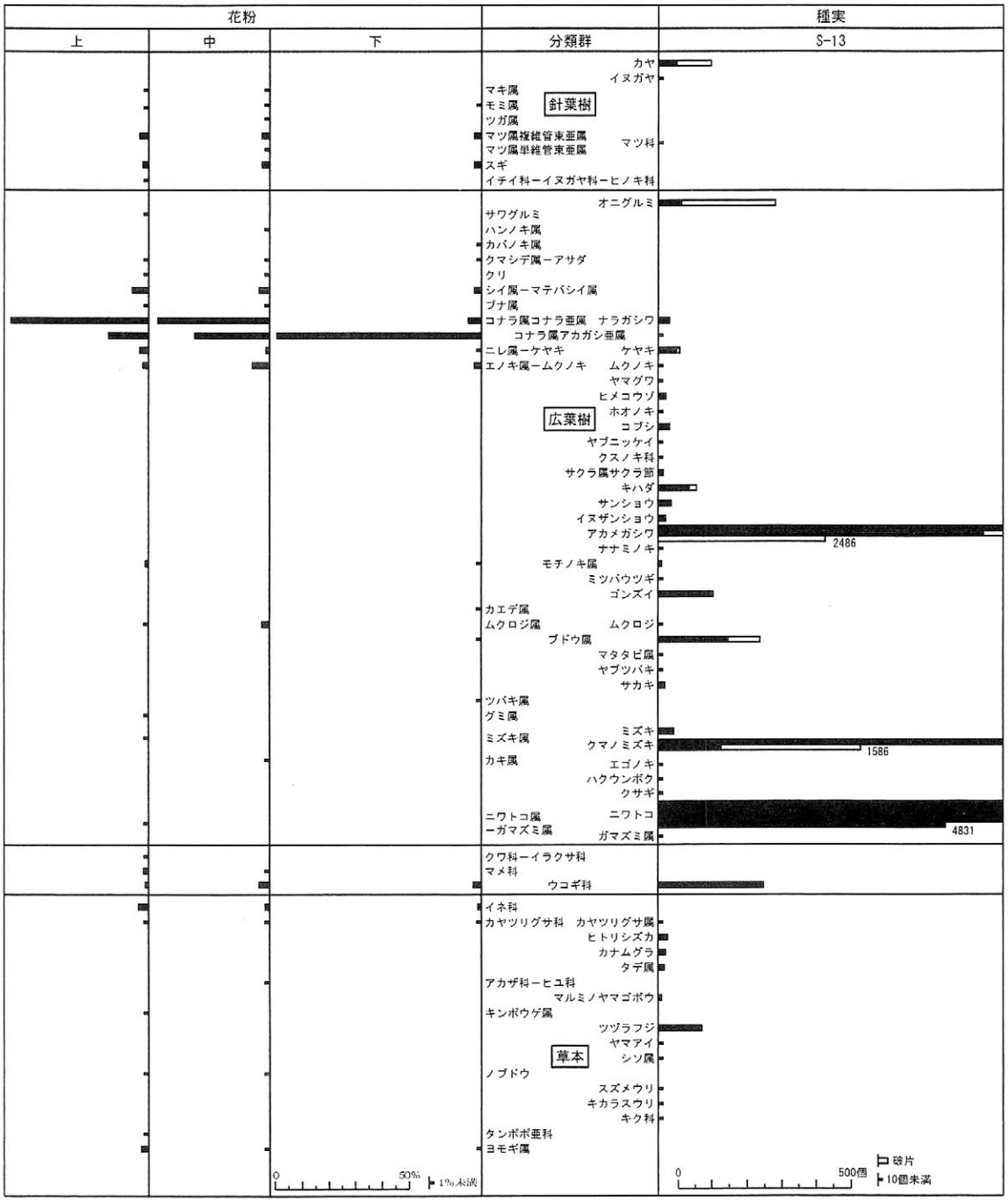
水場遺構（82-3 次）調査区では、花粉群集と種実群集とが対比される。花粉ではアカガシ亜属、コナラ亜属が極めて優占するが、種実ではニワトコ、アカメガシワ、クマノミズキが多く、オニグルミ、ブドウ属、カヤ、ゴンズイ、キハダ、ケヤキと続く。オニグルミ、ブドウ属、カヤは人為的な廃棄の可能性が高い。花粉で優占するアカガシ亜属やコナラ亜属は、種実ではコナラ亜属はナラガシワとなるが、いずれも種実では少なく、ニワトコ、アカメガシワ、クマノミズキの二次林要素が大きく反映される。



以上から、花粉群集は、森林性の風媒花の樹木が反映され、木材群集では、照葉樹、落葉広葉樹、常緑針葉樹が花粉よりは偏らずに反映され、種実では、二次林種が大きく反映される傾向にある。これは、森林を主要に構成する樹木がすべてではないが風媒花であり花粉生産量多く、種実では、二次林種の種実生産量が多いためとみられる。

横尾遺跡では、周辺はアカガシ亜属を中心とする照葉樹林であるが、水場遺構（82-3 次）付近では二次林性の樹木がやや多く、谷口部（103 次、100 次）では、落葉広葉樹が多かった。また、人為要素が加わっても、草本が優勢になることはなかった。

横尾遺跡82-3次調査



P—22

下之郷遺跡出土の磨製石剣に巻かれた樹皮のDNA鑑定

○花森功仁子*・**、望月峰子**、岡田喜裕*、川畑和弘***、佐藤洋一郎****
(*東海大学大学院地球環境科学研究科、**株式会社ジェネテック、***守山市教育委員会文化財保護課、****総合地球環境学研究所)

1. はじめに

下之郷遺跡は滋賀県の野洲川下流域平野に発達する扇状地の末端部に位置する弥生時代中期の環濠集落跡である。これまでに実施された第60次におよぶ発掘調査では、集落内部から高床式や平地式の建物跡が多数確認されている。また、集落の周囲には8～9条もの環濠が掘られており、その中から編み籠や漆塗りの弓、盾、竪杵、杓子、木偶などの木製品とともに堅果類や大型植物遺体（稲籾、アワ、葉など）が多数出土していることから、本集落跡は、人と植物との関わりを解明する上で重要な遺跡である。今回は弥生時代中期（畿内第IV様式・約2100年前）の磨製石剣に巻かれていたツル性の植物について樹種同定をおこなった。

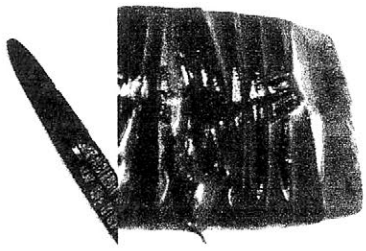


図1 石剣と巻きもの

2. 材料と方法

第56次発掘調査で出土した磨製石剣（図1）のグリップエンド部位300mgを供試した。現在、遺跡周辺に自生している植物の塩基配列を特定するため、ビナンカズラ、フジ、マタタビ、クズ、アオツヅラフジ、カラムシ、ムベ、ツルウメモドキ、クワ、ノブドウの10系統の植物の生葉、各100mgを対象試料とした。

出土遺物のDNA抽出に際しては、かねてより遺物の抽出用に用いているNaOHを用いた改変アルカリ抽出法をおこなった。植物の生葉については、ポリフェノールなど多糖類が多く含まれているため、それらを除去する改変CTAB法を用いてDNA抽出をおこなった。現生サンプルの抽出プロダクトに着色がみられるものについては、カラムに通し除去した後、分光光度計でDNA量を測定し、調整した。葉緑体のPS-ID領域は品種間差異が顕著であることから、当該領域の塩基配列を解析することとした。PCR増幅にはプライマーPSID-A・Bを用いた。遺物はDNA量が少なく、断片化している場合が多いため、1回目のPCR産物をテンプレートとして、プライマーPSID-A2・Bのセットを用いてネスチドPCRを行った。泳動写真で増幅バンドを確認後、シーケンサーを用いて塩基配列の特定をおこない、その結果を現生植物と比較し、DDBJのデータをもとに検討した。

3. 結果

顕微鏡観察では植物の表皮らしきものが確認されたものの、樹種を同定する特徴は見当たらなかった（図2）。

図2 顕微鏡写真

遺物は2回目のPCRにより目的のバンドが確認されたものの、400bp付近にダミーのバンドが増幅されたため、目的のDNA断片をゲルから切り出し、図3のとおり376塩基の配列を特定した。対象試料10系統はPCR増幅後、シーケンサーに

より PS-ID 領域の 184bp～413bp の塩基配列が特定されたが、出土遺物との相同性は認められなかった。これにより現在の遺跡周辺のツル性植物は用いられていなかったことが判明したが、DDBJ の相同性検索の結果、出土遺物と *Prunus* 属が相同であった。366 塩基中 365 塩基が一致した 4 系統、*P.campanulata,*（カンヒザクラ）、*P.pseudocerasus*（シナミザクラ）、*P.subhirtella var.ascendens*（エドヒガンザクラ）、*P.apetala*（チョウジザクラ）は T と A の 1 塩基置換（図 3 の 274 番目の下線）、*P.maximowiczii*（ミヤマザクラ）とは 2 塩基（19 番目と 274 番目の太字）の置換がみられた。

4. 考察

相同性検索による 99%の相同性から遺物はサクラ属と推定された。相同性の高いカンヒザクラは早咲きの河津桜の片親で、中国・長江南部の福建省や広東省から台湾、沖縄に分布しており、シナミザクラは明治初期に中国より食用および漢方用として渡来した。同じく相同性の高いエドヒガンザクラは耐寒性があり、現在では北海道南部でも生育が可能で、本州から九州まで広く分布しており、チョウジザクラは岩手県を北限とし、九州地方までの山地に分布している。カンヒザクラやシナミザクラは日本に自生しないことから現段階ではチョウジザクラかエドヒガンザクラの可能性が高い。

一方、本遺跡では古墳時代後期から渡来人の進んだ灌漑技術により本格的な開発が始まり、現在の豊かな穀倉地帯の礎を築く水路が造成されていた。したがって、後世のサクラ属の樹種については中国系統のサクラの可能性もある。本 DNA 分析によって弥生時代中期以降どのようなサクラが利用されてきたかを探求することは、人とサクラの関わりの変遷をたどる上で重要と考えられる。

現在、同遺跡から出土したサクラ材の分析と遺物の他領域の分析を継続しており、今後はこのように DNA 分析による植物の変遷の解明から人の交流が推定される可能性がある。

塩基配列

50

TATTTGCTTC GGTAGATA**T**G CTCTTCAAGC GCTTGAACCC GCTTGGATCA

100

CATCTAGACA AATAGAAGCA GGGCGGCGAG CAATGACACG AAACGCACGC

150

CGCGGTGGAA AAATATGGGT ACGCATATTT CCAGACAAAC CCGTTACAGT

200

AAGACCTACA GAAACACGTA TGGGTTCGGG TAAAGGATCT CCCGAATATT

250

GGGTAGCTGT TGTTAAACCC GGTAGAATAC TTTATGAAAT GAGCGGAGTA

300

GCAGAAAATA TAGCCAGAAG GGC**T**ATTTCA ATAGCGGCAT CCAAAATGCC

350

TATACGAACT CAATTCATTC TTTCGGGATA GGGATGTAGA AACAAAGGAA

376

AGGGGTCTTT TGTATGAAAA AAAAAA

図 3 遺物の PS-ID 領域の配列

P−23

後期旧石器時代および縄文時代の石器残存デンプン

○渋谷　綾子（総合研究大学院大学文化科学研究科）

1. 研究の目的

本研究の目的は次の3点である。

(1) 旧石器時代と縄文時代における植物利用の実態を解明する新しい方法論として，残存デンプン分析の有用性を実証する。

(2) 後期旧石器時代および縄文時代の遺跡から出土した石器より，デンプン粒の検出を試みる。

(3) 検出したデンプン粒について，資料の種類や時期，遺跡の環境による形態的な差異を比較・検討する。

2. 残存デンプンの形態分類

研究では，どのような形のデンプンが検出できるのか，単独粒や複数粒になるデンプンはどのような形をしているのか，どの形が多く検出でき，どの形が少ないのか（存在しない）のか，資料ごと・遺跡ごとにどのような形態的な特徴が見られるのかを示すため，残存デンプン粒の形態分類を行った。参照デンプン標本をもとにして，A：円形主体のグループ，B：半円形・三角形・四角形のグループ，C：多角形のグループという3種類に大別し，大きさについても，Ⅰ：10μm未満，Ⅱ：10～20μm，Ⅲ：20μmより大きいもの，に分けて2つの分類を組み合わせた。さらに，分解・損傷したデンプンが量的にどれぐらい検出できるのかを確認するため，D：分解／損傷の項目も設けて分類した。

3. 調査資料

調査遺跡の選定では3つの条件を設定し，これらの条件を満たすように留意した。

＜条件1＞　台石・石皿や磨石・敲石などが多く出土した遺跡。

＜条件2＞　周辺の古植生が復元されている遺跡。

＜条件3＞　発掘調査が進行中の遺跡，もしくは近年調査が実施された遺跡。

調査した後期旧石器時代と縄文時代の10遺跡と資料は次のとおりである。これらの資料からデンプン分析用の試料を採取し，偏光顕微鏡（Nikon ECLIPSE E600）で分析した。

(1) 後期旧石器時代の資料

- 立切遺跡（鹿児島県中種子町）：台石2点・磨石2点
- 池端前遺跡（静岡県磐田市）：石皿1点
- 坂上遺跡（静岡県磐田市）：台石1点
- 匂坂中遺跡（静岡県磐田市）：台石2点・磨石2点

(2) 縄文時代の資料

草創期

- 加栗山遺跡（鹿児島県鹿児島市）：台石1点
- 奥ノ仁田遺跡（鹿児島県西之表市）：石皿5点・凹石2点
- 掃除山遺跡（鹿児島県鹿児島市）：石皿・磨石・凹石各1点

前期中頃～中期終末

- 三内丸山遺跡（青森県青森市）：石皿28点

後期

- 佃遺跡（兵庫県淡路市）：石皿9点・凹石1点

後期～晩期

- 更良岡山遺跡（大阪府四条畷市）：石皿3点

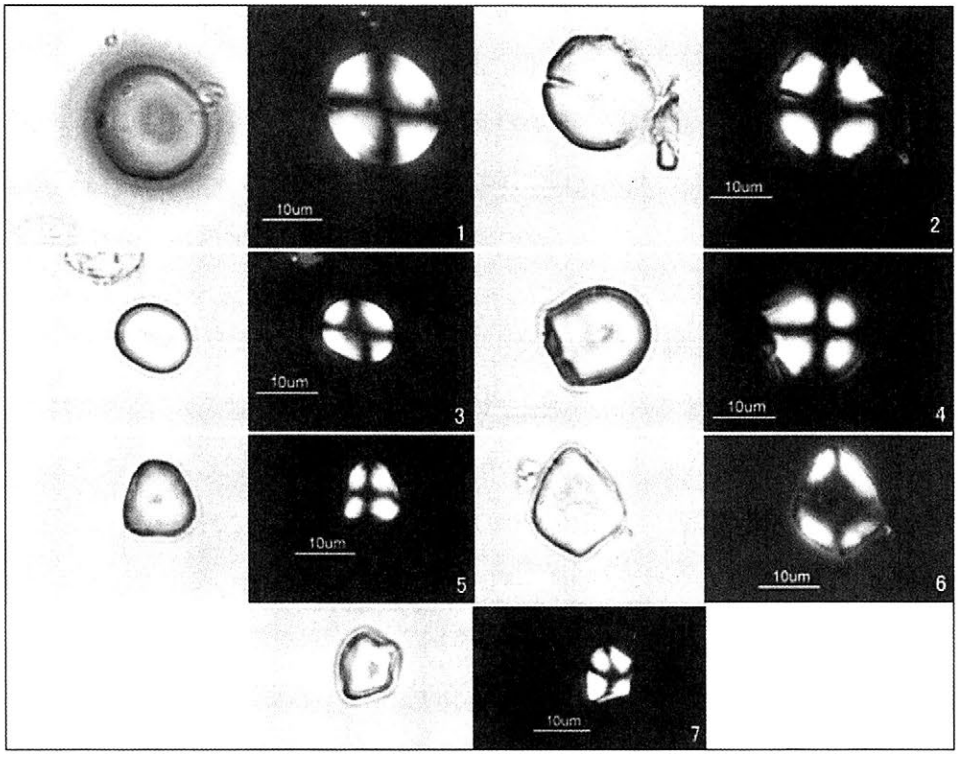
4. 結果と考察

検出量に多少の差はあるが，調査資料の大半からデンプン粒を検出した。どの資料も出土後に水洗されていたが，デンプン質残留物が石器表面の穴や割れ目に存在した。しかも，作業痕跡内の試料にはデンプン粒が含まれていた。これは，調査した石器が植物の加工に利用されたという推定を裏付けている。

デンプンの残存状態については，どの資料からも分解・損傷したデンプンを非常に多く検出しており，中には，複数の残存条件の影響を受けたと推定できるものも検出した。

デンプンの形態については，遺跡や資料によってさまざまな種類の形態を確認した。A 類のデンプンは，時代的・時期的な違いにもかかわらず，どの遺跡からも共通して検出しており，このうち，A Ⅱのデンプンが最も多く確認できた。B 類のデンプンについては，九州の調査遺跡に多く見られた B Ⅱのデンプンが他地域の遺跡では少ないことが判明した。このうち，いくつかの半楕円形のデンプンはヤマノイモのデンプンと形態的に類似していた。C 類のデンプンは，いずれの遺跡でも全体に占める割合が非常に少なかった。これら C 類のデンプンは雑穀類などの植物に多く見られるため，他の分析で復元された遺跡内の利用植物とあわせて考えていく必要がある。

今回の結果をもとにして，遺跡における植物利用の変遷を検証し，旧石器時代から縄文時代にかけての利用植物の変遷を解明したい。



三内丸山遺跡の残存デンプン粒の形態（すべて光顕 400 倍）
A 類：1～3，B 類：4～6，C 類：7

本研究は平成 16 年度～平成 18 年度科学研究費補助金基盤研究 B「日本における稲作以前の主食植物の研究」（代表：西田泰民）にもとづいており，財団法人理工学振興会平成 17 年度研究助成金，平成18年度三内丸山遺跡特別研究推進事業（自由課題研究），財団法人松下国際財団2006年度研究助成，平成 18 年度公益信託吉田学記念文化財科学研究助成基金によって遂行した。調査研究の機会を与えてくださり，研究にご教示・ご指導くださった関係者の方がたと関係諸機関に深く感謝いたします。

P−24

イネと稲作の起源に関する最近の知見

○佐藤洋一郎（総合地球環境学研究所）・中村郁郎（千葉大学大学院 園芸学研究科）・
石川隆二（弘前大学 農学生命科学部）・趙志軍（中国社会科学院 考古研究所）・
D. Fuller（ロンドン大学 考古学研究所）

イネには *indica*, *japonica* という2つの亜種がある．これらの起源について *japonica* に関しては「*japonica* の系統は長江流域で，*O. rufipogon* から派生した」とする佐藤・藤原(1992)がほぼ正当と思われるが *indica* の起源に関しては不明のままであった．ここでは最近の野生イネおよび栽培イネの分子遺伝学の進展に基づく *indica* の起源(系統進化)についての１つの仮説を提示してみたい．

母系遺伝する葉緑体DNAのタイプから，*indica* と *japonica* は異なる母系に属することは確かである(Yamanaka, et al. 2002, など)．核遺伝子にあっても，japonica は *O. rufipogon* の系統と，また *indica* は *O. nivara* の特定の系統群と近い関係にある．しかし *indica* の母系は *nivara* とは一致せず，*indica* が母系と核遺伝子の不一致つまり何らかの交配によって生じたと考えられる．

最近，野生イネから栽培イネへの栽培化にかかわる「脱粒性喪失」を支配する遺伝子の塩基配列が相次いで明らかにされた．それらによると，脱粒(野生型)→非脱粒(栽培型)の過程は，それぞれの遺伝子座について１個の突然変異で生じたこと，つまり栽培型が *indica*, *japonica* の違いによらず１回限りのイベントで生じた可能性が強く示唆される．

この二つの現象をうまく説明するのに，「*indica* の誕生は，その起源地である熱帯に持ち込まれた *japonica* が，先住の野生イネとの間で何回にもわたって異種間交配を起こした結果である」という仮説を提示したい(*indica* 拡散起源説)．なおこのときの先住の野生イネはすでに絶滅してしまっていると考える．*japonica* の系統は少なくとも紀元前 2000 年までには Harappa 文化にも採用されており，*japonica* の系統がこのころまでに熱帯に導入されていたことはたしかである．しかし *japonica* の系統は熱帯ではうまく適応しなかったと考えられ，より適応的な野生イネ系統との間で交配を生じ，熱帯に適応する栽培型のイネとして *indica* が成立したと考えるのが合理的であろう．なおこの事情は，パンコムギ(*Triticum aestivum*)が，2 度にわたる異種間交配の結果成立した系譜と類似している．穀類の栽培化は，こうしたごく低頻度で起きる異種間交配や人間とその社会による不断の栽培圧が関係しながら長い時間をかけておきたものかもしれない．

P—25

完新世における日本産ハイガイの成長速度の多様性

○ 畑山智史 富岡直人（岡山理科大学）・若松挙史（瀬戸内市）・田嶋正憲（岡山市）

はじめに

1970 年代、小池裕子によって開始された遺跡出土貝類の貝殻成長線分析は、マルスダレガイ科のハマグリ、チョウセンハマグリ、アサリなどについての放流実験データが公開され、遺跡出土資料のデータも多量に蓄積されてきた。フネガイ科のハイガイについても同様の研究がなされてきたが、現生のデータとの比較などを含め、マルスダレガイ科に比較すると蓄積は少ない。

I. ハイガイの重要性

本種は、① 遺跡から出土する率の高い斧足綱の一種であること. ②「亜熱帯種」（松島 1984, 2004）として扱われ、遺跡における消長がマクロな海水温変動との関わりで論じられていること. ③ 瀬戸内海などで絶滅に瀕し、現生試料の比較分析に急を要すること. 以上の 3 点から古環境を復元する上で重要性が高いといえる。本稿では、完新世の日本に属する試料のうち、データを入手できた伊皿子貝塚（東京都、小池 1981）、馬場小室山遺跡（埼玉県、小池 1985）、三引遺跡（石川県、富岡 他 2004）、左古谷遺跡（岡山県、富岡 2001）を利用し、初期成長量、成長速度、最終殻高を比較した。

II. 成長速度の多様性

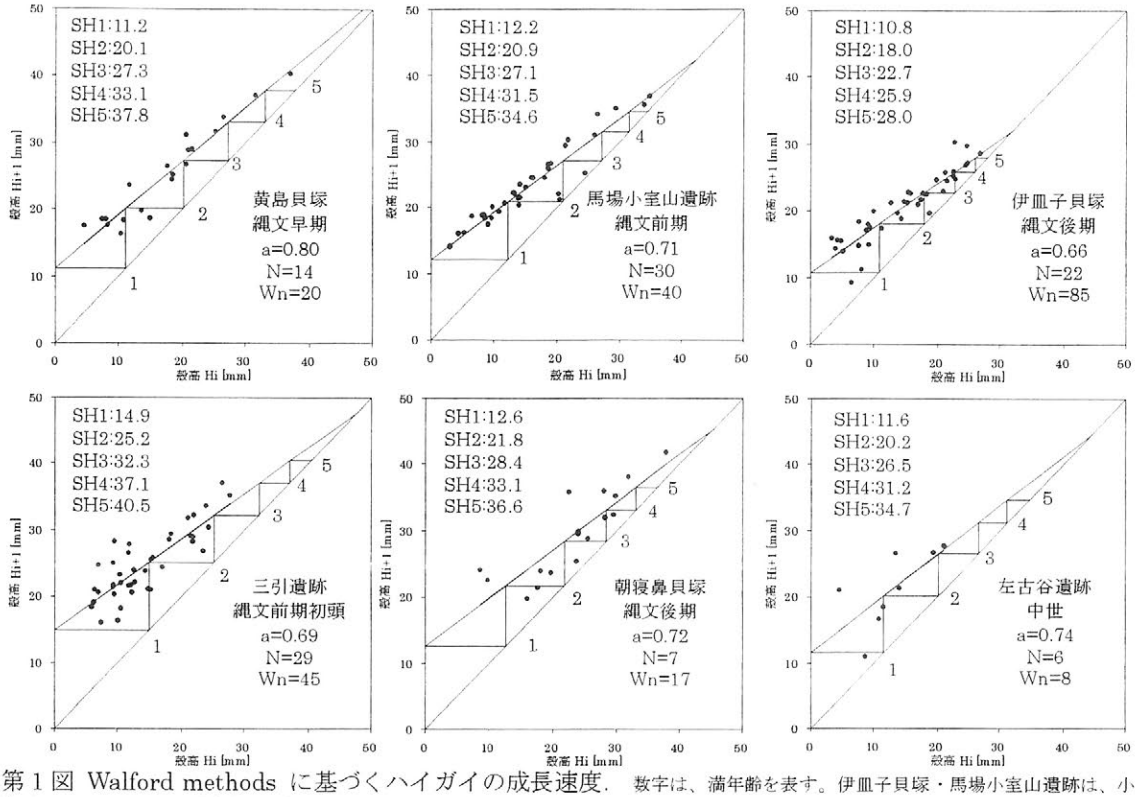
前述の通り松島（2004）は、本種の消長をもって日本沿岸における暖海域の北上・南下を論じた。ただしハイガイは、内湾砂泥底に生息する斧足綱であり、海洋とともに河川由来の淡水の影響を強く受ける側面をもつ。そのためその消長は、必然的に海況の変化のみならず淡水の影響を考慮する必要があるとともに、人類による採集圧なども考慮する必要性がある。

本稿では、ハイガイの殻高を基準とした初期成長量と成長速度を把握するため、小池の常法（1980）にならい Walford's method (1946) を用いた。この方法では、成長は一次式 $y=ax+b$ により表現され、a が成長速度（i 年の i-1 年前からの成長量の差）、b は発生から満 1 歳までの殻高である初期成長量を示す。これを用いて各地域・時代のハイガイの成長を比較すると、瀬戸内海沿岸では約 8400 年前の黄島貝塚、日本海では約 6300 年前の三引遺跡、古東京湾では約 6000 年前の馬場小室山遺跡において高い値を示した。また同じ縄文後期に属する、朝寝鼻貝塚と伊皿子貝塚（小池 1983）では比較すると、初期成長で 12.7mm と 10.8mm、満 5 歳での平均成長量で 36.6mm と 28.0mm、a 値で 0.72 と 0.66 という初期成長量・最終殻高・速度に大きな違いがみられた。以上のように同時期であっても、他地域では成長パターンに大きな違いがみられた。

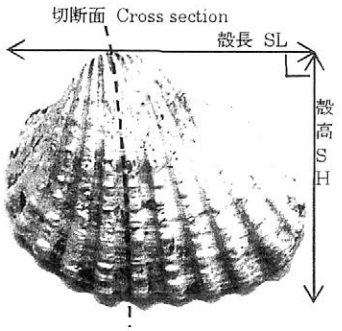
とくに伊皿子貝塚出土ハイガイは、他の遺跡と比較して初期成長量も少なく、成長量の限界に近い満 5 歳での成長量も極めて小さい。これは、伊皿子貝塚におけるハイガイの成長が著しく悪化していたことを示している。原因としては、① ヒプシサーマル最暖期以降の冷涼化. ② 生息域に流入する河川水や内湾水中の栄養の量や質の変化. ③ 縄文人貝採集活動や環境改変などハイガイの生息環境に与えるマイナスの影響. などが考えられるが、現時点でこの原因を絞り込むことは困難である。

III. 結語

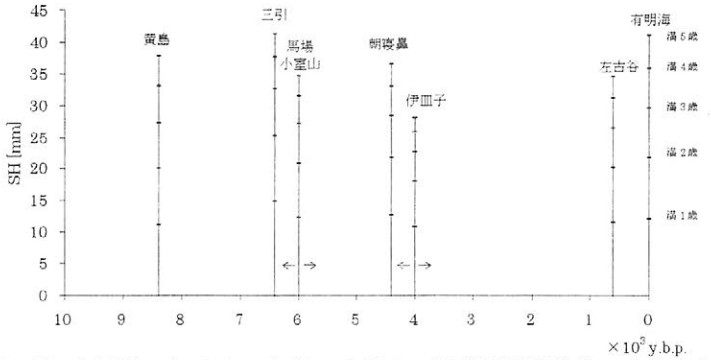
ハイガイの貝殻成長線形成パターンは地域差・時代差があり、予察としての湾・水系ごとの地域性と時期差が指摘できる。外洋の塩水の影響を受けやすいハマグリやチョウセンハマグリに比べると、外洋水の影響を間接的にも反映しながらより狭い環境の変化を反映していたと考えられる。つまり汽水～内湾域での、河川と外洋水に影響される水温、塩分濃度の変化と栄養、狭隘な生息環境のために、より大きな影響となりやすい人間による採集圧などが強く成長の違いに反映していたと予想される。今後、分析の量の増加を図るとともに酸素安定同位体比分析などにより、成長速度の変化の原因を探る取り組みを深化させたい。



第1図 Walford methods に基づくハイガイの成長速度. 数字は、満年齢を表す。伊皿子貝塚・馬場小室山遺跡は、小池（1981・1984）、三引遺跡は、富岡 他（2004）より作成。



第2図 ハイガイの切断面.



第3図 完新世における日本産ハイガイの殻成長量平均値の時代変化. 各ポイントは満年齢における平均成長量を示す。伊皿子貝塚・馬場小室山遺跡は、小池（1981, 1984）、三引遺跡は、富岡 他（2004）より作成。伊皿子貝塚・馬場小室山遺跡の年代は前後する。

第1表 比較・検討を行なった遺跡

遺跡	所在地	時代	成長速度 a	初期成長 b	最終殻高	文献
黄島貝塚	岡山県 瀬戸内市	縄文早期 押型文期 黄島式期	0.80	11.17	56.63	
三引遺跡	石川県 七尾市	縄文 前期初頭	0.69	14.93	47.86	富岡 他 2004
馬場 小室山遺跡	埼玉県 浦和市	縄文 前期	0.71	12.22	42.24	小池 1985
神門遺跡	千葉県 千葉市	縄文 前期	.	.	.	小池 1991
朝寝鼻 貝塚	岡山県 岡山市	縄文 後期前半	0.72	12.65	45.49	
伊皿子 貝塚	東京都 港区	縄文 後期	0.66	10.81	32.13	小池 1981
左古谷 遺跡	岡山県 岡山市	中世	0.74	11.61	44.43	富岡 2001
有明海	佐賀県	現生 (2004)	0.80	12.09	61.95	

参考文献

Wolford, L. A. 1946 'A new graphic method of describing the growth of animals' Biol. Bull. Woods hole, 90:pp.141-147

Koike H. 1973 'Daily growth lines of the clam, *Meretrix lusoria* ··A basic study for the estimation of prehistoric seasonal gathering' Journal of Anthropological Society of Nippon, 81:pp.122-138

Koike H 1980 'Seasonal Dating by Growth-line Counting of the Clam, *Meretrix lusoria*' The University Museum, The University of Tokyo, Bulletin, No.18

Hatakeyama S. 2008 'Estimating Shell Growth Speed based on Shell Growth Line Analyses of *Meretrix lusoria*, *Meretrix lamarcki*, *Ruditapes philippinarum*, *Corbicula japonica* and shells of Arcidae in Japan, from the Jomon Age to the Modern Age' Shell Energy. Prehistoric Coastal Resource Strategies: p.16

小池裕子 1981「伊皿子貝塚における貝類採取の季節性」『伊皿子貝塚遺跡』[港区教育委員会・港区伊皿子貝塚遺跡調査会] :pp.607-615

小池裕子 1982「日本海北陸地域産ハマグリ類の貝殻成長線分析」『第四紀研究 21』[日本第四紀学会] :pp.273-282

小池裕子 1985「馬場小室山遺跡第5区第 90 号土壙出土貝類について」『浦和市遺跡調査会報告書 第 50 集』:pp.127-129

小池裕子 1991「貝殻成長線解析に基づく季節推定」『千葉市神門遺跡』:pp.231-233

富岡直人 2001「岡山県瀬崎町佐古谷遺跡出土の動物遺存体分析」『瀬崎町埋蔵文化 財発掘調査1 左古谷遺跡』[岡山県瀬崎町教育委員会] :pp.69-74

富岡直人, 谷村 彩, 上岡真帆 2004「第10章 第4節 三引遺跡出土斧足綱の貝殻成長線分析」『田鶴浜町三引遺跡(下層編)』:pp.424-441

松島義章 1984「日本列島における後氷期の浅海性貝類群集··特に環境変遷に伴うその時間・空間的変遷··」『神奈川博研報（自然科学） 15』[1984] pp.37-109

松島義章 2004「貝と考古学」『環境考古学ハンドブック』[朝倉書店] pp.330-337

山梨県における古墳時代～古代の馬生産

植月　学（山梨県立博物館）

はじめに

山梨県（甲斐国）は甲斐の黒駒伝説や古代における御牧の設置、あるいは国内最古級とされる塩部遺跡のウマ遺体の出土などにみられるように、古来ウマ生産とかかわりが深い土地である。しかし、ウマ遺体の検出例の乏しさもあり、生産の具体的な様相については不明な点が多い。本研究では、近年の出土事例をもとに、主に動物考古学的な視点から甲斐国における古墳時代と平安時代の馬生産について検討を加える。

資料と方法

対象とした遺跡は図の５遺跡である。それぞれの遺跡についてウマ遺体の年齢と体高を推定し、出土状況もふまえて、それぞれの遺跡におけるウマ生産や斃馬処理について検討した。なお、年齢推定は西中川ほか（1991）*1、体高推定は林田・山内（1957）*2、西中川ほか（1991）*1によった。

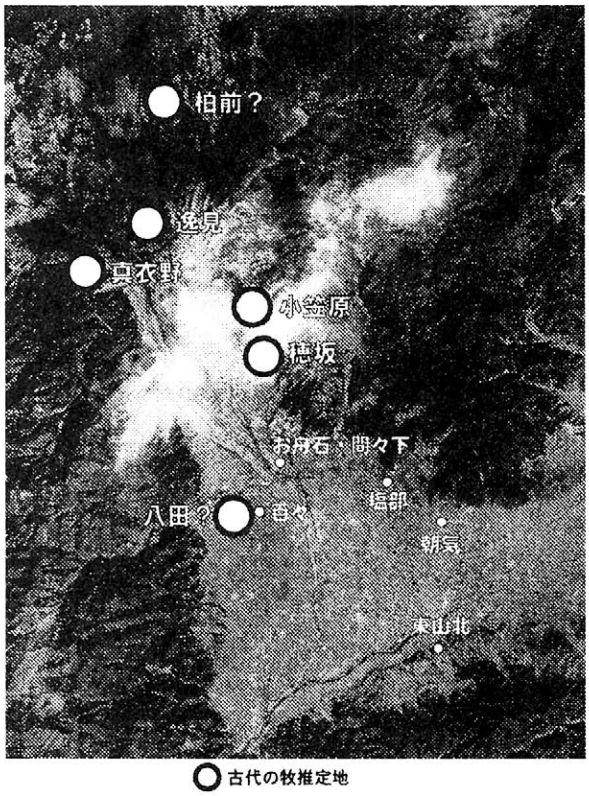


図１　対象遺跡の位置と古代の牧推定地

結果

１．年齢構成（図２）

古墳時代の３遺跡はいずれも４～６歳の若齢馬に偏るのを特徴とする。平安時代の馬が多数出土した百々遺跡では若齢から老齢までより幅広い年齢が見られる。同じ平安時代でも朝気遺跡での２例は特に老齢であった。

２．体高（図３）

時期的変化を論じられるほどの標本数は得られなかったが、古墳時代、平安時代ともに120cmに満たない小型馬から、140cm前後の中型馬でも大きい部類に属する個体までが見られた。

３．出土状況

塩部遺跡と東山北遺跡は古墳時代前期（4世紀後葉～5世紀初頭）の方形周溝墓の溝、お舟石古墳は６世紀後半の円墳の溝から出土した。いずれも歯しか遺存していないが、歯が揃っていることから、少なくとも頭部は存在したと推定され、供犠に関わると考えられる。

平安時代はいずれも集落からの出土である。百々遺跡は出土状況が多様で、１つの土坑から４体が並んで埋葬された例や、住居跡内から上下顎歯列が揃って出土した例があるが、四肢骨の一部や歯の一部が単体で出土した例も多い。朝気遺跡は埋葬１、頭蓋のみの出土１、間々下遺跡は埋葬１である。

考察

古墳時代の出土例は出土状況やいずれも若齢であることから、自然死ではなく、供犠のために殺された可能性が高い。したがって、当時飼育されていた馬の死亡年齢をそのまま示すとは考え

られない。出土した古墳は方形周溝墓や円墳などで、当時としては規模の大きいものではないが、にもかかわらず、馬を犠牲にすることができたこれらの集団は馬生産に関わっていた可能性が高い。特に１基の円墳から３体の馬が出土したお舟石古墳は、古代の穂坂牧に近く、その馬飼育が古代まで継続した可能性がある。

平安時代の百々遺跡は中世の八田牧の前身とされ、ウマ遺体の出土数でも突出していることから、本格的な馬生産がおこなわれていたと考えられる。若齢から老齢まで様々な年齢が見られ、特に若齢の個体が多いのも、生産地においては若くして死亡する個体が多かったことによると推測される。出土状況は埋葬や祭祀の可能性があるもの以外に、部分骨の散発的な出土例も多い。これらは平城京などで指摘されているように[*3]、死後解体して利用される場合があったことを示す可能性がある。一方、同じ平安時代でも後世に大規模な牧の発達が見られない甲府盆地の微高地に位置する朝気遺跡では２体とも埋葬、もしくは祭祀に関わるような出土状況であり、かつ老齢であった。２体のみの出土ではあるが、これは駿馬利用のシステムが確立されていない消費地、あるいは自家消費的な小規模生産地におけるあり方を示す可能性が考えられる。

体高については古墳、平安時代とも小型から中型までのサイズが見られ、我が国においてどの時代も小型馬と中型馬が飼育されていたとする西中川ら（1991）の説と調和的である。

今回対象とした事例は結論を出すには少なすぎるが、一つの仮説として、今後他の出土事例を加えて検証していきたい。

発表に際しては甲斐市教育委員会、甲府市教育委員会、および山梨県立考古博物館よりご協力をいただいた。末筆ながら記して感謝申し上げる次第である。

引用文献

1）西中川駿・松元光春　1991　「遺跡出土骨同定のための基礎的研究」『古代遺跡出土骨からみたわが国の牛、馬の渡来時期とその経路に関する研究』（平成２年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書）
2）林田重幸・山内忠平　1957　「馬における骨長より対高の推定法」　『鹿児島大学農学部学術報告』６
3）松井　章　1987　「養老厩牧令の考古学的考察」『信濃』39-4　など

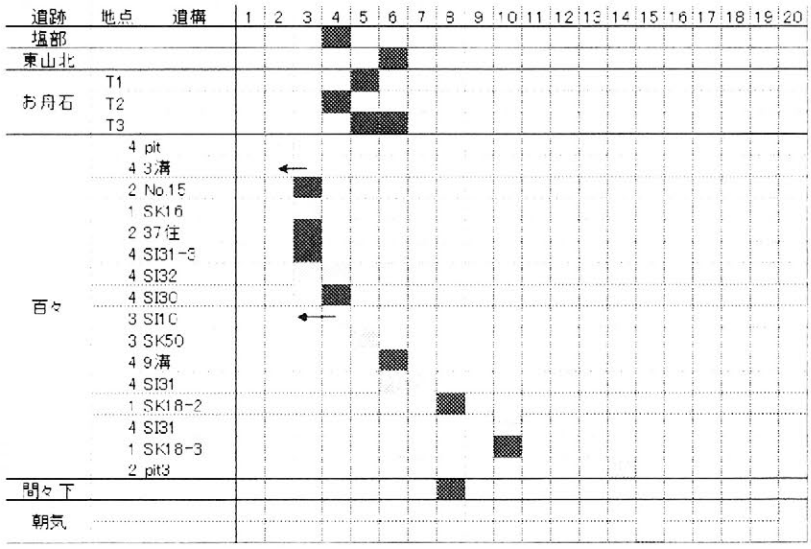


図２　推定年齢

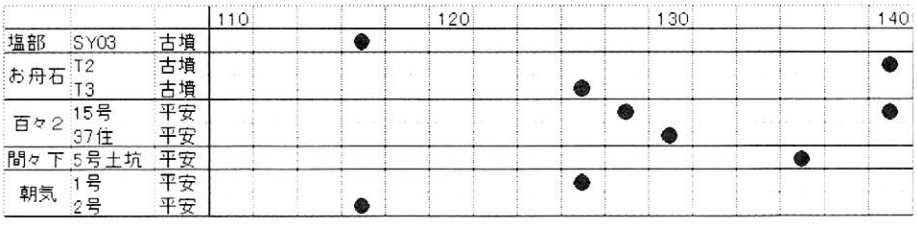


図３　推定体高

P−27

古市川湾における縄文時代の環境変動と人間活動

○植月　学（山梨県立博物館）・阿部常樹（國學院大學研究開発推進機構）・村田泰輔（東京大学新領域創成科学研究科）・領塚正浩（市立市川考古博物館）・中村俊夫（名古屋大学年代測定総合研究センター）・吉田邦夫（東京大学総合研究博物館）

はじめに

古市川湾は東京湾東岸の最奥部にかつて広がっていた内湾である。国内有数の縄文貝塚密集地域でありながら、動物遺体や古環境の面では良好なデータに乏しかったが、近年では動物遺体の報告例も徐々に蓄積されつつある。また、湾内の2地点において自然貝層が調査され、湾内の古環境変遷も明らかになってきた。

そこで、本研究では貝塚出土動物遺体のデータ集成により復元された人間活動と、自然貝層の調査により復元された古海況変遷とを比較することにより、古市川湾の環境変動と人間活動との関係を検討した。

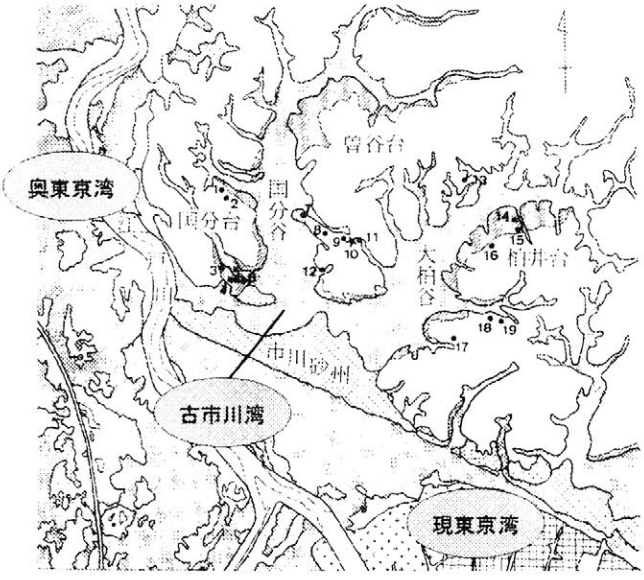


図1　対象地域

資料と方法

古市川湾沿岸の縄文時代貝塚群の動物遺体（貝類・魚類）データを集成し、種ごとの時期的、地域的な出現傾向を調べた。対象地域は古市川湾岸を中心に、比較のため東に接する古奥東京湾岸、西に接する現東京湾岸も取り上げた。時期区分は土器型式単位での差が顕著でなかったため、大別時期（前・中・後期）での区分とした。これを自然貝層の貝類・珪藻化石分析および年代測定により推定された古海況変遷と比較し、漁場の範囲や種の選択性を検討した。

結果と考察

1．貝類

時期的変化　古市川湾では中期以降のアサリの増加が顕著である。オオノガイ、オキシジミの増加と合わせ、湾内で泥底要素が強まったと推測される。これは珪藻化石分析において、前期の海進最盛期より市川砂州の形成が進み、中期前半以降、湾内が閉塞化して外洋の影響が弱まり、徐々に汽水化したと推定されたのと調和する。

地域間の比較　現東京湾沿岸におけるオキアサリ、奥東京湾岸におけるサルボウの多産のような時期を越えた地域差が明らかになった。これらは長期的傾向であることから、漁場ごとの環境の違いを反映すると推定される。現東京湾岸で多産するオキアサリは古市川湾では前期にのみ見られ、前期までは外洋に開けた内湾であったという珪藻化石の分析結果と調和する。

2．魚類

時期的変化　中期における底魚の増加がやや顕著で、カレイ科、コチ科、ササウシノシタ亜目などが多産する。貝類や珪藻分析で明らかになった閉塞化による湾内の浅海化、潟湖の形成などとの関連が想定される。

地域間の比較　偏りが顕著なのはマダイで、奥東京湾岸、現東京湾岸で多産する。古市川湾での少なさは早い段階で外洋の影響が弱まったという地形条件に起因すると推測される。

以上のように、貝類、魚類組成の時期的変化、地域差ともに自然貝層の分析により推定された古環境と調和する部分が多く、主な漁場は遺跡近傍にあったと推測される。ただ、湾奥の堀之内・権現原（後期）のようにオキアサリがやや目立ち、市川砂州沖に出漁したと推測される例もある。このように全体的な傾向から逸脱する例を細かく見ていけば、各種の漁場が湾内にあったのか、湾外にも出ていたのかも今後把握可能になると考えられる。また、域外で出土した場合にはその入手経路も特定できる可能性がある。

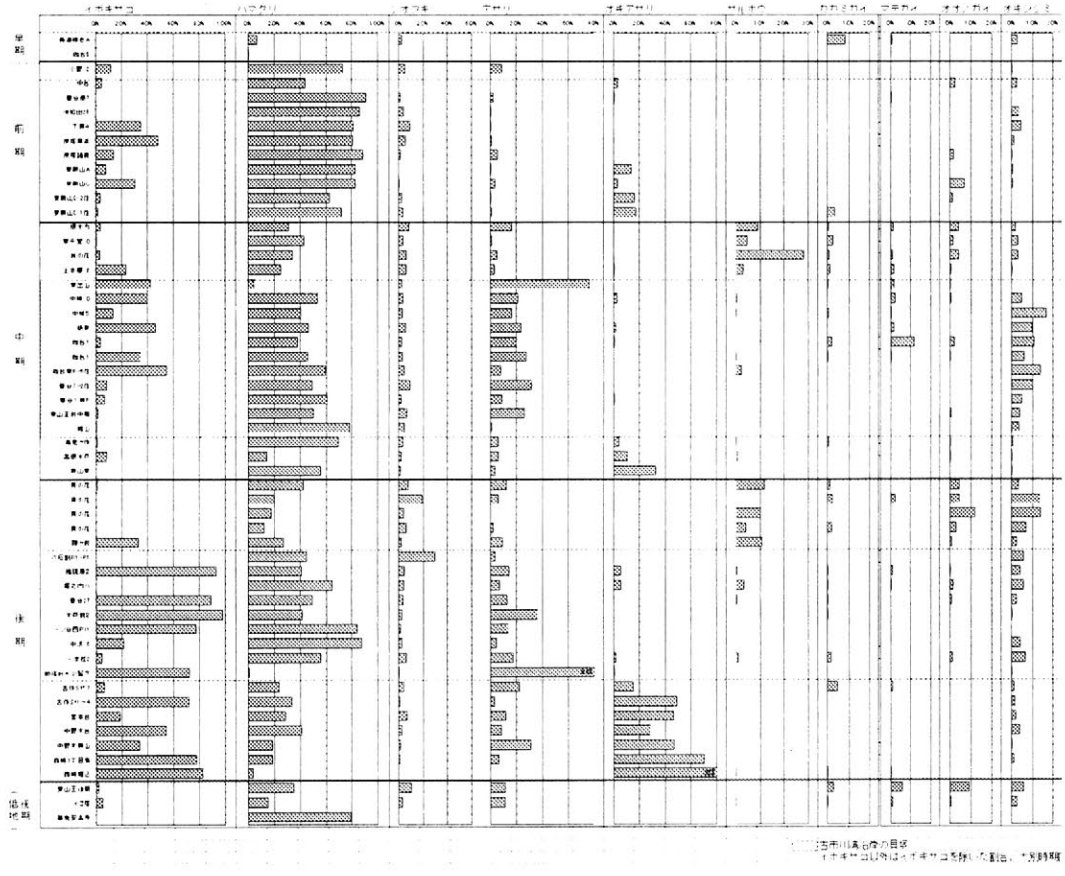


図2　貝類組成の変化

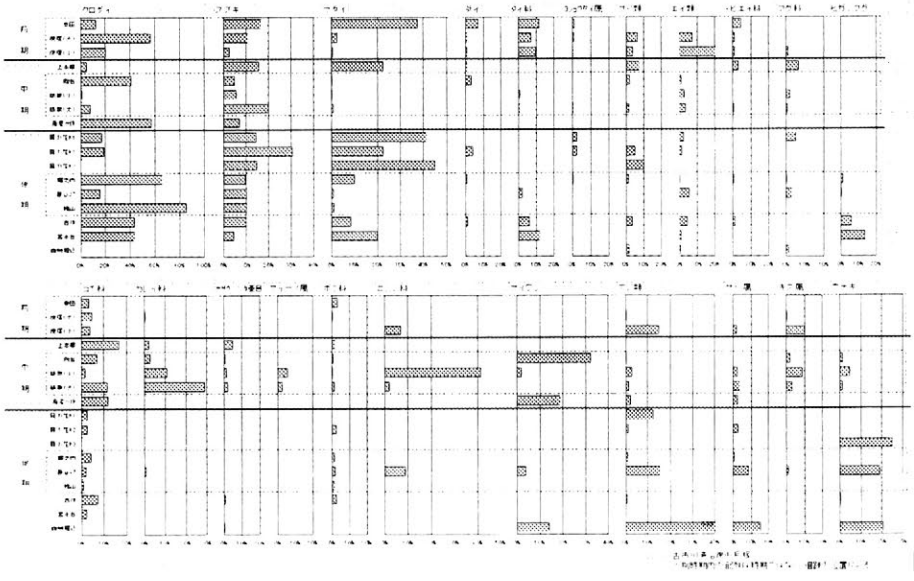


図3　魚類組成の変化

P−28

不かく乱土壌試料を用いた土壌分析
～旧石器時代の石器混入土壌の土壌微細形態学的特徴～

○須永薫子(東京農工大学)・平山良治(国立科学博物館)・安蒜政雄(明治大学)・
野口淳(明治大学)・明治大学校地内遺跡調査団

【はじめに】

遺跡の発掘調査は、調査され報告されることにより多大な貢献がある一方で、調査もしくはその後の開発により様々な情報をもった「遺跡」自体が消失することは、自明の理である。著者らは土壌を研究対象としており、幸いにも土壌について調査できた遺跡がある一方で、他の遺跡との比較を望んでも、すでに調査された遺跡では土壌試料を改めて入手することは不可能である。仮に土壌試料が採取されていても、分析に供することはできない場合が多い。この原因として、最も重要な点は、どこで採取したのかがわからないことである。次に重要な点は、採取方法、採取過程を確認できないことによる。分析を行う当事者が自らサンプリングするのは、そのサンプルがどのような調査が行われ、調査地点のどこから、どのように採取したのか、採取後の汚染はないかを正確に把握するためであり、これらの情報は科学分析に供する試料に不可欠な情報である。

近年予算の削減とともに十分な調査費用が確保できない遺跡が多くなり、遺物・遺構調査に比べ従来からの考古学的価値が低く、かつ専門家による採取や分析を求められる土壌試料は保存対象として取り扱われていないのが実情である。また、土壌試料採取・保存がおこなわれないことの原因は、無数にある科学分析により採取方法や保存方法が異なること。採取後の保存方法の一般化が行われていないこと。保存後の汚染を排除することが困難なこと。保存スペースの確保が困難なこと。分析に供されないかもしれない状況下ではその保存価値があるのかどうか疑問視されること等の問題点が挙げられる。

昨年度の発表では、こうした問題を解決する土壌採取・保存の方法としてガバトおよびガバトボックス(製作　スナガ環境測設㈱　℡027-274-7771　群馬県前橋市青柳町 211-1)を利用した不かく乱土壌の採取・保存・利用方法を報告した。 本年度は、実際に採取した不かく乱土壌試料の研究利用の応用例として、東京都三鷹市・調布市に所在する下原・藤見町遺跡の旧石器時代の石器混入土壌の土壌微細形態学的な特徴について報告する。旧石器時代の遺跡は数が少なくさらに遺構の痕跡はごく少ないことが知られている。これまで発表者らは同遺跡において石器集中部付近の土壌構造に自然堆積した土壌とは異なる傾向が観察されたことを報告した(2006　第四紀学会等)。本研究では同遺跡内で石器を含めた土壌の不かく乱土壌試料を用いて石器周辺の土壌構造の特徴を検討した。

【採取地点および採取方法】

採取地点:東京都三鷹市・調布市に所在する下原・藤見町遺跡

不かく乱土壌試料採取地点(表 1、図1)なお、連続試料中からは石器は確認できなかった。

遺跡内で同様の層位から石器を含む試料として、不かく乱土壌試料を採取した。この試料については石器を確認しつつナイフ等を用いて採取した。

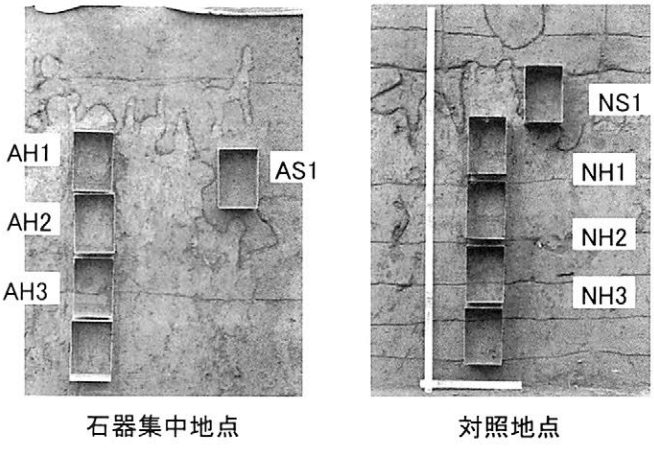


図 1 不かく乱土壌試料採取状況

【分析方法】

微細形態観察試料の作成方法

微細形態観察試料は、平山(1992)に準じて作成した。

①試料採取および脱水:試料は、急冷真空凍結乾燥法を用いて水分を除去した。②樹脂の含浸および固定: 脱水した試料に真空含浸装置で樹脂および試料中の空気を除きながら樹脂を含浸した。樹脂には、希釈剤としてアセトン、触媒としてメチルエチルケトンパーオキサイド、促進剤として 6%ナフテン酸コバルトを不飽和ポリエステル樹脂(商品名:ポリライト TC241;大日本インキ(株))に加え、よく混合した溶液を用いた。③微細形態観察試料の作成: 樹脂により固定した試料を、切断・研磨し土壌薄片(厚さ約 50 μm)を作成した。

表1試料名と層位、石器等の出土状況

採取地点名	略称	採取層位	層位の特徴	石器等の出土状況*	標高
石器集中地点	AS	Ⅲ層	いわゆるソフトローム	石器27,礫20	38.5 ～ 38.4
	AH1	Ⅳa層上部	いわゆるハードローム	石器19,礫26	38.5 ～ 38.4
	AH2	Ⅳa層下部	いわゆるハードローム	石器11,礫32	38.4 ～ 38.3
	AH3	Ⅳa層・Ⅳb層(Ⅳa層とⅣb	いわゆるハードローム	石器7,礫48	38.3 ～ 38.1
対照地点	NS	Ⅲ層	いわゆるソフトローム		38.6 ～ 38.5
	NH1	Ⅳa層上部	いわゆるハードローム		38.5 ～ 38.4
	NH2	Ⅳa層下部	いわゆるハードローム		38.4 ～ 38.2
	NH3	Ⅳa層・Ⅳb層(Ⅳa層とⅣb	いわゆるハードローム		38.2 ～ 38.1

(＊野口ら, 2005より。なお、Ⅳa層中部は 石器12,礫20である。)

【結果および考察】

一連のガバトボックスを用いた結果として、石器集中地点と対照地点の比較から、人為的影響があったと考えられる地点では次の特徴が認められた。石器集中地点ではパッキング孔隙が多く、ペッドが崩れたような構造が比較的多く認められた。曲線的な亜角塊状構造が多く、明瞭なチャネル孔隙が少ない。石器集中地点では複数のマクロな土塊(3×3cm 程度以上の大きさを持つ範囲)が確認できたが、そうした傾向は対照地点では少なく一様な状態であった。一方、出土した石器や礫数がより少ない層位ではこうした傾向があまり明瞭ではなかった(表2・3、図2)。こうした傾向は人為的影響を受けたことに起因すると考えられる。

そこで、生成メカニズムを検討するため石器を含んだ不かく乱土壌試料の薄片を作成し観察をおこなった。石器集中地点と同様に、パッキング孔隙が多く認められた。特に曲線的な亜角塊状構造が多いことが特徴であった(図3)。

表2 約3倍で観察した土壌微細構造の特徴

採取地点名	略称	土壌微細構造	孔隙
石器集中地点	AS	亜角塊状構造の角が曲線的。	中央部に大きなインフィリングがある。中央部分は、パッキング孔隙であった。チャネル孔隙が多く、直線的な構造はあまり見られない。
	AH1	亜角塊状構造の角が曲線的。	上部に大きなインフィリングがみとめられた。大きなチャネル孔隙の中にインフィリングがみとめられ、パッキング孔隙をなしており、孔隙の両側がくづれた状態だった。
	AH2	亜角塊状構造であるが、上部～中央部にかけては全体に粗な状態。	亜角塊状構造であるが、上部～中央部にかけては全体に粗な状態であり、パッキング孔隙が大きな範囲を占めている。大きなバグ孔隙の中の構造は特に曲線的である。
	AH3	亜角塊状構造の角が曲線的。	上部～中央部は比較的密であるが、面状孔隙は少なく、丸みの強い亜角塊状構造が認められた。中央～下部については、ペッドがルーズでパッキング孔隙をなしていた。

表3 約3倍で観察した土壌微細構造の特徴

採取地点名	略称	微細形態学的構造	孔隙
対照地点	NS	亜角塊状構造の角が直線的。密に詰まっている範囲が広い。	構造内を動物の移動したと考えられる特徴である丸い孔隙とその周りに密な状態が観察できた。また、中央に大きな面状孔隙がみとめられるほかペッド間は直線的な面状孔隙が多い。
	NH1	亜角塊状構造。	インフィリングな状態のペッドのまわりに小さなペッドがみとめられた。明瞭なバグ孔隙が認められた。面状孔隙が多く、ペッド間が直線的な面状孔隙多いことが特徴であった。
	NH2	亜角塊状構造。	パッキング孔隙の範囲が広く、石器集中地点との差は少ない。ペッドの発達強度がAH2に比べ強く、密な状態のペッド内には明瞭なチャネル孔隙が多く観察された。
	NH3	亜角塊状構造。面および角が直線的なペッドが多い。全体に密な状態であった。	明瞭なチャネル孔隙および動物による穴の中にインフィリングがみとめられた。大きなパッキング孔隙は認められなかった。

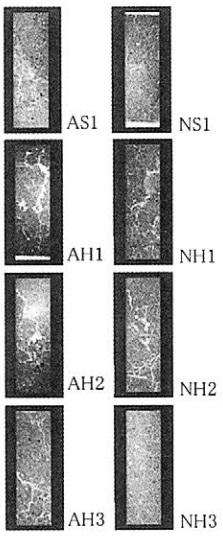


図 2 連続試料の微細構造

図 3 石器周辺の微細構造

(全試料ともに表示している範囲は高さ 10.6cm×幅 3.2cm、紙面上方向が実際の上方に当たる)

滋賀県畦ノ平遺跡出土材にみる古代の伐採・製材技術

○村上由美子・光谷拓実(総合地球環境学研究所),横田洋三・北原 治((財)滋賀県文化財保護協会)

1．はじめに

滋賀県甲賀市新治の畦ノ平遺跡では、平成17年6月と翌年10月の2度にわたり、計18本以上の木材が出土した。共伴した土器には弥生時代後期，8世紀後半～末，13世紀頃のものがあり、木材は13世紀以降に2次堆積した可能性が高い〔滋賀県教委・(財)滋賀県文化財保護協会2008〕。年輪年代測定の結果，3点の材がスギの暦年標準パターン（158年～736年）と一致し、630年，664年と690年直後（推定）に枯死したことが明らかとなった。そのため木材は自然災害などで一斉に倒れたのではなく、7世紀代に一定の期間にわたり継起的に伐採したものとみられ、他の木材も同じ時期に枯死したと考えられる。木材のなかには斧や楔による加工痕を顕著に留めるものもあり、7世紀頃の伐採・製材技術を示す重要な事例となる。ここでは伐採痕跡が残る木材と製材途中の木材を提示してそれぞれの工程を復元し、古代の伐採・製材技術について考察する。

2．事例1：伐採の痕跡が残る木材（図1，写真1）

〔木材の概況と伐採の工程〕 現存長302.0cm，最大幅125.5cmのスギ半割材（伐採年代664年）は、根元側に鉄斧を入れた跡（①，②）が残る。斧は斜め上2方向から木材に対して約45度の角度で入っており、斧の使用者の立ち位置が限られていた伐採時に生じたものとみられる。③は木口面を帯状に伐り残して木が自重で倒れる際に折れた部位であり、斧の刃痕はないが伐採痕の一部となる。①～③で伐採痕全体の約4割に相当し、そのなかでは①，②，③の順序が想定できる。

〔伐採技術に関する考察〕 伐採痕のなかで特徴的なのは、①の加工痕が4つの段をなす点である。類例としては静岡県池ヶ谷遺跡で出土した弥生時代後期以降（年輪年代西暦219年）のスギ原木に、斜め方向の加工痕が2段をなして残る事例〔(財)静岡県埋文調査研究所1995〕や、針葉樹の伐採においてまず3段の加工を施したカナダの民族事例〔Stewart1984〕がある。本事例の場合、樹皮側から斧で伐り始めて一定の深さまで刃先が及び、そこから先には斧が届かないために木の繊維方向に割り裂いたようだ。こうして「伐る→割り裂く」という工程を4回繰り返したことにより、4つの段が生じた。大径材の伐採においては斧の刃先が届く範囲に限界があったため、斜め方向に伐ったのち根元側を木目に沿って割り落とし、10cmほど下げた位置を新たに伐ることで次第に樹芯側へ近づいたと考えられる。こうして生じた段状の伐採痕は、針葉樹大径材の伐採にあたり、材の割裂性を生かした方法が採られたことを示す。

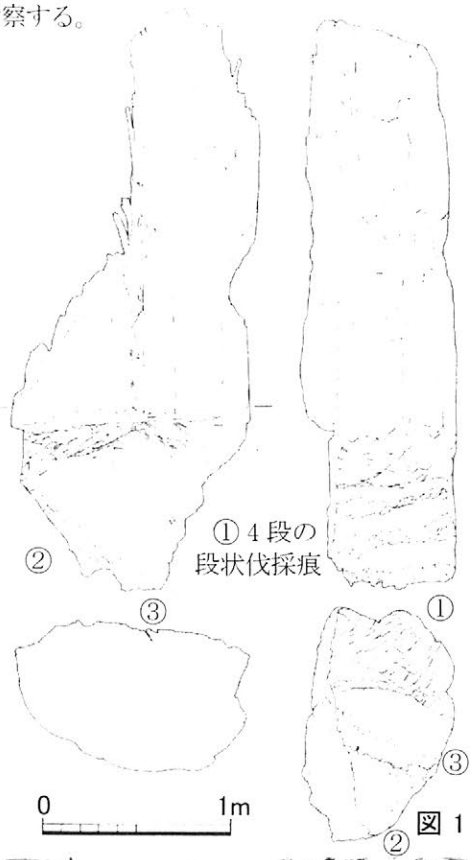


図1

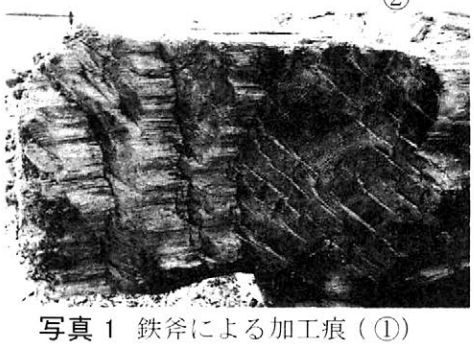


写真1 鉄斧による加工痕（①）

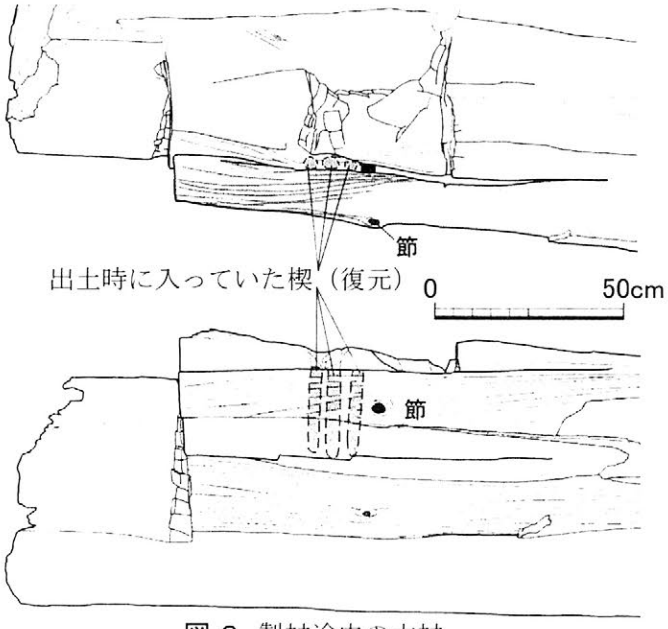


図２　製材途中の木材

出土時に入っていた楔

写真２　楔の圧痕と復元した楔

３．事例２：製材途中の木材（図２，写真２）

〔木材の概況と製材の工程〕長さ 693.0cm，最大幅 133.5cm の針葉樹の半割材は、材の根元側から材の先端側に向けて長さ 110cm の割れが入っている。出土時にはその内部に楔３本が残存していた。うち２本は広放射組織のある堅木（アカガシ亜属かコナラ亜属）を用いた楔で、２本の木取りは異なる（写真２上）。この楔は乾燥の過程で抜け落ちて現存せず、現在は復元品の楔が入るが、木材の隙間には節や本来あった楔の圧痕が確認できる（写真２下）。伐採した木材を半割し、木口面を一部平坦に整えたのち、根元側に斧を入れて生じた割れ目に順次木製の楔を打ち込み、割り進めた工程が復元できる。その過程で、木材内部の節が割れを阻んだために製材を断念し、木材を放棄したとみられる。節がなければ楔による打割製材を続け、長さ 180cm 程度の木材が得られたであろう。本事例は半割材からさらに幅 22cm，厚さ 13.8cm の板目材を割り取る工程を直接示すものである。

〔製材技術に関する考察〕半割途中の広葉樹小径材に楔が残った例はあるが、針葉樹大径材の内部に楔が残る状態で出土した事例は確認されていない。楔を用いた打割製材の過程が分かるとともに、半割材から直に板目材を割り取る手順を経て、運搬しやすい法量に木材を加工したことが明らかとなった。製材時の楔圧痕に関しては、スギの製材実験で報告されており〔村上ほか 2003〕、本事例により実験と同様に丸みのある楔圧痕が出土材にも残ることを確認できた。打ち割りしやすい通直な部分を製材した後の残りの部位を利用せずに放棄していた状況から、潤沢な資源利用のあり方が窺える。

４．まとめ

２点の原材からは伐採地付近で製材までの工程を行った様子が復元できる。古代の伐採・製材技術を示す資料が畦ノ平遺跡で出土した意義は大きい。出土地の北側約３kmには現在の杣川が流れており、下流へ木材を搬出した可能性も考えられる。新治を含む旧の南杣村一帯は甲賀杣の推定地に含まれることから、８世紀の正倉院文書に記された甲賀山作所の前史を知る上でも重要な発見といえる。

《参考文献》

Stewart, H. CEDAR, Douglas & McIntyre, Vancouver, 1984
滋賀県教育委員会・(財) 滋賀県文化財保護協会 『高野城遺跡』 2008
(財) 静岡県埋蔵文化財調査研究所 『池ヶ谷遺跡Ⅲ（遺物編）』 1995
村上由美子・魚津知克・後藤浩之・土屋みづほ・中原 計・藤井裕之「楔の使用実験―スギ材の割り裂きにおける楔の効果―」『日本文化財科学会第 20 回大会研究発表要旨集』 2003

P－30

岡本前耕地遺跡出土漆器の材質と技法

○ 武田昭子（昭和女子大学）、上條朝宏・飯塚武司（東京都埋蔵文化財センター）、
門倉武夫（東京文化財研究所名誉研究員）、赤沼英男（岩手県立博物館）、土谷信高（岩手大学）

１．はじめに

近年、低湿地遺跡の発掘が進み、様々な漆製品が各地の関係遺跡から出土し、漆文化発展の歴史が徐々に明らかにされてきている。縄文時代早期にその萌芽があったとされる漆芸技術は、縄文時代後晩期頃になると、漆の精製、上塗り等に高度な技術が駆使された製品も見られ、現代漆芸技術に通じる基本的な技術が既にこの時期に確立されていたとも言われている。

東京都世田谷区岡本二丁目に所在する岡本前耕地遺跡の第３次発掘調査で、縄文時代後期に比定される漆製品関連資料と推定される８点が検出された。これらの資料は小断片がほとんどで、完形遺物は無かったが、櫛、彩漆木器、彩漆土器、籃胎漆器等様々な素地、材料および用途の製品からなり、当時の生活に漆文化が深く関わっていた手掛りが得られる資料であることが目視観察より判明した。このため、これらの資料の材質と技法を明らかにするため、岩石鉱物学的調査を加味した科学的調査を実施したので、当該時期の漆器製作技法事例として報告する。

２．出土遺跡および調査資料について

岡本前耕地遺跡は、東京都世田谷区岡本二丁目に所在する旧都立砧工業高校の敷地内に位置している。地理的環境は、多摩川の左岸に位置する武蔵野台地を西北から南東方向に流れる仙川の旧流路及びの氾濫源に立地する。遺跡の調査は、これまで２度行われており、縄文時代から弥生・古墳時代・中世・近世の遺構・遺物が検出され、縄文時代の低湿地遺跡として知られている。

今回報告する資料が出土した第３次調査では、現地表面から約５ｍの深さから、縄文時代後期を中心とする旧流路や氾濫源の一部が検出され、木器・漆器・木材・土器が出土した。遺物には縄文時代早期から中期の遺物も検出されているが、これらの遺物は、表面の磨耗状態から二次堆積の可能性があると思われている。なお、縄文時代後期に比定される木器には、小型浅鉢未製品、伐採した材を砲弾状に分断した材・分割材などの未製品があり、これら加工途中の木器が波路の中の自然木の間などを利用して水漬けされたものであることから、遺跡内で木器の生産が行われていたことが確認されている。調査した漆製品は結歯式竪櫛断片１点、櫛突起部断片１点、土器１点、漆液容器内容物１点、木器２点、漆塗膜１点、籃胎漆器断片１点の計８点で、完形のものはなく、ほとんどが小断片である。

３．調査方法

各資料は目視観察、実体顕微鏡観察を行った後、X 線透過撮影を行い、内部構造を把握した。調査試料の摘出は遺物の外観形状を損なわないよう最大限の注意を払い、メスを用い破断面からそれぞれ数㎜角摘出した。摘出した試料をエポキシ樹脂で固定し、エメリー紙で荒研磨した後、ダイヤモンドペーストで仕上げ研磨し、落射光顕微鏡観察を行った。その後、スライドグラスに接着し再度同様に研磨し薄片にして、透過光顕微鏡観察を行った。下地中の鉱物は、偏光顕微鏡で観察した。色材混和物とその分布状況の調査では、走査型電子顕微鏡（日立製 S-530）とエネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（堀場製 EMAX-1770 ）で定性分析を行った（以下 SEM-EDX 分析と記す）。なお、光学顕微鏡による断面観察で、漆塗膜と推察される試料１点（Ok-4）についてフーリエ変換赤外分光分析（島津製作所製 FTIR-8000）を実施した（以下 FT-IR 分析と記す）。

４．調査結果および考察

調査結果を表１に記す。

表１．岡本前耕地遺跡出土漆器断面構造分析結果一覧

分析No.	品 名	縦×横×高mm	採取地点	地塗	加飾	塗膜構成				時 代
						下地		上塗り		
						層数	混和物	層数	色材	
Ok-1	結歯式竪櫛	38×24×4(厚)	H	赤	無	3層	鉱物・炭粉	5層	ベンガラ・朱	縄文時代後期
Ok-2	櫛突起部	7×7×5(厚)	H	赤	無	1層	鉱物	3層	ベンガラ	縄文時代後期
Ok-3	壷型土器	105×75×7(厚)他	E	茶	無	外面:1層	—	内面:1層 外面:2層	ベンガラ	縄文時代後期
Ok-4	漆塊(容器内容物)	33×28×11	E	—	—	鉱物が混在				縄文時代後期
Ok-7	漆塗膜	31×20	F	赤	無	1層	炭粉	16層	ベンガラ	縄文時代後期
Ok-8	木器	49×49× 16	H	赤	無	1層	炭粉	2層	ベンガラ	縄文時代後期
Ok-9	木器	175×95×52(厚)	H	赤	無	1層	—	1層	ベンガラ	縄文時代後期
Ok-10	藍胎漆器片	13×10、12×9	H	赤	無	1層	鉱物	7層	ベンガラ	縄文時代後期

＊ベンガラは全てパイプ状ベンガラ

鉱物が混和された下地を有する資料はOka-1、2およびOka-10である。Oka-1の竪櫛断片の下地は漆層、鉱物層、および炭粉の3層で、上塗りは漆層、ベンガラ漆3層、および朱漆層の5層からなる。鉱物下地には石英(Qtz)、斜長石(Pl)や針状の斜長石が混在した安山岩質火山岩片およびガラス片(Gl)を含む凝灰岩片からなり、主として火山灰からなる物質が混和された可能性が高い。Oka-10の籃胎漆器の下地は鉱物層1層で、上塗は混和密度が異なるベンガラ漆3層、漆層、および下層より細かい粒子のベンガラ漆3層の7層からなる。鉱物下地は多結晶石英、凝灰岩片、角閃石(Hbl)、緑泥石（Chl）からなる。花崗岩砕屑物と火山灰からなる砂状物質が混和された可能性が高い。Oka-4は、赤彩された容器に入れた漆が固化し、内容物である漆塊破片のみ残存したもので、断面観察から鉱物の混在が認められた。内在する鉱物は単結晶石英、角閃石、斜長石、針状の斜長石が混在した安山岩質火山岩片、および凝灰岩片からなる。他の部位から摘出した試料には多結晶石英も観察される。主として火山灰からなる砂状物質を主体とし、花崗岩砕屑物を含む物質も混在している可能性が高い。Oka-7およびOka-8は炭粉下地1層で、上塗はOka-8は漆層とベンガラ漆層の2層からなるが、Oka-7はベンガラ漆層と不明塗膜層の互層が16層となり特異な構成をなしている。Oka-3およびOka-9には下地が認められない。Oka-3の上塗りは内面ベンガラ漆1層、外面がベンガラ漆2層。Oka-9の上塗はベンガラ漆1層の単純な塗りである。

鉱物下地を有するOka-1、10は材料を吟味し研ぎを行う等の丁寧な造りが認められ、高度な漆工技術により制作されたことが伺える。下地に使用されている鉱物は両資料とも火山灰からなる物質が混和されており、この時期に既に下地材として選択的に使用されていたことが推定される。また、色材料としてOka-1は最上部に朱漆を塗布し一層鮮やかになるように仕上げ、Oka-10はベンガラの粒度を調整し、発色効果を熟知した塗りを行っている。Oka-4に混在する鉱物は、Oka-1、10に混和された鉱物と類似する鉱物組成であり、下地調整に使用し残存した漆塊とも推察されるが、Oka-7の不明塗膜とともに今後さらに検討したい。縄文時代に比定される漆製品の下地調整に着目し、岩石鉱物学的見地を加味した漆器製作技法の調査は本件が最初である。今後、調査を継続し事例を重ね、縄文時代の漆器製作の実態を明らかにしたい。

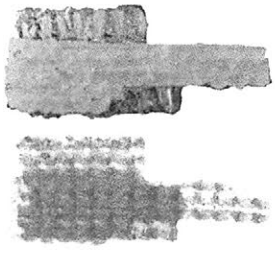


写真１．上：Oka-1外観、
下：Oka-1のX線透過写真

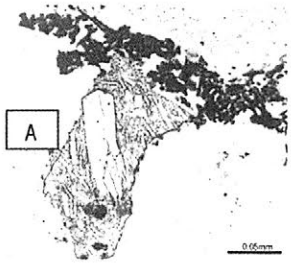


写真２．Oka-1塗膜断面（透過）
A：斜長石が混在する火山岩片（オープンニコル）

P−31

一乗谷朝倉氏遺跡出土漆器塗膜断面構造から推定される下地調整技法(2)

○武田昭子(昭和女子大学)・水村伸行(朝倉氏遺跡資料館)・赤沼英男(岩手県立博物館)・
土谷信高(岩手大学)

1．はじめに

一乗谷朝倉氏遺跡は、戦国時代に越前一国を支配していた戦国大名である朝倉氏の居館を中心とした城下町遺跡である。本遺跡からは、1967 年の発掘調査開始以後今日にいたるまで、160 万点を数える遺物が出土している。漆製品ならびに漆器製作関連資料も相当数見出されており、中世における漆器製作技法と漆器の使用状況を知るうえでの重要な資料に位置づけられている。

筆者らは、2006 年以降継続的に当該遺跡から出土した漆器の自然科学的調査、とりわけ、下地調整技法に視点を当てた製作技法に関する調査を実施してきている。これまでの調査結果によると、朝倉氏遺跡出土漆器は鉱物下地と炭粉下地の２つに大別され、前者はさらに花崗岩質砕屑物を含む火山灰を混和して下地とした資料と、花崗岩砕屑物を起源とする砂を混和し下地とした資料の２つに細分された。朝倉氏遺跡には複数の地域で製作された漆器がもたらされていた可能性の高いことを示している。

これまでの調査は椀を主体に進められてきたが、本研究では椀に加えこれまでは未調査の箱および鉢を新たに調査対象とした。とりわけ箱については大陸からもたらされた可能性があるものも含まれていて、大陸との漆に関する物質文化交流を検討するうえで重要である。以下に調査結果を報告する。

2． 調査資料

調査資料は表１に示す４資料である。Ask-51 は屋敷番号 36-21 と呼ばれる間口 6.5m、奥行 15.5mを測る町屋内、Ask-52 は屋敷番号 44-10 と呼ばれる間口・奥行共に 23.0mを測る屋敷の整地層から出土した。共に 15 世紀代の資料と推定される。Ask-52 が検出された屋敷跡からは、墨壺や砥石などが出土していることから、大工の棟梁クラスの屋敷として使用されていた可能性がある。Ask-53 は大形武家屋敷からの出土である。１遺構面と呼ばれる上層遺構を覆う焼土層からの出土で、15 世紀後半に属する遺物と考えられる。Ask-54 は大形の武家屋敷内の排水用溝である SD4081 より検出された。縦 210mm、横 90mm、高さ 25mm を測る化粧箱、又は硯箱の蓋である。全体は黒漆により塗られているが、表面には沈金法により植物が描かれている。その絵柄は中国東南部原産の「龍眼」、もしくは同南部原産の「荔枝」と考えられ、本資料は中国で生産された漆器である可能性がある。

3． 調査方法

調査試料の摘出は朝倉氏遺跡資料館において実施した。医療用メスを使って漆塗膜断片から数㎜角摘出し、得られた試料をさらに２分してそれぞれを塗膜断面の組織観察が可能となる方向にエポキシ樹脂で固定した。一方については薄片にして塗膜断面構造を調べ、偏光顕微鏡で塗膜断面の下地部に混在する各種鉱物を同定した。もう一方についてはダイヤモンドペーストで鏡面仕上げし、EPMA で分析して塗膜面に混在する各鉱物相の化学組成を求めた。得られた結果を基に、下地に混和された物質および下地調整技法について検討した。

4．調査結果

Ask-51 の縁部断片は黒色の地塗りで無紋。摘出した試料の塗膜断面は６層からなる。下地層は下層から黒色微粒子が密に混和された漆による布着せ層、細粒の鉱物が混和された層、細粒の鉱物中に下層に比べやや大きい鉱物や黒色粒子がまばらに分布する層、細粒の鉱物中に黒色粒子がまばらに混和された層の４層によって構成される。偏光顕微鏡観察および EPMA による分析によって、多結晶石英(Qtz)、単結晶石英(Qtz)、斜長石(Pl)、カリ長石(Kfs)、および紅柱石(And)が混在することがわかった。変成岩を岩源とする物質が混和されている可能性が高い。

Ask-52 内面の上塗り層は４層、下地層は２層、外面から摘出した試料の上塗層は５層、下地層は３層である。外面下地の最下層は Ask-51 同様布着せ層である。内面は赤色の地塗りで、色材料には朱(HgS)が使用されている。下地層は内外面ともに鉱物下地で、石英、角閃石(Hbl)、火山ガラス片(Gl)、斜長石、

およびカリ長石がみられ、変質した黒雲母がいたるところに分布する。少量の火山灰を含む花崗岩砕屑物が混和された可能性が高い。

Ask-53 は内（口縁部）外面ともに上塗り層は３層、高台内は４層。内面、高台内の下地は２層で外面は１層。外面高台内部のみ黒色で、内外面ともに赤色の地塗りで無紋。赤色の色材料は水銀朱。内面（口縁部）と高台内下地の最下層は布着せ層。下地層はいずれも鉱物下地で、多結晶石英、単結晶石英、火山ガラス片、斜長石、カリ長石、および角閃石が観察される。十分に固化していないと推定される凝灰岩がいたるところに分布する。花崗岩砕屑物と思われる物質を含む火山灰が混和された可能性が高い。

Ask-54 は内外面とも上塗り層が３層、下地層は４層で、下地層の最下層は布着せ層。内外面とも黒色の地塗りで無紋。内外面の下地層には石英、カリ長石、角閃石、および黒雲母(Bt)が混在する。カリ長石の斑晶を含む流紋岩質火山灰が混和された可能性がある。

５．考察

調査した４資料はいずれも鉱物下地である。Ask-52 内面および Ask-53 内外面に使用された赤色系色材料はいずれも朱で、Ask-52 外面、Ask-53 内面（口縁部）・高台内部、および Ask-54 内外面には布着せ層が確認された。布着せは全体に施すものと、主要な部分のみにとどめておくものがあるため、試料の摘出個所を吟味し明確にしておく必要がある。下地に使用された混和材は Ask-51 では変成岩を岩源とする物質、Ask-52 では少量の火山灰を含む花崗岩砕屑物、Ask-53 では花崗岩砕屑物と思われる物質を含む火山灰、Ask-54 ではカリ長石の斑晶を含む流紋岩質火山灰と推定される。４資料とも下地の構成鉱物に明瞭な差異がみられる。Ask-52 で確認された紅柱石は、これまで実施した朝倉氏遺跡出土漆器資料においてはじめて検出された鉱物である。Ask-54 については、カリ長石の斑晶を含む流紋岩質火山灰の混和と、資料表面の植物文様の状況から、大陸起源の可能性も考える必要がある。この点については今後類例の蓄積を図りながら検討することとしたい。Ask-53 において観察された凝灰岩片は境界が不明瞭で、十分に固化していないと考えられる。このような岩石片が混在するという事実から、下地材調整時に十分な粉砕がなされず、漆との混和が不十分だったことを示している。

これまでの調査で確認された鉱物下地は、花崗岩質砕屑物を含む火山灰を混和し下地と花崗岩砕屑物を起源とする砂を混和し下地とした資料の２種類であったが、今回実施した調査によって新たに変成岩を岩源とする物質とカリ長石の斑晶を含む流紋岩質火山灰が加わった。朝倉氏遺跡には大陸をも含む複数の地域から漆器がもたらされていた可能性が高い。今後、一乗谷朝倉氏遺跡をはじめほぼ同時期に比定される漆器について、下地調整技法に着目した調査を実施し、それらの結果を形態学的研究結果に重ね合わせ、資料分類を進めることによって、中世の漆器製作と使用の実態に迫る重要な情報が得られるものと期待される。

表1．分析試料

分析No.	資料No.	発掘年月日	器種	グリッド	遺構	直径φ×高さH 縦×横	破片総数	残存率%	塗膜			
									地塗		加飾	
									内面	外面	内面	外面
Ask-51	36次	800623	箱（縁部）	NL48	下層・トレンチ内・炭混じり黒褐色土（屋敷番号36-21）	88×24・厚10	1	不明	黒	黒	無	無
Ask-52	44次 11305	830422	鉢	HG55	黄色山土整地土（屋敷番号44-10）	110×75・厚3～4	10他	35	赤	黒	無	無
Ask-53	46次	831001	椀	NE73	Ⅰイコウ上面焼土層（大形武家屋敷）	105×54・厚2～2.5	8他	20	赤	赤・高台内黒	無	無
Ask-54	104次		箱（蓋部）	SD4081	（大形武家屋敷排水溝）	210×90・H25・厚2.3	1個体	80	黒	黒	無	沈金で植物文様

P−32

達磨大師像台座に用いられた漆塗膜と下地の科学分析

○神谷嘉美（明治大学院理工）・宮腰哲雄（明治大学理工学部）

1. 緒言

日本における漆工品の歴史は北海道垣ノ島 B 遺跡出土品の発見によって、今から 9 千年ほど遡ると言われている。このように漆は塗料や接着剤として、様々な用途に古くから利用されてきた身近な天然高分子材料である。しかし漆塗り出土品が示すような優れた耐久性を持つ一方で、天然材料である漆塗膜は紫外線の影響を受けやすく、最終的には塗膜が消失してしまう。

そこで特に劣化が早いと指摘されてきた、鉄分混入によってつくられる精製黒漆を中心に、紫外線照射装置を用いて強制的に漆塗膜を劣化させる実験を行い、塗膜の評価を行ってきた。その結果、擬似的に劣化させた漆塗膜に対して、複数の分析手法を組み合わせて評価することにより、漆膜の紫外線劣化を以下のように推察した。紫外線を照射した漆膜内では、電子的に不安定な部分を開始点とした切断に続いて、周囲の水や酸素による酸化反応が生じる。次にこれらの鎖の切断と酸化反応により、漆膜を構成しているベンゼン環とその側鎖による 3 次元網目構造が徐々に分解していく。こうした一連の反応によって、漆塗膜の平滑度が低下し肌荒れ状態（チョーキング）や、細かな亀裂（断文）の発生、膜厚の減少などを起こすものと考えられる。しかしながら強制的に劣化させた漆塗膜を紫外線劣化のモデル試料として今まで観察してきたが、漆文化財への応用を考えた時には、劣化の擬似試験と実際に経年劣化した試料との相関を検討する必要がある。そこで前報で取り扱った萬延元年製作の黒色仏壇に引き続き、モデル実験と同様の方法を用いて黒色台座を対象に分析した結果を報告する。

2. 実験

2-1. 分析試料

寛政 3 年（1781）製作の達磨大師像が置かれていた黒色台座の背板。大師像が接していた正面には金色が一部残っているが、それ以外の部分は黒色無地の仕上げとなっている。屋内に置かれていたとはいえ長年の埃などの蓄積による汚れが激しく、柔らかい筆で表面を払った後、純水をわずかに含ませた綿棒にて塗膜表面の汚れなどを除去してから使用した。ここでは正面の金色に見える部分を〔Sample 1〕、黒一色である裏面部分を〔Sample 2〕として、取り上げる。

図 1　分析試料

2-2. 分析方法

目視的評価方法：目視観察
　　顕微鏡観察（反射光／透過光）
　　色彩測定（D65 光源／10 度）
　　60 度鏡面光沢度測定
科学的評価方法：FT-IR（KBr 法）
　　Py-GC/MS（熱分解：500 度）
　　X 線光電子分光法〔XPS〕

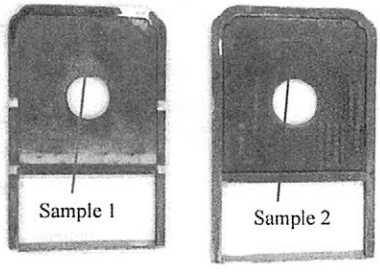


図 2 分析箇所
(左：正面側、右：裏側)

3. 結果と考察

3-1. 目視的評価

図 3 には試料表面の状態を示す。Sample 1 は反射光下で金色に輝いているように見える。目視観察では金箔層が最表面にあると考えられたが、透明度の高いと思われる塗膜層が最表面には存在している可能性が示された。また鏡面光沢を比較すると、Sample 1 は 2.10 だが Sample 2 では 74.92 と非常に高い光沢率となっており、これは塗膜表面の平滑度に依存していると考えられる。また色彩測定の結果から、Sample 1 は赤み・黄色みが Sample 2 よりも約 2 倍程度強いことがわかり、目視での印象がよく反映されている。

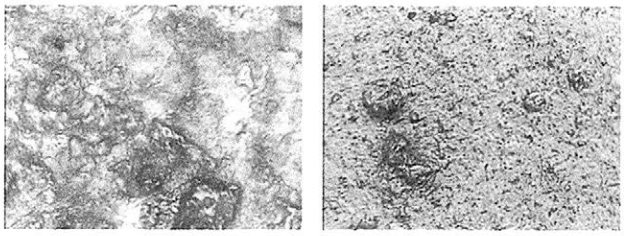


図 3　試料表面の顕微鏡観察（×2000）
(左：Sample 1、右：Sample 2)

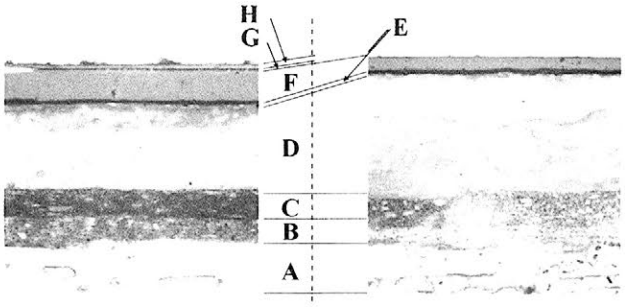


図 4　透過光を用いた断面観察（×20）
(左：Sample 1、右：Sample 2)

次に断面観察を行い、両試料の構造について比較した（図 4）。その結果、A:木地層、B:灰色下地①、C:灰色下地②、D:白色下地層、E:黒色塗料層、F:塗膜層、G:箔層、H:塗膜層という構造である可能性が高いと示された。目視観察では単調な黒色に見える塗膜であったが、透過光の観察により、墨を塗った上に顔料を含まない素黒目漆のような透明性の高い漆層が重ねられて黒味を出しているものと推察する。

3-2. 科学的分析評価

Py-GC/MS や FT-IR から塗膜層は漆であり、下地層 B～D からは膠が検出され、ほとんど漆を含んでいない下地である可能性が示唆された。これより本試料の下地層は漆を含まない「紛（まがい）下地」であることが明らかとなった。下地層 D には下地 B~C よりも多くの炭酸カルシウムが含まれていると考えられ、炭酸カルシウムの検出により胡粉を用いた下地であると考察される。

また目視の段階では金箔のような印象を受けていたが、塗膜層 F との接着面を XPS によって分析した結果、金の検出はほとんどなく、銀の検出が認められた。

4. まとめ

当初の観察では下地層（灰色）→下地層（白）→塗膜層→金属箔という構造に思われたが、箔の分析や断面構造を詳細に検討した結果、胡粉量の少ない膠を含む灰色下地層（2 種類）→胡粉を多く含んでいる膠下地層（白色）→墨→漆層→銀箔→漆層という構造をしているとわかった。また正面側に比べ裏面では、白色下地層は同じだが、胡粉下地層は厚くつけられ、墨を塗った上に薄い漆層が存在していた。以上より本試料の正面側は、白檀塗りと呼ばれるような銀箔の上に茶褐色の漆層を重ねる仕上げとすることで、金色を生み出し、金箔仕上げのように見せていたものと考えられる。

[謝辞]

本報で取り扱った試料は、不動堂㈱ 倉田治彦氏により提供していただきました。ここに記して深く感謝申し上げます。

P−33

縄文文化前期の漆製品に関わる材質と技法

−帯広市大正8遺跡の事例から−

○小林幸雄*　　北沢実**
*北海道開拓記念館　　**帯広百年記念館

はじめに

帯広市大正8遺跡では、墓から4点、住居から1点、合計5点の赤色系遺物が出土した。いずれも所属時期は縄文文化前期初頭（綱文式期）である。当初、「一定の範囲に散布された赤色顔料が面的に広がって残ったものであるのか？」あるいは「漆製品に由来する可能性はないのか？」など、遺物の性格そのものが不明のまま検討をはじめた。

今回は、漆製品の特徴を有する1点(No.2)について、その材質と技法を検討したので報告する。

1．調査

調査対象(No.2)について、次のように観察と分析を進めた。①外観観察、②調査対象の本体から脱落した微小片2片(No.2-1、No.2-2)の断面を研磨した後に、走査電子顕微鏡(SEM)による反射電子組成(BEI-COMPO)像観察、エネルギー分散型分析装置(EDS)による元素分析、③その後、さらに断面を薄片化した後に光学顕微鏡観察をおこなった。④同じく、脱落微小片(No.2-3)について、SEMによる表面観察をおこなった。

2．結果

(1)　外観：赤色遺物は約2×3cmの範囲に残る。表面には赤彩塗膜が存在し、漆製品の特徴に類似する。脱落片の裏面には素地(胎)痕跡も存在する(図1、図2)。

(2)　塗膜の層構成：塗膜断面の観察結果を図4に示した。ともに表面には赤彩層が存在し、その下層には下地層あるいは素地（胎）層が存在する。とくに、No.2-2（図4−下段）の場合には、4㎜ほどの下地層あるいは素地(胎)層を挟んだ下層にもう一度赤彩層が存在する。よって、この赤色遺物は、厚さ約4㎜の器胎両面が赤彩された漆製品であると推定した。

(3)　赤彩層：主成分として鉄（Fe）、この他にはアルミニウム(Al)、珪素(Si)などを検出した。断面観察では、赤彩材料は最表面だけではなく下地層あるいは素地(胎)層の内部にも落ち込むように存在する。表面の赤彩層は部位の違いによって幅や厚薄などの差異は大きいが、U字状やV字状の凹部に沈潜するように堆積する様子は共通する。No.2-1、No.2-2では、赤彩層の最大厚さは約100μmを示す。なお、SEMによる表面観察では、赤彩層の部分にパイプ状ベンガラ粒子が存在する(図3-1、図3-2)。あわせて、本遺跡ではこの他の「赤色遺物」2点（No.4、No.5）にも、パイプ状ベンガラ粒子が存在した。

(4)　下地、素地(胎)：断面観察によると、赤彩層直下には、約4㎜の下地層あるいは素地(胎)層が存在する。大小の空隙部も多く、赤色顔料の落ち込みが存在するなど、観察部位により組織は異なり一様ではない。全体には、植物質繊維と推定される有機質系素材に漆系材料が浸透したように観察される。No.2-1の赤彩層直下には、植物質繊維の撚りに類似する部位も観察される。図3-3には、SEMによる赤彩層直下の観察像を示した。ここには、劣化が進んだ漆塗膜にみられるような円球状の脱落孔が全体に観察される。

まとめと課題

今回の検討によって、縄文文化前期初頭（綱文式期）の墓から出土した赤色遺物について、繊維質を素地（胎）とする漆製品の一種であることを明らかにした。出土状況や資料サイズなどから、装飾品である可能性は高い。また、素地(胎）そのものに空隙部が多く存在し、各所では赤色顔料が素地内部に落ち込むなどの特徴を有し、小さな編み篭・編み袋などの可能性も推測される。今後、この時期における類例の追加を待って検討を深めたい。また、北海道では、縄文文化早期（函館市垣ノ島B遺跡の事例）から縄文文化前期にかけて、糸・紐を胎とする繊維質胎系漆製品の出現頻度は高い。この事実は、縄文漆工開始期の動向として注目される。

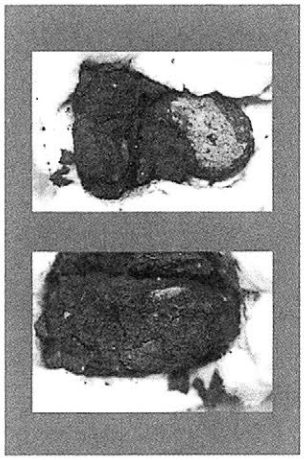


図1　調査対象(No.2)

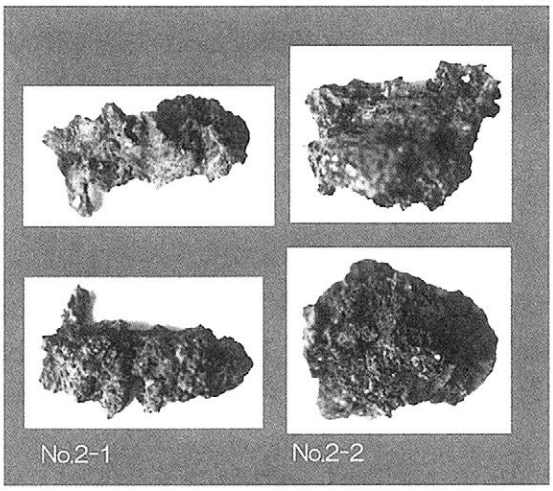


図2　分析試料

図3　SEM観察

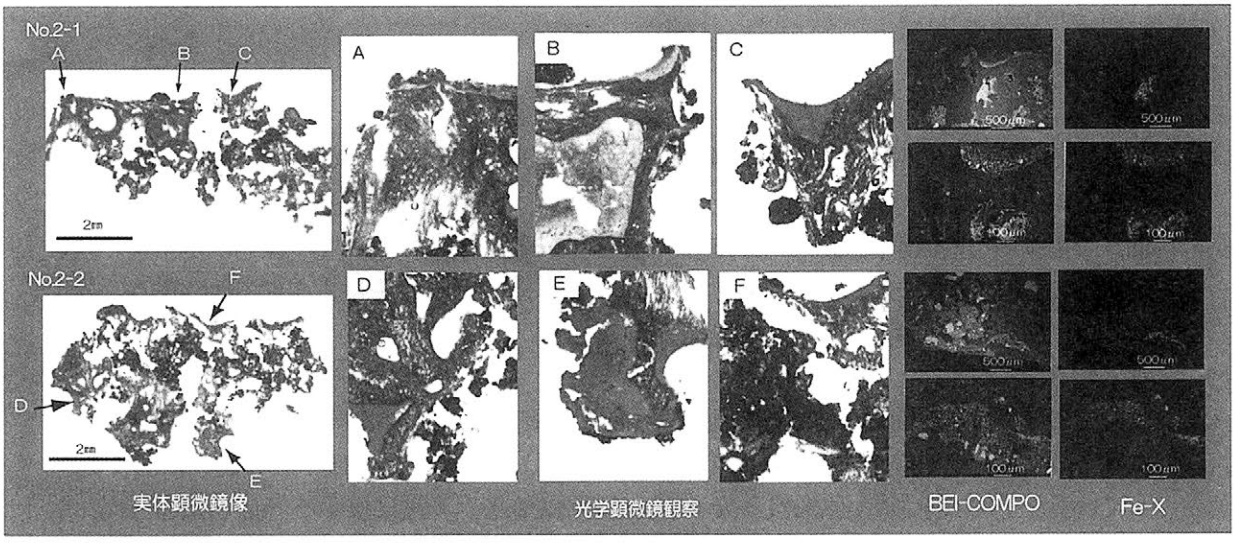


図4　塗膜断面の顕微鏡観察

P－34

北海道における縄文文化晩期の朱彩漆器

－釧路町天寧（テンネル）１遺跡の事例から－

小林幸雄*　南武志**　工藤研治***　福井淳一****

*北海道開拓記念館　**近畿大学　***北海道教育委員会　****財団法人北海道埋蔵文化財センター

はじめに

本遺跡では、低湿地の遺物包含層中において、10×10cm ほどの範囲に赤彩の漆器片が散在するように発見された。この調査対象は、今回の検討によって朱彩漆器であることが明らかとなった。包含層からの出土であるため、時期を特定することには困難を伴うが、縄文文化晩期前葉に所属する可能性が推定されている。ポスターでは、材質や技法などの技術内容を報告し、朱彩漆器としての特徴を考察する。

１．調査

調査対象は、出土漆器の塗膜を構成する微小片であり、合計 80 片を越える。最大が 4×8 ㎜ほどであり、大半は一辺が数㎜以下、膜厚は全てが 1 ㎜以下である。微小片は、「表面全体が赤彩された微小片（赤彩微小片）」と「表面が赤と黒の２色で塗り分けられた微小片（赤黒塗り分け微小片）」の２種に大別される。

今回は、2 種の微小片の中から、赤黒塗り分け微小片 2 片(No.1、No.2）を選択し、次のように検討した。①2 片ともに、外観観察と写真撮影した後に、②No.1 については、走査電子顕微鏡による表面観察と材質分析をおこなった。③No.2 については、塗膜の断面を研磨した後に EDS 分析装置によって元素分析し、さらに断面研磨試料を薄片化した後に、光学顕微鏡下において塗膜の層構成を確認した。

２．結果

(1)　外観：調査対象の漆器片は全てが微小片であり、器形の原状や用途などを推定することは困難である。しかし、一部の表面を赤と黒に塗り分けるなど、特徴的な技法を有する。一方、裏面は黒色系あるいは黒褐色系の色調を呈するなど外観は全般に類似する。個々の接合関係を復元することは困難であるが、微小片の全てが同一個体（漆器）に由来する可能性は高い。赤黒塗り分け微小片の表面は、赤彩の線描きが幅 1 ㎜弱（No.1:約 570～750μm）によって施されている。

(2)　塗膜の層構成：表面および断面の観察によると、表面(上層)には線書きの赤彩層、その下層には下地の飴色層が存在する。線描きされた赤彩部は、層厚が 10～12μm の範囲にあり安定している。下地は赤彩層(線書き)と接する面が平滑であり、素地に接する下面では凹凸が顕著である。部位による厚薄の差は大きく、最大層厚は約 300μm を示す。

(3)　赤彩材料：赤彩部からは、朱漆中の水銀朱に由来する水銀(Hg)が検出された。

まとめと課題

今回の観察によって、以下の知見を得た。

(1)　本遺跡から出土した漆器には、赤彩用の顔料として水銀朱を含む朱漆が利用されていた。北海道では、水銀朱の使用が縄文文化中期末葉まで遡り、以後、後期中葉から末葉に集中する。その一方で、これまでは晩期の赤色顔料としてベンガラのみが確認されている。調査対象が縄文文化晩期に所属するならば、この時期の北海道では水銀朱使用のはじめての事例となる。今後とも、関係資料の吟味に努めたい。

(2)　極細でありかつ繊細な線(赤彩)を自由に描き分けていることから、獣毛など、現代漆工に用いられている毛筆具に類した道具類を使っていた可能性も視野に入れる必要がある。

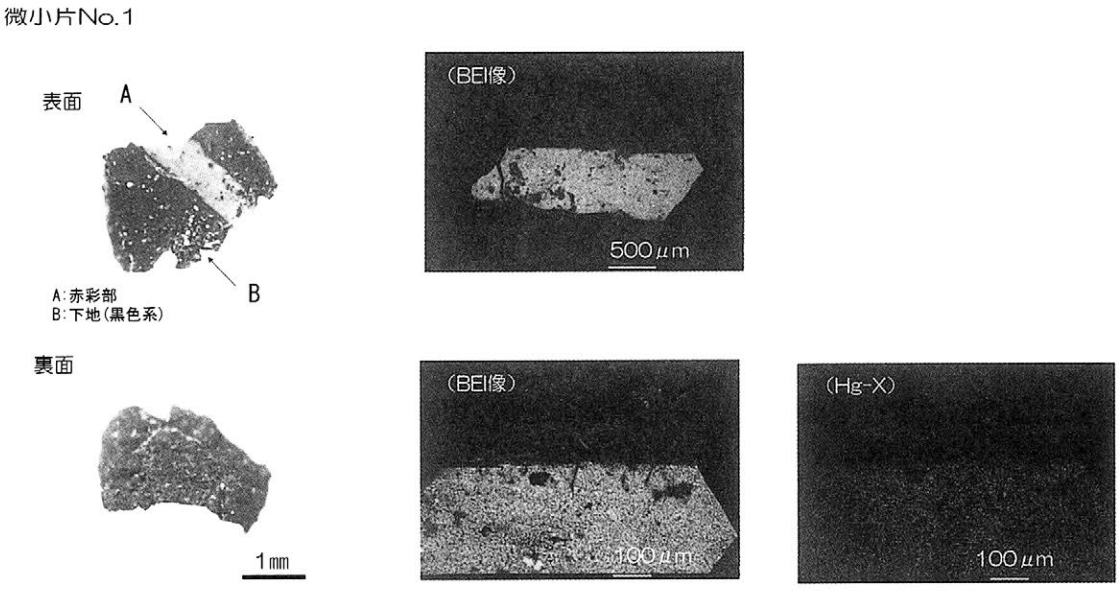


図1　表面観察

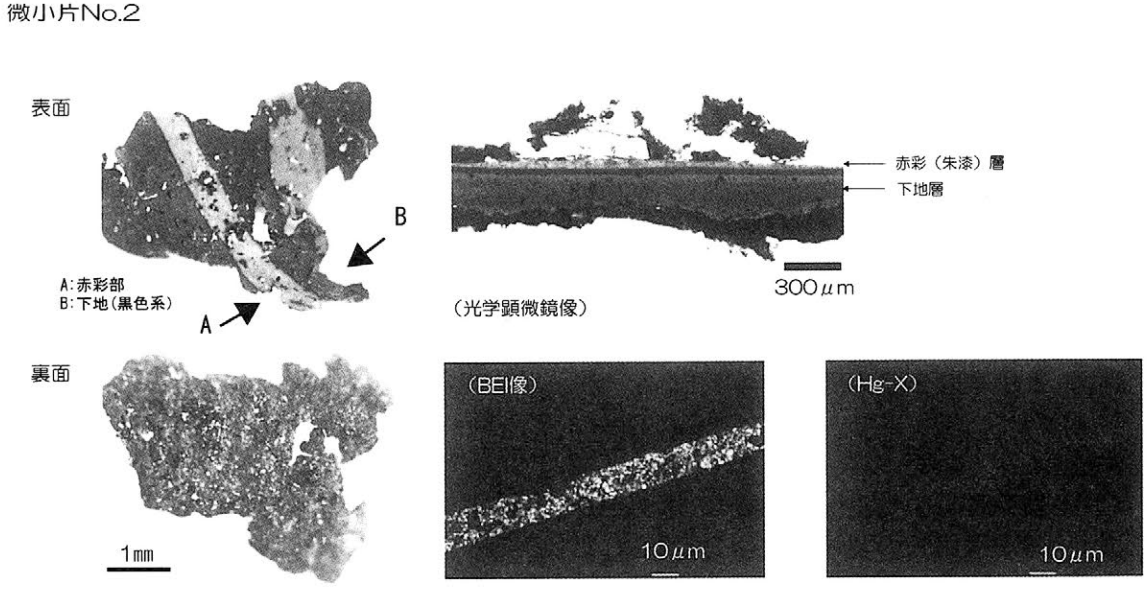


図2　断面観察

P−35

島根県内の赤色顔料について

○島根県埋蔵文化財調査センター　柴崎晶子

1. はじめに

古代よりよく知られた赤色顔料には水銀朱（HgS；硫化水銀）、ベンガラ(Fe_2O_3；酸化第二鉄)、鉛丹(Pb_3O_4：四三酸化鉛)があるが、このうち島根県内の遺跡から出土した遺物に付着しているのは水銀朱かベンガラが多用されていることが蛍光X線分析によってわかった。

以下、時代ごとに蛍光X線分析の結果を述べる。

2. 分析方法

エネルギー分散型蛍光X線分析（XRF）による定性分析を行なった。

使用機器は奈良大学保存科学研究室が所有・管理しているEDAX社製エネルギー分散型微小部蛍光X線分析装置EAGLEⅡXXLである。

分析条件は以下のとおりである。

X線管球；Cr（クロム）	走査範囲；$2\theta = 65°$
測定雰囲気；真空	測定時間；200 秒
管電圧；25Kv	管電流；800 μA

3. 縄文時代

島根県雲南市に所在する原田遺跡、北原本郷遺跡、家の後Ⅱ遺跡、島根県仁多郡奥出雲町に所在する林原遺跡から多くの縄文土器が出土している。これらの遺物には、水銀朱またはベンガラが付着しているものがあることが蛍光X線分析によって確認された。

原田遺跡では土偶 1 点にベンガラが塗布されていた。

北原本郷遺跡では 11 点の縄文土器にベンガラが付着しており、2 点の縄文土器に水銀朱が付着していた。

家の後Ⅱ遺跡では滑車状の土製耳飾り 1 点に水銀朱が塗布されており、1 点の縄文土器にベンガラが塗布されていた。

林原遺跡では 1 点の縄文土器には内面に塗膜状に付着した水銀朱が検出された。また、1 点の縄文土器には外面の文様に入り込むようにベンガラが付着していた。

4. 弥生時代

島根県出雲市中野清水遺跡では 4 点の土師器から水銀朱が検出された。

同出雲市山持遺跡では 2 点の土師器と 1 点の弥生土器から水銀朱が検出された。

また島根県松江市田中谷遺跡では 1 点の弥生土器から水銀朱が検出された。

これらの土器はボウル状の鉢の形式を持っており、片口がついている。また外面は黒く煤けており、水銀朱は土器内面に付着していた。

5. まとめ

水銀朱が検出された土器は縄文、弥生ともにボウル状の鉢の形態をしていることがわかった。したがって、水銀朱の製造・加工に使用されたものであると考えられる。特に林原遺跡で出土した縄文土器に塗膜状に付着した水銀朱は、土製耳飾りに塗布された水銀朱と残存状態が似ており、何らかの固着剤と加工したものと推測される。

また、島根県近郊には大規模な水銀鉱床は存在していないため、水銀朱は外部から持ち込まれたものと考えられる。

参考文献

・市毛勲　1998『新版　朱の考古学』雄山閣
・国土交通省中国地方整備局・島根県教育委員会　2007『尾原ダム建設に伴う埋蔵文化財・発掘調査報告書9　家の後Ⅱ遺跡 2・北原本郷遺跡 2』
・国土交通省中国地方整備局・島根県教育委員会　2007『尾原ダム建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書 11　林原遺跡』
・国土交通省中国地方整備局・島根県教育委員会　2006『一般国道 9 号出雲バイパス建設予定地内埋蔵文化財発掘調査報告書 7　中野清水遺跡(3)・白枝本郷遺跡』
・島根県教育委員会　2007『国道 431 号道路改築事業(東林木バイパス)に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書　Ⅳ　山持遺跡Ⅱ・Ⅲ区　vol.2』
・島根県教育委員会　2007『国道 431 号道路改築事業(東林木バイパス)に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書　Ⅴ　山持遺跡 vol.3(Ⅳ区)』

謝辞　蛍光X線分析に際し、奈良大学保存科学研究室の西山要一教授には機器の使用にあたり格別のご配慮をいただきました。厚く御礼申し上げます。また、このような分析の機会を与えてくださった島根県教育庁埋蔵文化財調査センターの方々には深く御礼申し上げます。

P−36

堤方権現台古墳木棺内におけるパイプ状粒子の生成

○藤根　久・佐々木由香(パレオ・ラボ)・松原典明(堤方権現台古墳調査団)

1. はじめに

東京都大田区池上に所在する6世紀第2四半期の堤方権現台古墳において、主体部の木棺内に尻繋の馬具一式が出土した。そのほか木棺内には、副葬品として尻繋の中央に配される雲珠や鉄地金銅張りの剣菱形杏葉、紐が交差する箇所につける辻金具、鏡板のついた轡などが出土した。

この木棺内から出土した木質遺物や布の表面には、鉄遺物に由来すると考えられる鉄錆が全体的に見られた。この植物質遺物について走査型電子顕微鏡で観察したところ、パイプ状粒子が木材道管内を充填する様子あるいは布表面において積み重なった状態が観察された。このパイプ状粒子は、赤色顔料中に見られるパイプ状ベンガラと同じ形態を示すことから、鉄バクテリアにより生成された水酸化鉄と考えられる。

木棺内では鉄遺物に由来する鉄分に富み、適度な湿気があるため、鉄バクテリアが繁殖してパイプ状粒子が生成されたことが考えられる。発表では、この木棺内で生成されたパイプ状粒子の詳細について発表する。

2. 試料と方法

試料は、提方権現台古墳の木棺材および木棺内から出土した遺物を包んでいた布である(写真1)。

試料は、真鍮製試料台に両面テープで固定し、銀ペーストを塗布した後、金蒸着して走査型電子顕微鏡(日本電子㈱製　JSM-5900LV型)を用いて観察した。

また、パイプ状粒子の組成を調べるために、エネルギー分散型X線マイクロアナライザー(日本電子㈱製　JSM-5900LV+JES-2200)を用いて元素分析を行った。測定条件は加速電圧　30kV、分解能3.0nm、Si(Li)検出器、測定時間　300　秒である。なお、定量計算は　FP　法(ファンダメンタルパラメータ法)で計算した。

3. 結果および考察

この木棺内から出土した木質遺物や布の表面について、走査型電子顕微鏡で観察したところ、直径　2.5　μm　程度の長く伸びたパイプ状粒子が多く観察された。

写真1　木棺内の遺物出土状況

木棺材の道管内を充填するパイプ状粒子(パイプ状は少ない)は、道管内を横切るほか、道管の内壁面に沿う様子が観察された。また、パイプ状粒子と同じ物質が道管の内壁面に肥厚していた(写真2)。

一方、遺物を包んでいた布の表面では、厚さ1μm前後、長さ数十μmの中空のパイプ状粒子が積み重なった状態で観察された(写真3)。

このパイプ状粒子は、多くが直な棒状であるが、中には枝分かれしたもの、布表面に密着するものが観察された。また、外面はほとんどがなめらかであるが、細かな突起を多くもつものも観察された。

これらのパイプ状粒子の化学組成は、鉄(FeO)が 78.41～92.70%検出されたことから、鉄を主成分とした 次生成物である。なお 木棺材の道管内を充填するパイプ状粒子は、リン(P_2O_5)が 2.25～3.11%、カルシウム(CaO)が 0.63～ .24%検出され、他のパイプ状粒子に比べて高いことから、人骨の成分が含まれているものと考えられる。

古墳内のパイプ状粒子は、見城・浅井(1988)によりパイプ状ベンガラと称して 古墳内部で生じたものとして報告されている。 般的に、 で見られたパイプ状粒子は、赤色顔料中において見られるパイプ状ベンガラとして知られているが、その成因は鉄バクテリアの 種である *Leptothrix* sp.により生成されたものと考えられている(岡田、1997 など)。

ここで検出されたパイプ状粒子は、赤色顔料中において見られるパイプ状ベンガラと同様の成因により生成されたものと考えられる。

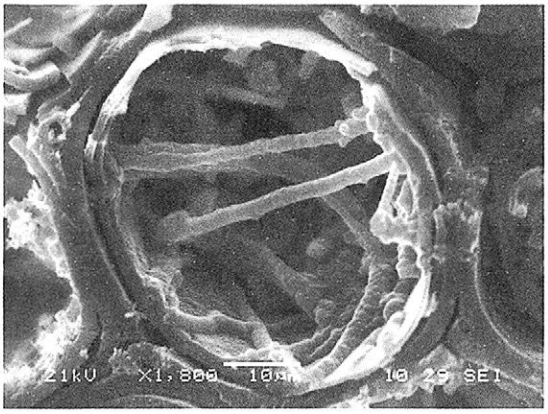


写真 2 木棺内のパイプ状粒子

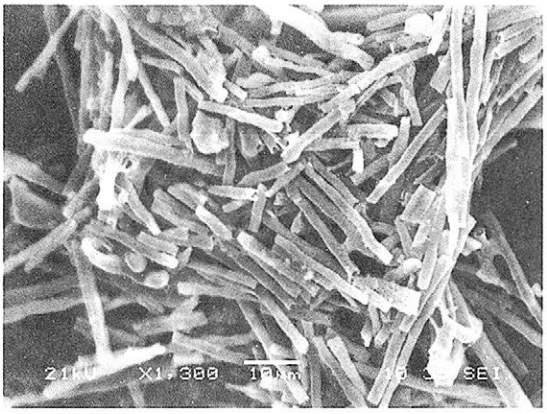


写真 3 布表面のパイプ状粒子

表 1 パイプ状粒子表面の元素分析結果(単位%)

試料	分布位置	測定位置	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	Cl	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO	Total
木棺材	道管内	1	0.67	-	1.36	1.26	2.96	-	-	-	0.63	0.12	3.13	89.86	99.99
		2	-	-	1.09	0.52	2.25	-	0.06	-	1.24	-	3.22	91.62	100.00
		3	1.68	-	0.38	1.89	3.11	-	-	0.11	1.18	0.16	3.25	88.25	100.01
布面	積重なった部分	1	1.04	-	10.97	0.44	-	-	0.14	-	-	0.14	2.74	84.53	100.00
		2	0.01	0.14	14.49	0.86	-	0.25	0.14	-	0.18	-	2.78	81.13	99.98
		3	-	0.70	16.27	1.42	-	0.14	0.39	-	-	0.04	2.52	78.51	99.99
	布面に密着する部分	1	-	-	1.53	2.20	-	-	0.07	-	0.45	0.25	2.79	92.70	99.99
		2	-	0.25	1.11	2.25	-	-	-	0.20	0.53	0.16	3.72	91.78	100.00
	表面に突起を持つ粒子	1	-	0.65	0.77	3.03	-	-	0.05	0.27	0.84	-	3.06	91.33	100.00
		2	1.06	-	0.68	2.47	-	-	0.14	-	0.61	0.00	3.46	91.57	99.99
最小値			0.01	0.14	0.38	0.44	2.25	0.14	0.05	0.11	0.18	0.00	2.52	78.51	
最大値			1.68	0.70	16.27	3.03	3.11	0.25	0.39	0.27	1.24	0.25	3.72	92.70	

4. まとめ

木棺材および布表面から検出されたパイプ状粒子は、赤色顔料中において見られるパイプ状ベンガラと同様の成因により生成されたものと考えられる。なお 生成される場所の違いにより、付随する成分に違いが見られた とから、成因を考える上で興味深いことから、今後の検討する価値があると考えられる。

引用文献

見城敏子・浅井俊雄(1988)古代赤色顔料について 日本考古学 20、25-45.

岡田文男(1997)パイプ状ベンガラ粒子の復元 第 14 回大会日本文化財科学会研究発表要旨集、38-39

P—37

愛知県朝日遺跡の赤色顔料分析

堀木　真美子（愛知県埋蔵文化財センター）

1　はじめに

愛知県清須市に所在する朝日遺跡からは、パレススタイル土器が大量に出土している。これまで、このパレススタイル土器に利用されている赤色顔料は、その色調からベンガラであるとされてきた。そこで今回、蛍光X線分析装置による元素の分析を行い、部位による違い、異なる地域の同時期の土器に使われている赤色顔料との違いなどの有無確認を行った。また産地赤色顔料の産地推定の手がかりとして、濃尾平野北東部の大垣市金生山より産した赤鉄鉱も併せて測定を行った。

2　分析試料および分析方法

今回分析を行った試料は、朝日遺跡より出土したパレススタイル土器66点と下懸遺跡（安城市）から出土したパレススタイル土器41点である。また同一土器の部位による赤色顔料の違いの有無を確認するために、口縁や胴部など複数の箇所から試料を採取した。分析試料数は163点となる。

分析試料はいずれも、セロハンテープを用いて、できるだけ顔料のみを採取した。分析装置は（株）堀場作所製のエネルギー分散型蛍光X線分析装置XGT-5000XIIを用いた。測定条件は、励起電圧：30kV、計測時間：500s、X線管球：Rh、測定雰囲気：大気中、X線照射径：100 μ mである。1試料中の測定箇所は、鉱物粒や色調の異なる箇所を避けるように5カ所を設定した。

3　結果

検出された元素は、Si(ケイ素)、S（硫黄）、K（カリウム）、Ca（カルシウム）、Ti（チタン）、Cr(クロム)、Mn（マンガン）、Fe（鉄）、Cu（銅）、Zn（鉛）、Ni（ニッケル）、Rb（ルビジウム）、Sr(ストロンチウム）である。

4　考察

（1）赤色顔料の種類について

今回分析を行ったパレススタイル土器の赤色顔料は、全試料163点中にHgを含むものはなく、すべてFeを多く含むベンガラであると判断された。

時期による違いを検証する。朝日遺跡の試料の時期は八王子古宮、廻間、山中である。各試料の時期と分析値を比較するが、明確な違いは認められない。また器種による違いも確認できない。さらに同一土器の複数箇所から採取された分析試料の測定結果をみると、3試料（46,57,60）のみ、同一の元素が確認されるにとどまった。下懸遺跡の試料においても、朝日遺跡と同様、部位による、元素の組み合わせに傾向は認められない。また器種による傾向も確認できなかった。

（2）赤色顔料の産地推定の可能性について

濃尾平野の北東部には、赤鉄鉱を産した金生山が存在している。この金生山の赤鉄鉱はAsおよびCuを含んでいることが知られている。また金生山付近の古墳から出土する鉄製品にAsやCuが含まれていることや、金生山の赤鉄鉱を用いて実験的に制作された鉄にもAsやCuが含まれることが確認されている（尾上1995, 金生山赤鉄鉱研究会　2001他）。そこで金生山の赤鉄鉱を、赤色顔料と同様の分析を実施した結果、測定点によりAsの検出に違いが認められた。Cuは確認することができなかった。

また、今回分析を行った試料のうち、Asが含まれていたものは朝日遺跡の3試料であった。Cuが確認されたものは朝日遺跡28点、下懸遺跡6点であった。これらの試料の測定点のうち、AsやCuが確認

できない測定点が必ず存在した。また確認できる測定点のスペクトルを見ても、非常に小さなピークを示している場合が多かった。これらのことから、AsやCuは、含有量そのものが非常に少なく、不均一に分布しているものと考えられる。

ここで金生山の赤鉄鉱と赤色顔料の関連について考察すると、AsやCuを含むものについては、積極的に遺跡の近傍の産地推定地としてあげられるかもしれない。しかし、今回の分析では粒子の形状観察および結晶構造の解析を行わなかったため、そもそもベンガラの材料が赤鉄鉱であるのかは不明である。しかし、ヒ素に注目するならば、その分布域は鉱山に影響するものであるので，ベンガラが赤鉄鉱以外の材料で作られたものであっても、ヒ素が入ることで金生山付近にその供給地を求めることは可能である。

今後赤色顔料の分析においては、定性分析および粒子の電子顕微鏡観察、鉱物組成の分析をあわせて行い、ベンガラの原材料の推定を行う必要がある。その上で、各地の赤色顔料との比較検討を重ね、産地推定の可能性を探る必要があると考える。

<<謝辞>>

今回の分析を進めるにあたり、朝日遺跡の土器の形式分類および所属時期の特定を赤塚次郎氏に、下懸遺跡の試料については池本正明氏にご協力をいただいた。また永井宏幸氏には分析試料の採取および遺物選定にあたりご尽力いただいた。大垣市教育委員会　鈴木元氏には金生山に関する情報ご教示いただくとともに、文献を送付していただいた。記して感謝の意を表します。

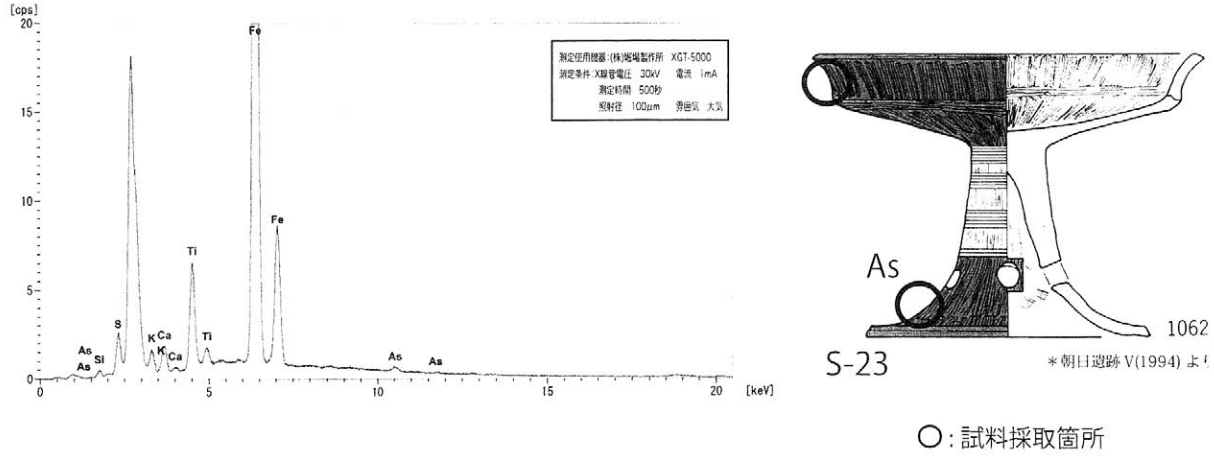


図1　ヒ素が確認された分析試料

参考文献

愛知県教育委員会（1982）朝日遺跡 IV,210pp

財団法人愛知県埋蔵文化財センター（1994）愛知県埋蔵文化財センター調査報告書第 34 集　朝日遺跡 V.406pp.

財団法人愛知県教育サービスセンター愛知県埋蔵文化財センター（2000）愛知県埋蔵文化財センター調査報告書第 83 集　朝日遺跡 VI.406pp.

今井　登・寺島　滋・太田充恒・御子柴（氏家）真澄・岡井貴司・立花好子・富樫茂子・松久幸敬・金井　豊・上岡　晃・谷口政碩 (2004) 日本の地球化学図，産業技術総合研究所地質調査総合センター ,209pp.

北野信彦（2007) 古代木造建造物のベンガラ塗装に関する研究 (II) ーパイプ状ベンガラの生産と使用に関する基礎的調査ー . 考古学と自然科学 .Vol.56,41-63.

金生山赤鉄鉱研究会 (2003) 金生山の赤鉄鉱と日本古代史 .56-84.

小村美代子 (2004) 付載　桧遺跡出土遺物の赤色顔料分析 , 大垣市埋蔵文化財調査報告書第 14 集　東町田遺跡、168-170.

下坂康哉 (1988) 非金属鉱床 . 日本の地質 5　中部地方 II.225-229.

八賀晋 (1999) 古代の鉄生産についてー美濃・金生山の鉄をめぐってー . 学叢 ,21,111-122.

堀木真美子（2006) 名古屋市朝日遺跡出土の赤色顔料 , 名古屋市文化財調査報告 69. 枚某文化財調査報告書 54　朝日遺跡（第 13・14・15 次）,233-240.

P－38

弥生時代の赤色顔料の生産・消費工程の復元

―奈良県唐古・鍵遺跡出土の「内面朱付着土器」を中心として―

○西野摩耶（慶應義塾大学大学院）・奥山誠義（奈良県立橿原考古学研究所）
藤田三郎（田原本町教育委員会）

１．はじめに

大和地域の弥生時代における赤色顔料の生産・利用形態を解明するために、奈良県田原本町唐古・鍵遺跡出土の「内面朱付着土器」、朱付着石製品、骨角器およびそれに付着・塗彩される赤色顔料を対象とし、顕微鏡観察と蛍光Ｘ線分析による材質調査を試みた。具体的には、赤色顔料に関係する考古資料およびそれに付着する赤色顔料の形状・色調に注目し、朱とベンガラの使い分けについて考察を加えた。

２．資料（試料）

唐古・鍵遺跡では赤色顔料に関連づけられる土器や石器、赤色塗彩土器が多数検出されているが、本報告では、そのうち、61 次、65 次、69 次、75 次、80 次、84 次、89 次、93 次、95 次、98 次の調査で出土した資料（試料）18 点に限定し報告したい。これらは土器や骨角器、石製品に付着あるいは塗布が認められるものである。

３．方法

赤色物質が赤色顔料であるかどうかを明らかにするために光学顕微鏡（実体顕微鏡・金属顕微鏡）によって観察した上で、主成分元素を確認するためにエネルギー分散型蛍光Ｘ線分析装置を利用した。

（１）実体顕微鏡による観察

15 倍のルーペを使用し、遺物全体を観察し、赤色物質が確認されたポイントをいくつかピックアップした後、実体顕微鏡を使用し、５～65 倍の倍率でポイント部およびポイントの周辺部全体を詳細に観察した。観察の目的は、①赤色物質が付着しているのか、それとも赤色塗彩土器であるかの判断、③赤色物質の付着状況、そして④赤色物質の粒のサイズ、色調等の検討である。

（２）金属顕微鏡による観察

赤色部を採取し、精製水とアルコールを浸したスライドガラス上にのせ、乾燥させた後、封入剤を使用し、永久プレパラートを作成した上で 50～200 倍の倍率で観察をおこなった。その目的は、赤色物質の粒のサイズおよび形状を詳細に観察することにある。

（３）主成分の同定

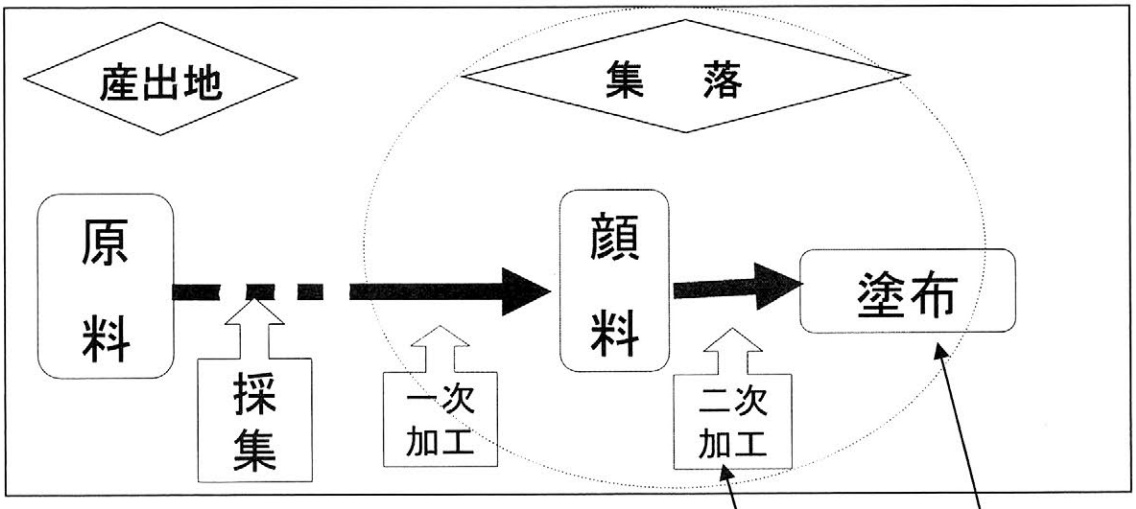
エネルギー分散型蛍光Ｘ線分析装置（分析装置は橿原考古学研究所設置、TECHNOS 製 TREX650、管球は Mo、測定雰囲気は大気、50kＶ、分析径１㎜、測定時間 100 秒）を利

用し、主成分元素がFeかHgかのいずれかを判定した。そして、赤色物質の主成分元素がFeを示すものをベンガラとし、Hgが示されたものを朱とした。

4．結果

唐古・鍵遺跡では、朱とベンガラの赤色塗彩土器や付着土器、石製品が存在した。さらに詳細に検討していくと、朱には、同じサイズに調整された粒度の微細なものと大小のサイズが混在する朱の2種類が認められた。朱の色調に注目すると、朱の中に被熱をによって褐色化したものが複数含まれることが明らかになった。隣接する清水風遺跡の資料でも同様の傾向がうかがえる。

ベンガラについては、パイプ状を呈するベンガラやそれ以外の形態的特徴をもつベンガラが検出された。しかし朱とは異なり粒子や付着状況について対応関係を見出すことはできなかった。これまで一元的に論じられてきた赤色顔料の精製プロセスおよび赤色顔料の利用行為が多様なものであった可能性が高い。いずれにせよ、朱とベンガラで見られたこのような傾向と、土器の器種や系統等との相関の有無については今後の課題としたい。



唐古・鍵遺跡における赤色顔料の加工・塗布プロセス（イメージ）

青銅の製造関係の出土が認められる地区で出土した「内面朱付着土器」

「内面朱付着土器」

朱塗彩土器

前期前方後円(方)墳から出土するベンガラの地域性に関する研究

○志賀智史(九州国立博物館学芸部博物館科学課保存修復室)

■はじめに

古墳時代の前期前方後円(方)墳から出土する赤色顔料のうち、埋葬施設に施されたベンガラについて顕微鏡観察を行い、粒子の形態分類をおこなった。資料は12基15主体分ある。この結果に筆者らの既報告4基4主体分と他者の既報告8基8主体分を加え、合計24基27主体分での使用ベンガラの地域性を検討した。

■調査方法

教育委員会他に保管されている赤色顔料を現地で携帯型の実体顕微鏡を用いて観察し、朱かベンガラかの大まかな判断をおこないながら適宜資料を採取した。これまでの赤色顔料の調査から当該期の墳墓出土赤色顔料は、埋葬施設にベンガラ、人体には朱という使い分けが行われていることが判明している(本田1995)。発掘資料には朱に微量のベンガラが混じって遺存していることもあるので、実体顕微鏡による調査を十分おこない、できる限りベンガラの可能性のある赤色物の発見に努めた。ここで得られた資料を研究室に持ち帰り、実体顕微鏡で観察しながら資料を採取してプレパラートに封入した。プレパラートは遺跡・遺構毎に最低3枚作成し、生物顕微鏡を用いて透過光と反射光で観察し、朱かベンガラか、またどのようなベンガラかを判別した。ベンガラが微量の場合は、カーボンテープに貼付けて電子顕微鏡で観察した。赤色顔料の判定にはエネルギー分散型の蛍光X線分析装置も併用して水銀(朱の主成分)か鉄(ベンガラの主成分)のどちらが含まれているのか測定し、総合的に判断した。

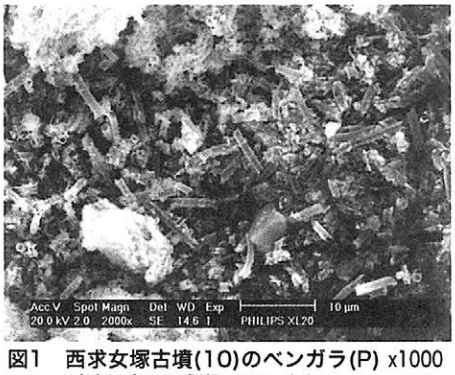


図1　西求女塚古墳(10)のベンガラ(P) x1000 (志賀・本田・成瀬2004より)

■ベンガラの分類

ベンガラは直径1-2μmのパイプ状の粒子を含むベンガラ(以下、ベンガラ(P))(図1)と、これを含まないベンガラ(以下、ベンガラ(非P))に大きく分類した。ベンガラ(P)は湖沼に生息する鉄細菌を焼成して得られたものであることが判明している(岡田1997)。このベンガラ(P)は、パイプ状の粒子のみで構成されておらず殆どの場合は後述する鱗片状の粒子も含んでおり、資料が微量の場合はパイプが認められないことを積極的に評価することは困難であった。

ベンガラ(非P)は、鱗片状の粒子や六角板状の粒子、螺旋状の粒子などを含むものを確認しているが、資料不足の感もあって現状ではこれ以上の分類は困難であり、今回は一括して捉えた。

■結果と考察(図2、表1)

九州地方では、北部九州(18〜22)でベンガラ(非P)が用いられていた。やや中心部から離れる筑後川流域の下町外畑遺跡3次調査1号墳(23)や神蔵古墳(24)ではベンガラ(P)が用いられていた。ベンガラ(非P)を用いることは当該期北部九州の地域性であると考えられる。西・中・東・南九州への広がりは今のところ不明である。

これより遡る北部九州の弥生時代後期の墳墓主体部出土ベンガラは、例えば高津尾遺跡(北九州市)では81基の箱式石棺墓や土壙墓などが調査され、68基からベンガラが出土したが、全てベンガラ(非P)であった(本田・成瀬1991)。また古墳時代前期〜後期の出土赤色顔料について約350試料の分析調査をおこなった本田の報告(本田1995)を集計すると、ベンガラの出土した北部九州の墳墓主体部73基のうち70基(96%)がベンガラ(非P)で、残る3基(4%)がベンガラ(P)であった。このように見てみると墳墓主体部でベンガラ(非P)を用いることは北部九州の弥生時代から古墳時代を通した特徴である可能性がある。これについても地域的な広がりは今のところ不明である。

中・四国地方ではベンガラ(P)が優勢か(13,15,16)。ベンガラ(非P)が用いられていた大判山古墳(17)は北部九州との関連で考えられるのかもしれないが、前方後円(方)墳ではない可能性や時期的にも中期まで下る可能性もある。同じくベンガラ(非P)が用いられていた赤山古墳1号石棺(14)では、隣接する同期の一つ山古墳(大型円墳)でベンガラ(P)が用いられていた(志賀2008c)ことから、地域性とするにはなお資料不足であ

表1　前期前方後円(方)墳で使用されたベンガラの種類

No.	所在	古墳	ベンガラ粒子の形態	文献
1	岐阜県可児市	長塚古墳	P	志賀2008c
2	愛知県犬山市	東之宮古墳	P	〃
3	岐阜県大垣市	昼飯大塚古墳	非P?	〃
4	滋賀県東近江市	雪野山古墳	非P	本田1996
5	奈良県天理市	黒塚古墳	P	註1
6	大阪府柏原市	玉手山9号墳	P	志賀2008c
7	京都府木津川市	平尾城山古墳竪穴式石室	P	本田・成瀬1990
8	大阪府茨木市	紫金山古墳	P	岡田2005
9	大阪府池田市	池田茶臼山古墳	P	志賀2008c
10	兵庫県神戸市	西求女塚古墳	P	志賀・本田・成瀬2004
11	〃	塩田北山東古墳第1主体	Pと非P	志賀2008b
〃	〃	〃 第2〜4主体	非P	〃
12	〃	白水醞塚古墳第1・2主体	P	志賀2008a
13	岡山県津山市	奥の前1号墳石棺	P	志賀2008c
14	香川県さぬき市	赤山古墳1号石棺の粘土床	非P	〃
15	愛媛県今治市	相の谷1号墳	P	〃
16	〃	妙見山古墳	P	本田2008
17	山口県山陽小野田市	大判山古墳	非P	志賀2008c
18	福岡県京都郡苅田町	石塚山古墳	非P	本田・成瀬1988
19	福岡県嘉麻市	沖出古墳	非P	志賀2008c
20	福岡県宗像市	東郷高塚古墳	非P	本田1997
21	福岡県宇美町	光正寺古墳	非P	本田2001
22	佐賀県唐津市	双水柴山古墳第2主体	非P	本田・成瀬1987
23	福岡県朝倉市	下町外畑遺跡3次調査1号墳	P	志賀・本田・平尾2004
24	〃	神蔵古墳	P	志賀2008c

註1)掲載にあたっては奈良県立橿原考古学研究所の許可を得た。

ろう。
近畿地方(滋賀県を除く)(5～12)では、全てベンガラ(P)が用いられていた。このうち塩田北山東古墳(11)では最古の主体部である第1主体でベンガラ(P)とベンガラ(非P)が部位により使い分けられていた。また後出する同第2～4主体ではベンガラ(非P)が用いられていた。近畿地方の中でも地域性が認められる可能性がある。
東海地方(滋賀県を含む)でもベンガラ(P)が優勢か(1,2)。ベンガラ(非P)が用いられていた雪野山古墳(4)では資料が極めて微量(本田1996)で、昼飯大塚古墳(3)でも同様であり(志賀2008c)、パイプが無いことを積極的に評価することができない。東海地方の中でも地域性があったことも視野に入れておきたい。

■まとめ

西日本の前期前方後円(方)墳の埋葬施設で用いられた赤色顔料のうちベンガラについては、ベンガラ(P)を主体とすることが明らかとなった。その中で、北部九州ではベンガラ(非P)を主体とするという地域性も明らかにすることができた。この北部九州での伝統は弥生時代から古墳時代まで継続していた可能性がある。他の考古資料と同じように時間的な変遷や階層的な使い分けがあった可能性も考慮する必要があろう。北部九州以外でもベンガラ(非P)を使用する地域があった可能性も指摘できた。
そもそも埋葬施設でベンガラを用いることは弥生時代中期末～後期初頭の北部九州が初源と考えられている(本田1995)。墳墓でのベンガラの使用が前方後円墳に採用されて各地に広がる中で、地域毎にどのような規制のもと、どのようなベンガラが選択されたのか、極めて興味深い問題である。今回はその一端が明らかになったものと思われる。
今回取り上げた古墳は厳密には同じ時期のものではなく、古墳時代前期前半～前期末までの古墳を一括して扱っている。今後はより詳細な時間軸での検討が必要であろう。と同時にその他の墳墓や生活遺物に認められる赤色顔料の使用状況とともに総合的に調査する必要があろう。今後も検討を重ねたい。

〈引用・参考文献〉
岡田文男1997「パイプ状ベンガラ粒子の復元」『日本文化財科学会大14回大会要旨集』日本文化財科学会,38-39頁
岡田文男2005「紫金山古墳で検出された赤色顔料の調査」『紫金山古墳の研究－古墳時代前期における対外交渉の考古学的研究－』京都大学大学院文学研究科,253-259頁
志賀智史2008a「白水瓢塚古墳出土赤色顔料の微視的・科学的調査および考古学的な検討」『白水瓢塚古墳発掘調査報告書』神戸市教育委員会,129-154頁
志賀智史2008b「塩田北山東古墳出土赤色顔料の微視的・科学的調査」『塩田北山東古墳発掘調査報告書』神戸市教育委員会,49-54頁
志賀智史2008c『若手研究(B) 弥生時代後期～古墳時代の墳墓大量出土ベンガラについての基礎的研究 研究成果報告書』
志賀智史・本田光子・平尾良光2004「下町外畑遺跡第3次調査出土の赤色顔料」『下町外畑遺跡 宮野蓮輪遺跡』福岡県教育委員会,148-153頁
志賀智史・本田光子・成瀬正和2004「西求女塚古墳出土の赤色顔料」『西求女塚古墳発掘調査報告書』神戸市教育委員会,249-270頁
本田光子1995「古墳時代の赤色顔料」『考古学と自然科学』第31・32号(合併号),日本文化財科学会,63-79頁
本田光子1996「雪野山古墳出土の赤色顔料」『雪野山古墳の研究 考察篇』雪野山古墳発掘調査団,445-450頁
本田光子1997「赤色顔料から見た古代宗像」『宗像市史 通史編 第一巻』宗像市史編さん委員会,867-875頁
本田光子2001「平成9年度 光正寺古墳出土赤色顔料の分析調査」『国指定史跡 光正寺古墳』宇美町教育委員会,45-49頁
本田光子2008「妙見山古墳出土の赤色顔料」『妙見山古墳発掘調査報告書』愛媛大学考古学研究室
本田光子・成瀬正和1987「双水柴山1,2,3号墳出土の赤色顔料について」『双水柴山遺跡』唐津市教育委員会,110-113頁
本田光子・成瀬正和1988「赤色顔料の分析(予報)」『石塚山古墳発掘調査略報』苅田町教育委員会,33-35頁
本田光子・成瀬正和1990「平尾城山古墳出土の赤色顔料について」『京都府平尾城山古墳』山口大学人文学部考古学研究室,95-98頁
本田光子・成瀬正和1991「高津尾遺跡16区出土の赤色顔料について」『高津尾遺跡4』北九州市教育文化事業団埋蔵文化財調査室,233-244頁
資料の採取にあたっては下記の機関・個人にお世話になりました。記して感謝いたします。
朝倉市教育委員会、池田市立歴史民俗資料館、犬山市教育委員会、愛媛県立歴史文化博物館、大垣市教育委員会、柏原市歴史資料館、可児市教育委員会、嘉麻市教育委員会、くらしき作陽大学澤田秀実准教授、さぬき市教育委員会、山陽小野田市教育委員会、奈良県立橿原考古学研究所(以上五十音順)。
(本研究は科学研究費補助金 若手研究(B)18720223「弥生時代後期～古墳時代の墳墓大量出土ベンガラについての基礎的研究」の研究成果の一部である。)

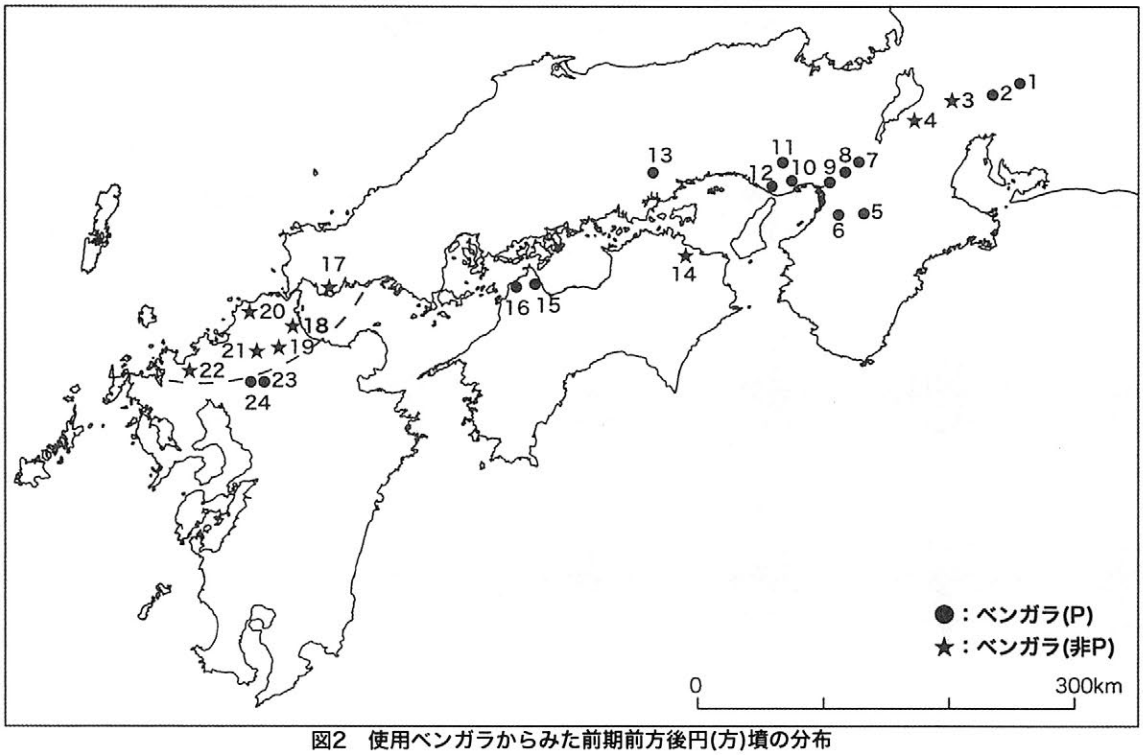


図2　使用ベンガラからみた前期前方後円(方)墳の分布

P－40

上水流遺跡（鹿児島県南さつま市）出土の赤色粒子と鉄バクテリアの関連について

○内山伸明，森雄二，永濵功治，中村幸一郎，西園勝彦，黒川忠広（鹿児島県立埋蔵文化財センター）
橋本英樹，古谷充章，團野瑛章，　高田潤（岡山大学大学院自然科学研究科）

1　はじめに

上水流遺跡（南さつま市）は，万之瀬川下流の右岸，標高約６ｍの自然堤防上に立地し，縄文時代前期から近世の遺構・遺物が発見されている。赤色顔料を塗布した土器も多く，各時代で多様な形で使われている。

検出された古墳時代の住居跡の埋土から，写真１，２に示すように，点状に分布している直径１～数㎜ほどの鮮明な赤色の粒子塊が確認された。出土状況（図１）から，散布されたものと考えることもできるが，分布がごく限られた場所で，得られた資料も微量であることなどから詳細は不明であった。

今回，岡山大学と連携をとり，この赤色粒子の科学分析を行い，その形態，結晶構造，化学組成の詳細を検討した。さらに，上水流遺跡を含む万之瀬川流域の遺跡出土の赤色顔料について時代による比較を行ったので報告する。

2　試料

試料１　上水流遺跡古墳時代住居跡出土赤色粒子
試料２　出土遺物に塗布された赤色顔料　上水流遺跡：縄文時代・古墳時代・古代出土遺物
周辺の遺跡：古墳時代出土遺物

3　観察・分析機器

ＳＥＭ　日本電子 JSM-5300LV（鹿児島県立埋蔵文化財センター）
日立 S-4300（岡山大学大学院）
ＥＤＸ　堀場製作所 XGT-1000（鹿児島県立埋蔵文化財センター）
ＸＲＤ　Rigaku RINT2500HF（岡山大学大学院）
ＴＥＭ　Topcon EM-0023（岡山大学大学院）

4　結果及び考察

試料１についてＳＥＭで構造を調べたところ，これまで鹿児島県で検出された鉄バクテリア *L. ochracea* 由来のいわゆる「パイプ状ベンガラ」とは異なる「ねじれ紐状」の形状を持っていることがわかった（写真３）。その形態の詳細は写真４に示すように直径が 100～200㎚ と非常に細い。その結晶構造はＴＥＭのＥＤ分析（写真５）およびＸＲＤ分析から鉄酸化物 α-Fe_2O_3（ヘマタイト）であることを確認した。さらに，ＥＤＸによる組成分析から，化学組成比は Fe：Si：Al＝77：18：5 であることを見出した。加えて，この「ねじれ紐状ベンガラ」は，上記の *L. ochracea* とは異なる鉄バクテリアがつくる鉄酸化物の形状と類似している点は興味深い。今回見出した「ねじれ紐ベンガラ」は，形態的には，第23回大会で報告された「らせん状ベンガラ」（西野ほか）に近いものと思われるが，比較検討は今後の課題である。

試料２についてＳＥＭで構造を調べたところ，表１に示すように，縄文時代にはパイプ状・非パイプ状・水銀朱など様々な原料を使用していることが分かった。しかし，古墳時代以降になると非パイプ状のものしか確認できなかった。上水流遺跡出土の赤彩土器の中にはこの赤色粒子は使用されていない。また，周辺遺跡や鹿児島県内出土の赤色顔料の中でもまだ確認されていない。

参考文献
内山ほか2007「鹿児島県における赤色顔料に関する調査事例」『日本文化財科学会第24回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会

西野ほか2006「縄文時代におけるベンガラの獲得と利用に関する基礎的研究」『日本文化財科学会第23回大会研究発表要旨集』日本文化財科学会
上床ほか2008「上水流遺跡2」『鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘調査報告書（121）』鹿児島県立埋蔵文化財センター

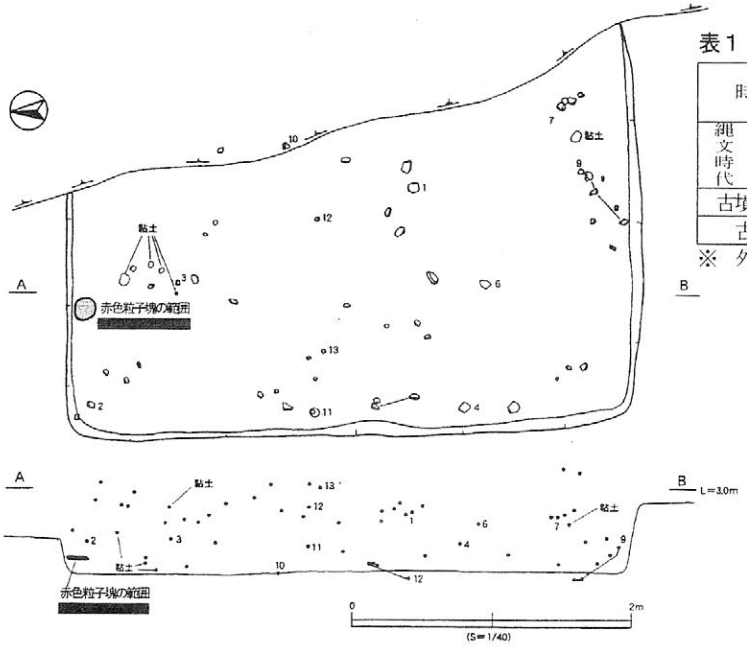


図１　上水流遺跡４号竪穴住居跡内遺物出土状況

表１　上水流遺跡出土の赤色顔料分析結果

時代		観察対象	ベンガラ		水銀朱
			パイプ状	非パイプ状	
縄文時代	前期	深浦式土器ほか	○	○	
	晩期	黒川式土器	○	○※	○※
古墳時代		成川式土器		○	
古代		土師器椀・杯ほか		○	

※　外面：非パイプ，内面：水銀朱（24回大会で報告）

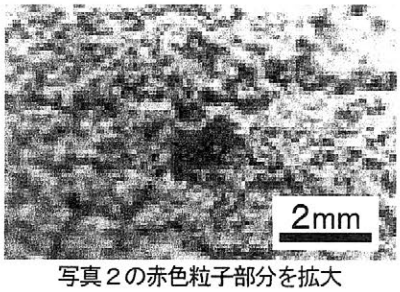


写真２の赤色粒子部分を拡大

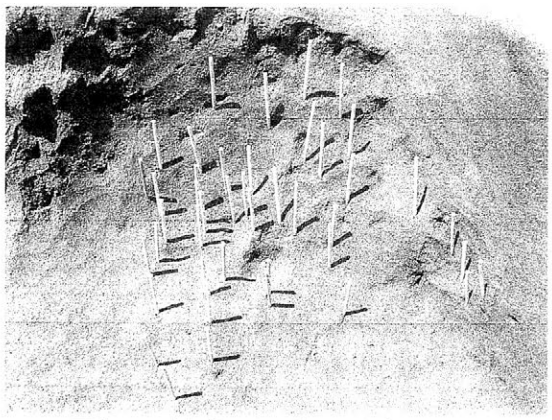


写真１　赤色粒子出土状況（竹串の位置）

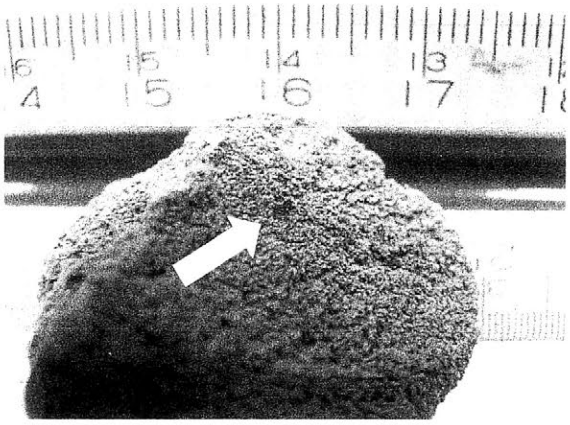


写真２　赤色粒子（→の先）

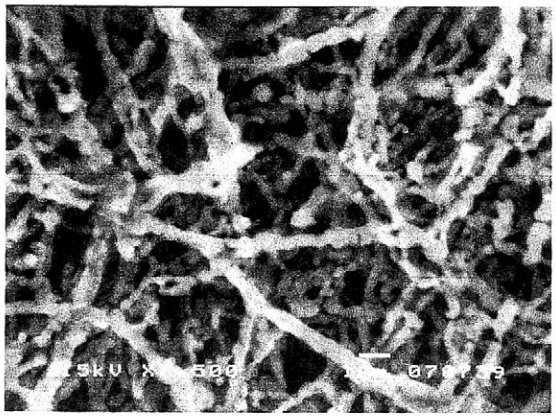


写真３　ＳＥＭ像１

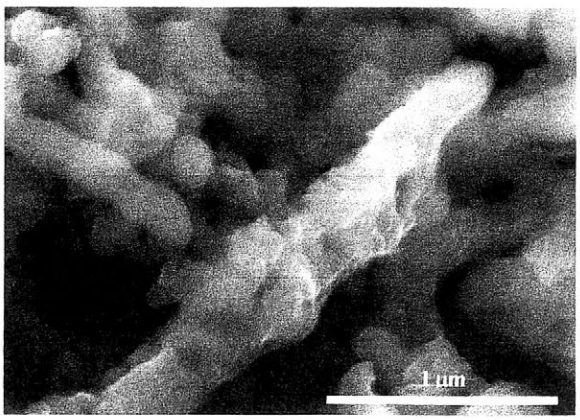


写真４　ＳＥＭ像２

P−41

鹿児島県内出土ガラス製小玉類の科学的調査

○森雄二，大久保浩二，内山伸明，永濵功治，中村幸一郎，西園勝彦（鹿児島県立埋蔵文化財センター）

1　はじめに

平成17年度と19年度に当センターが行った発掘調査でガラス製小玉が古墳時代の竪穴住居内から出土した。これまで県内でのガラス製小玉類出土は個別に報告されているが，調査事例は少なく，集成が行われていない。そこで，古墳時代以前のガラス製小玉類について文献等を元にして集成を試みた。また，５遺跡25点の試料について蛍光X線分析装置を用いた分析を行った。ここでは，出土状況及び分析結果を紹介し，当該時代のガラス製小玉類の時期検討（変遷）について報告する。

2　分析方法

ガラス製小玉類は，土壌からの汚染物を除去するために洗浄のみ行い，非破壊調査を実施した。分析に用いた装置は，当センター所有の蛍光X線分析装置（XGT−1000，堀場製作所）を用い，X線管電圧:50 kV，電流:1000 μA，X線照射範囲:φ＝100 μm，測定時間:100 秒の同一測定条件で，1点の小玉に対して場所を違えて3回の測定を試みた。また，法量・形状・色調等も調査した。

3　出土状況及び分析結果

（1）鳥越古墳（阿久根市波留）

平成7年に1号墳の石室床面から1点出土している。他に遺物は確認されていない。墳丘は，削平ため形態・規模の推定はできない。石室は初期畿内型古墳の特徴である長大型竪穴式石室である。出土したガラス製小玉は，直径：5.5mm，厚さ：3.3mm，孔径：1.75mm，色調：黒色で不透明，磨かれたことによる平坦な面はない。分析の結果，ソーダ石灰ガラスと考えられる。

（2）持躰松遺跡（南さつま市金峰町）

平成11年に竪穴住居内から1点出土している。他に弥生時代後期～終末期の土器が出土しているが時期については検討を要する。出土したガラス製小玉は，直径:10.3mm，厚さ:7.65mm，孔径：1.95mm，色調：淡青色で不透明，形状は円筒形で破損している。分析の結果，鉛バリウムガラスと考えられる。

（3）堂園B遺跡（南九州市川辺町）

平成17年に竪穴住居内から9点出土している。他に中津野式土器などが出土している。出土したガラス製小玉は，直径：2.5～6.8mm，厚さ：1.45～5.5mm，孔径：0.7～2.5mm，色調：紺，緑，淡青色で透明，磨かれたことによる平坦な面はない。分析の結果，カリガラスと考えられる。

（4）下ノ原B遺跡（大口市下殿）

平成19年に竪穴住居内から3点出土している。他に辻堂原式土器が出土している。出土したガラス製小玉は，直径：4.5～6.35mm，厚さ：2.55～3.45mm，孔径：1.2～1.7mm，色調：紺，淡青色で透明，磨かれたことによる平坦な面がある。分析の結果，カリガラス1点とカリ石灰ガラス2点と考えられる。

（5）鹿児島大学構内遺跡（鹿児島市郡元）

平成20年に竪穴住居内から10点出土している。他に笹貫式土器が出土している。出土したガラス製小玉類は，直径：1.6～9mm，厚さ：0.95～6.6mm，孔径：0.65～4.25mm，色調：紺，緑，黄緑，濃青緑，淡青色で透明が多い。分析の結果，鉛ガラス6点，鉛バリウムガラス1点，カリガラス1点，カリ石灰ガラス1点，ソーダ石灰ガラス1点と考えられる。

4　考察

集成の結果，本県の本土において古墳時代以前のガラス製小玉類は，17の遺跡から出土し，地域的な偏りは見られない（図1）。今回，分析を行った25点のガラス製小玉類については，出土状況と共伴する南九州特有の成川式土器の型式から時期検討を行った（表1）。その結果，本県においては，弥生時代終末から古墳時代初頭で鉛バリウムガラスとカリガラス，古墳時代中頃でカリガラス，古墳時代後半6世紀のある時期から鉛ガラスが出現している。この結果は，これまで報告されている国内のガラス材質の変遷にほぼ一致する。現状においては，分析を行った資料の数が少ないが，他の地域と同じ材質のガラスが同じ時期に本県で流通していたことが窺える。また，ガラス材質変遷に伴って製品が小型化する傾向が見られた（図2）。

参考文献　河口貞徳　1988「日本の古代遺跡38鹿児島」保育社
九州前方後円墳研究会　2001「九州の横穴墓と地下式横穴墓　第Ⅱ分冊―資料編―」
京都造形芸術大学編　2002「文化財のための保存科学入門」角川学芸出版
沢田正昭　2003「遺物の保存と調査」クバプロ
広田遺跡学術調査研究会　2003「広田遺跡」黎明館

表1　ガラス製小玉類の時期検討

世紀	[1]成川式土器様式	須恵器	遺跡名	材質と個数
3世紀	中津野式		持躰松遺跡	鉛バリウムガラス… 1
			堂園B遺跡	カリガラス……10
			鳥越古墳	ソーダ石灰ガラス… 1
4世紀	東原式			
5世紀	辻堂原式	TK73		
		TK216～TK208	下ノ原B遺跡	カリガラス…… 1
				カリ石灰ガラス…… 2
		TK23		
		TK47		
6世紀	笹貫式	MT15		
		TK10	鹿児島大学構内遺跡	鉛ガラス…… 6
		MT85		カリガラス…… 1
		TK43		カリ石灰ガラス…… 1
		TK209		鉛バリウムガラス… 1
				ソーダ石灰ガラス… 1

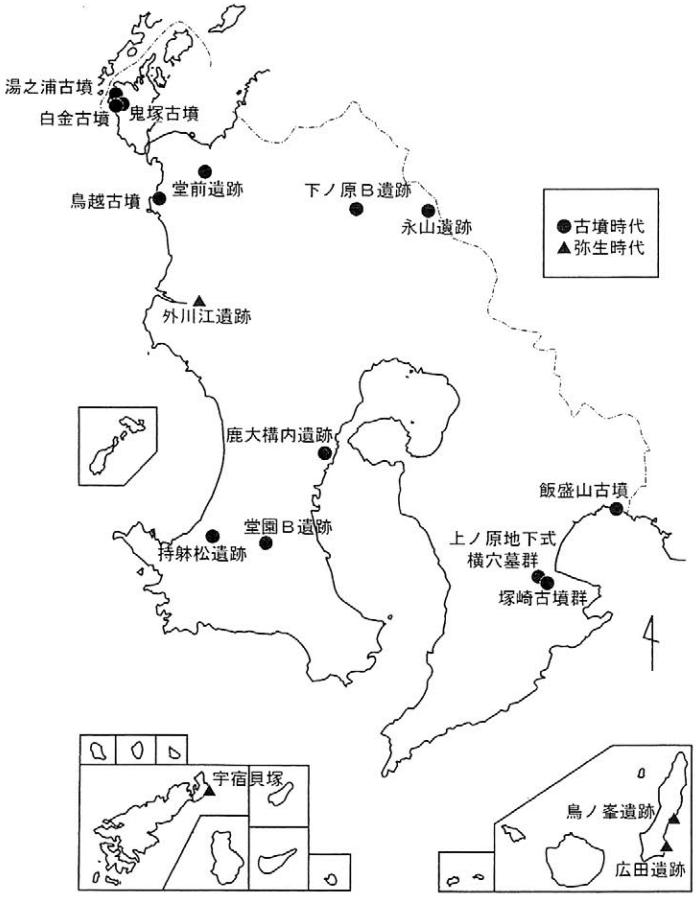


図1　古墳時代以前のガラス製小玉類の出土した遺跡

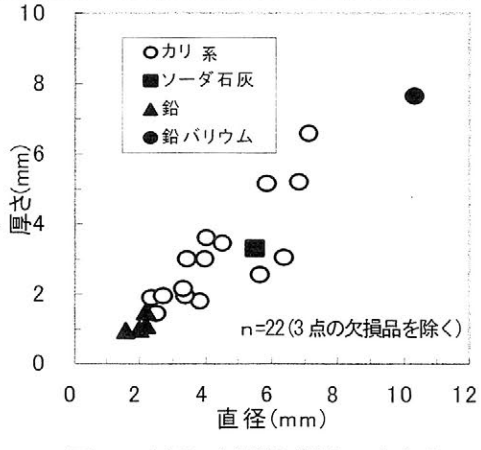


図2　ガラス材質と製品の大きさ

[1] 成川式土器様式：弥生土器から続く南九州特有の古墳時代の土器の総称

P−42

蛍光X線分析法を用いた近世絵画の彩色分析

○石川 優生・稗田 貞臣・平尾 良光（別府大学大学院文学研究科）

1）はじめに

蛍光X線分析法はさまざまな分野で用いられている。本研究ではこの方法を、近世に製作された大分県臼杵神社が所蔵する絵馬の彩色材料の分析に応用した。この分析法を用いることで、絵馬に用いられている彩色材料の化学組成を知ることができ、その化学組成から当時用いられた彩色材料を推測できる。それらの結果から絵馬が製作された当時における彩色材料の流通について考察することを目的とした。彩色材料の分析を行う前に基礎測定として、金銀合金標準試料を3種の蛍光X線分析装置を用いて定性・定量分析し、機器の特性を理解した。

2）金銀合金標準試料の測定

SIIナノテクノロジー（株）製の蛍光X線分析装置3種を用いて、定性・定量分析した。測定試料は金と銀の濃度が異なる11種類の合金である。定性分析の測定条件は表1のとおりである。定量分析はFP法、検量線法を用いた。FP法による定量分析では3種の装置A,B,Cにおいて、定量値が異なる結果となった(図1)。この定量値を補正するために、検量線法を用いて定量分析した。その結果、各A、Bの装置の定量値がほぼ等しくなった（図2）。これは検量線法による定量分析が正確性のある方法といえる。

図1、2はAu（金）濃度の定量結果を検量線で示している。

表1　測定条件

測定時間	300秒
管電圧	50 kV
管電流	自動設定
雰囲気	大気

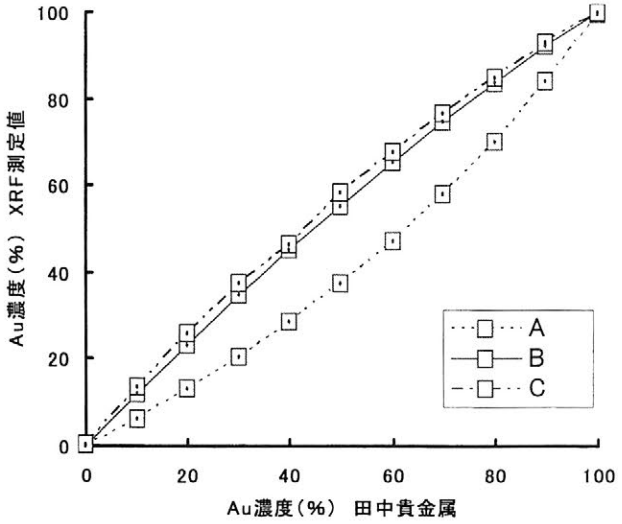


図1　FP法による定量結果

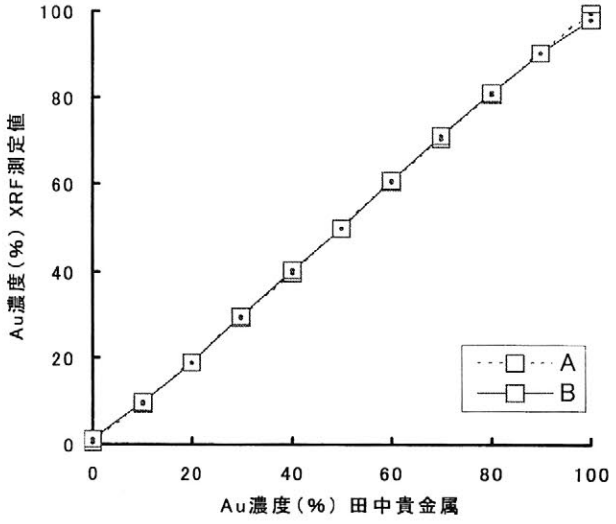


図2　検量線法による定量結果

3）絵馬の彩色材料

測定資料の絵馬は大分県臼杵市に所在する臼杵神社が所蔵している資料であり（写真１）、江戸時代末期から明治時代初期に製作されたとされている。法量は縦54cm、横 40.3cm、額縁の幅4cm、全体の厚み 1.8cm（額縁の厚み 0.9cm）である。

絵馬の彩色材料の測定はSII ナノテクノロジー（株）製可搬型X線分析計SEA200を用いて、資料に対して非破壊・非接触で行った。測定箇所は146 箇所に及んだ。測定条件は表２のとおりである。

絵馬から観察できる色は白色、赤色、明桃色、黒色、青色、緑色である。色の褪せている部分があるので、実際に使われていた色は異なることが考えられる。

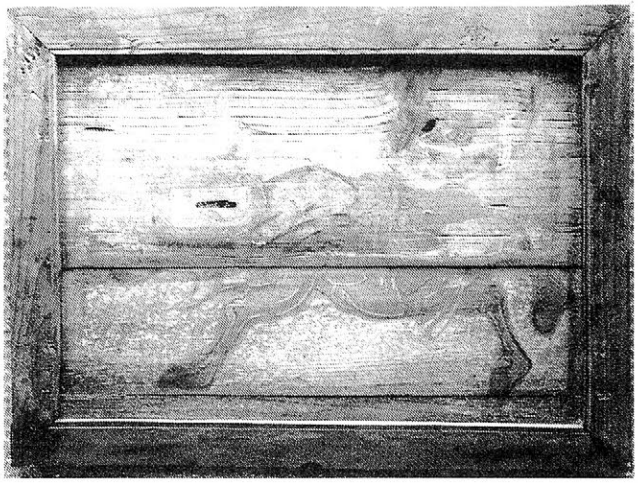


写真１　臼杵神社所蔵の絵馬

表２　測定条件

測定時間	100 秒
管電圧	50 kV
管電流	200 μA
雰囲気	大気
測定距離	約5 mm

表３より、白色部分にZn（亜鉛）が検出されたことから、Znを材料とした亜鉛華（ZnO）を使用した可能性が考えられる。全体的に、Cu（銅）の検出が目立つ。またAs（ヒ素）についても、明桃色と青色部分を除く各部分で検出された。CuとAsに関しては彩色材料に使用のされ方が異なるように思われる。

表３　検出された元素および推測される顔料

色	検出された元素	推測できる顔料
白	K（カリウム）、Cu（銅）、Zn（亜鉛）、As（ヒ素）	白土、亜鉛華
赤	Fe（鉄）、Cu、As	ベンガラ
明桃色	K、Fe	白土＋ベンガラ？
緑	Fe、Cu、As	岩緑青？染料？
青	Fe、Cu	岩群青？染料？
黒	Fe、As	墨

4）考察

測定結果から、亜鉛華（ZnO）が白色材料に使用されていたように推測される。このことは日本古来からの伝統的ではない顔料が含まれていたことになる。白色材料の亜鉛華は19 世紀に外国で使用され始め、外国から輸入された油絵具である。絵馬に書かれていた年号が慶應２年（1866）であり、この時期は外国から彩色材料が日本へ輸入される時期である。亜鉛華の使用が認められるならば、輸入された彩色材料が江戸、大阪などの大都市から遠く離れた臼杵という地方にまで流通していたことになる。

測定箇所のほとんどにCu（銅）、As（ヒ素）が検出されたが、下地にCuを含んだ材料を塗布した可能性やCuを材料とした新しい顔料、Asを材料とした新しい顔料の可能性があるかもしれないが、Cu、Asの広範囲の検出に関しては現在検討中である。

P−43

鹿児島集成館などからの反射炉関連資料の成分分析

○加藤将彦、平井昭司、岡田往子、鈴木章悟（武蔵工業大学）
長野 暹（佐賀大学）

1．はじめに

鹿児島県にある現在の尚古集成館一帯は、幕末に薩摩藩第28代当主・島津斉彬によって興された日本最初の洋式産業群である「集成館」と呼ばれる工場地帯であった。当時、我が国では開国をせまる外国船の対応に苦慮していた。そこで、外国に負けない軍事力をつけるため集成館事業が行われた。集成館反射炉は嘉永6年（1853年）に完成したとされ、日本各地にも反射炉が建設されていた。反射炉は、不純物の多い銑鉄を高温(約1500～1600℃)にして溶解し、大砲などの鋳造を行うものである。

本調査では、大砲の製造に関連付けられる鉄塊、鉄片、鉄錆片やスラグなどを分析試料として、燃焼赤外線吸収法により鉄の性質を特徴付ける炭素及び硫黄の定量、光学顕微鏡法による金属学的組織の観察、EPMA（電子プローブマイクロアナリシス）法による微小領域における元素存在量の分布を調査し、分析試料の特徴を評価することを目的とした。

2．分析試料

鹿児島集成館反射炉が建造されていた場所を始め、日本各地の反射炉跡地あるいはその周辺から、反射炉による大砲鋳造に関連する鉄関連資料を分析試料とした。表1に分析試料の採取された反射炉跡地の概要を示す。

表1　試料採取した反射炉跡地一覧

所在地	反射炉名	建造された年	採取された試料	試料No.
佐賀県	築地反射炉	1850年（嘉永3年）	鉄塊、鉄錆片、スラグ	SN-1～15
	多布施反射炉	1853年（嘉永6年）	鉄片、鉄錆塊、スラグ	
鹿児島県	集成館反射炉	1853年（嘉永6年）	スラグ	KS-1～6
大分県	安心院反射炉	1855年（安政2年）	鉄塊片、スラグ、石炭	AJ-1～7
鳥取県	六尾反射炉	1857年（安政4年）	鉄塊、スラグ	MT-1～5
静岡県	韮山反射炉	1857年（安政4年）	鉄片、スラグ、レンガ	NY-1～9

分析試料は鉄塊、鉄片、鉄錆片、スラグ、スラグの付着したレンガなどである。各試料よりダイヤモンドカッターを用いて、燃焼赤外線吸収法のために約100mgを3点ずつ、光学顕微鏡及びEPMA法のために直径1インチに収まる大きさに1点ずつ試料採取した。

3. 分析

1）燃焼赤外線吸収法

堀場製作所(株)製 炭素･硫黄分析装置：EMIA-510 により鉄試料中の炭素及び硫黄の定量を行った。定量には予め濃度が認証された鉄鋼標準物質（JSS）を使用し、濃度補正曲線を作成し算出した。測定条件は燃焼管温度：1450℃、測定時間 炭素：60s、硫黄：70sで、助燃剤は試料重量に対しSn：等量、W：2倍量を使用した。

2）光学顕微鏡法

採取した試料をウッドメタルで埋め込み、研磨を行った。研磨後、金属試料は試料表面を3％ナイタル液でエッチング処理し、鉄錆片やスラグ試料についてはそのままの状態でそれぞれ顕微鏡観察を行った。装置は倒立型金属顕微鏡：Nikon EPIPHOT 300を使用し、拡大倍率100倍で観察を行った。

3）EPMA（電子プローブマイクロアナリシス）法

光学顕微鏡観察を終えた試料をEPMA分析のために、再度研磨を行った。研磨後、非導電体による帯電の影響を防ぐため、分析面にAuの蒸着を行った。装置は日本電子(株)製：JXA-8200を使用し、加速電圧：15kV、照射電流：1.0×10^{-7}A、ビーム径：1μmの条件で測定を行った。マッピング条件は測定視野：400×400μm、画素サイズ：1μm、画素数：16万pixel、計数時間：10msec/1pixelで、計15元素（C 、O、Na、Al、Si、P、S、Cl、Ca、Ti、Fe、Cu、As、Co、Sb）のマッピングを行った。

4．結果及び考察

1）燃焼赤外線吸収法による炭素の定量結果

図1に炭素濃度の定量結果を示す。築地及び多布施反射炉由来の鉄棒片：SN-5は約 4.7%、大砲の錆片：SN-10、11は約2.6～3.0%となっていた。また、韮山反射炉由来の鉄片：NY-1、2、3では約 4.4～4.6%となっており、これらはいずれも鋳鉄製となっていることが分かった。スラグに食い込んでいた鉄棒：NY-4 は約0.1%と低濃度であることから、

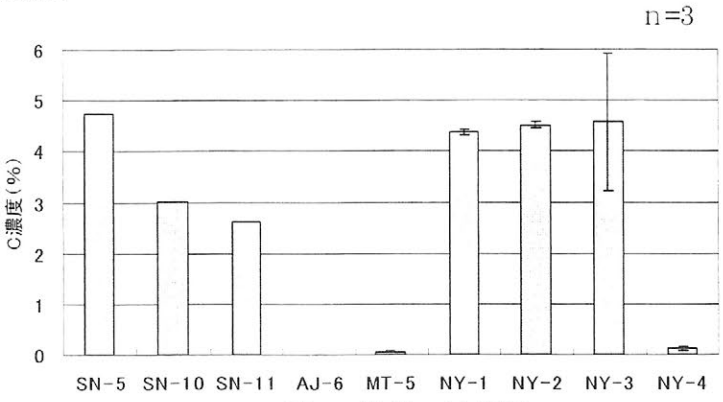


図1　炭素の定量結果

鋳造品ではなく、鋳造のための原料物質として使用されていたものが残留したものと推察される。

安心院反射炉由来の鉄塊片：AJ-6 は約 0.007%、六尾反射炉由来の鉄塊：MT-5 は約 0.06%であり、両試料とも軟鉄あるいは軟鋼に分類される鉄となっていることから大砲の鋳造に関連する鉄ではなく、反射炉周辺のたたら場などで作製された鉄塊である可能性がある。

2）金属組織観察結果

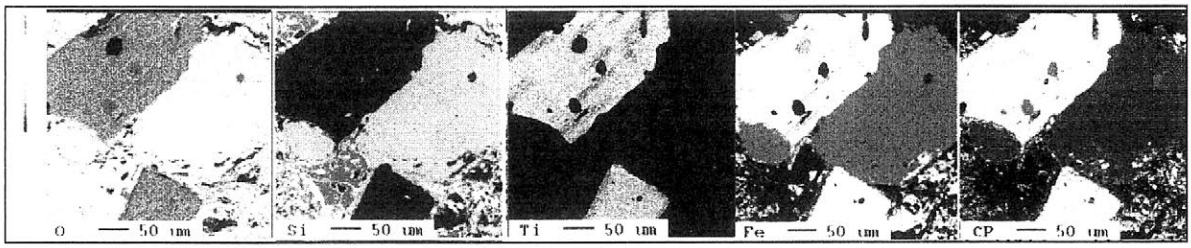


図2　KS-3 EPMA 解析像　（左から O、Si、Ti、Fe、反射電子像）

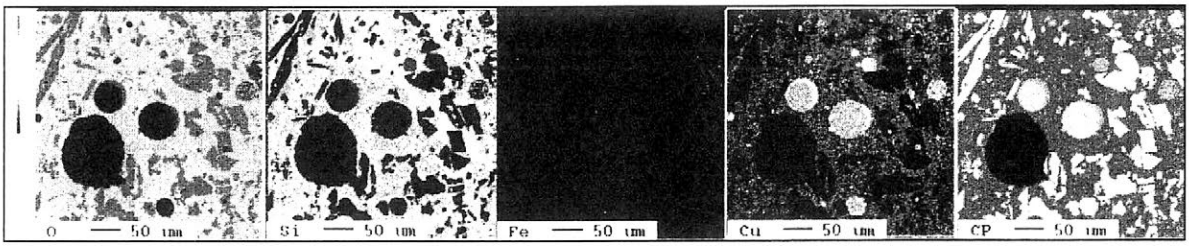


図3　NY-9 EPMA 解析像　（左から O、Si、Fe、Cu、反射電子像）

図2に集成館反射炉由来のスラグ：KS-3 の EPMA 解析像を示す。塊状の部分で Fe と Ti、O の強度分布が観察され、チタン鉄鉱（Ilmenite：$FeTiO_3$）となっていることが推測される。このことから砂鉄であると見られる。また、周囲の素地部分で Si 及び O の強度分布が見られ、滓成分化合物である SiO_2、となっていると見られる。つまり集成館反射炉では砂鉄を用いた鋳造が行われ、スラグ中に砂鉄が取り込まれて存在していたものと考えられる。

図3に韮山反射炉由来のスラグが付着したレンガ：NY-9 の EPMA 解析像を示す。球状金属の存在が見られ、この部分では Cu の強度分布が見られる。周囲の部分では滓成分である Si や Al、Ca の分布が見られ、SiO_2、Al_2O_3、CaO といった酸化物となって存在しているものと推察される。Fe の分布は見られず、韮山反射炉では銅を使用した鋳造も行われ、溶解させた際のレンガであることが考えられる。

P−44

せん佛および関連物質のＸ線顕微鏡よる科学分析

杉下知絵[1]，○藤原　学[2]，松下隆之[3]，江南和幸[2]
[1]龍谷大学理工学部学生，[2]龍谷大学デジタルアーカイブ研究センター，[3]龍谷大学理工学部

１．はじめに

龍谷大学にはおよそ百年前の大谷探検隊将来品(大谷コレクション)などの貴重な資料が保管されている。しかし、探検隊に考古学者や歴史学者が随行しておらず、また発掘記録も残されていないため、現在でも未整理のままの資料が数多く存在している。国内外でも高く評価されているこれらの資料を分類し、社会に還元する必要がある。その目的のために龍谷大学に古典籍デジタルアーカイブ研究センターが2001年に設置された。龍谷大学大宮図書館には大谷コレクションとして、４～７世紀ごろに大量に製作されていたと考えられる「せん佛」（中国新疆ウイグル自治区ホータン近郊にて大正２年８月に発掘との記録あり）を一体所蔵しており、種々の展覧会などで紹介している。我々は、2001年度に一度この「せん佛」の科学分析を可搬型蛍光X線分析装置(OURSTEX 100F)を用いて行い、「せん佛」の本体が石膏(硫酸カルシウム)であること、および顔および手の部分からのみ砒素元素による蛍光X線ピークが検出されたことを明らかにした。これらの成果については、第一回X線考古科学国際会議(2002年、早稲田大学)および考古科学国際シンポジウム（2004年、龍谷大学）にて報告している。本研究では、可搬型より非常に定量性の高いX線顕微鏡(HORIBA XGT-2700)を用いて「せん佛」を科学分析した結果を報告する。また、砒素を含む無機顔料を特定するために、種々の形状の石膏ならびに漆喰(炭酸カルシウム)表面に砒素化合物および関連化合物を塗布し、分析結果におよぼす効果について検討した結果についても報告する。

２．実験

測定試料として選択した「せん佛」は、石膏製で直径が 16～17 cm、重量が 450 g程度である。全体的にわずかに赤みを帯びた白色を呈しており、表面は比較的粗い。蓮の花弁の上に座禅した仏の姿を表わしており、髪型、耳の形および衣のデザインに特徴があるとされている。形状は立体的で、手の部分は周囲より 0.5 cm、顔の部分は周囲より 1.9 cm 盛り上がっている。Ｘ線分析顕微鏡を用いて、これの蛍光Ｘ線スペクトルを得た。線源は Rh　Kα線(10 kV　1.00 mA)であり、同条件で点分析(測定時間　100 s)とマッピング(測定時間　3600 s、測定範囲　10 cm×10 cm)を行った。基準物質を用いて、エネルギーを校正した。

また、黄色顔料である雄黄を京洛膠および水で分散させ、それを板状および半円状の石膏およ

び漆喰表面上に塗布した試料を作成した。これら試料と X 線分析顕微鏡検出器間の距離を徐々に変化させて測定し、それが蛍光 X 線強度と質量濃度の値におよぼす影響を検討した。

3．結果と考察

「せん佛」の顔部分のマッピング結果を写真1に示す。立体的な試料のため検出器との距離の影響を受け、顔部分だけ浮かび上がったように検出された。「せん佛」の顔の右ほほの部分の点分析により得られたスペクトルを図1と2に示す。これらより、SとCaの強いピークが認められた。また、微量と考えられるFe、As、Srのピークが検出された。さらに、マッピングの結果より、SとCaは同じように分布していることが確認できた。これらの結果から、「せん佛」の本体が不純物として硫酸ストロンチウムを含む石膏($CaSO_4$)に由来するということが明らかになった。微量含まれているFeは自然界にかなりの濃度で広く分布しているので作製の際に混入したと考えられる。一方、As も自然界に存在するが、その含有量から判断して検出された As は「せん佛」表面に塗布された顔料に由来していると考えた。さらに As は顔と手の部分のみから検出され、仏の肌は黄色であるされていることより、「せん佛」の肌に当たる部分が雄黄(As_2S_3)で塗布されていると判断できた。残念ながら、顔と手以外の部位が彩色されていたという証拠は見出すことができなかった。

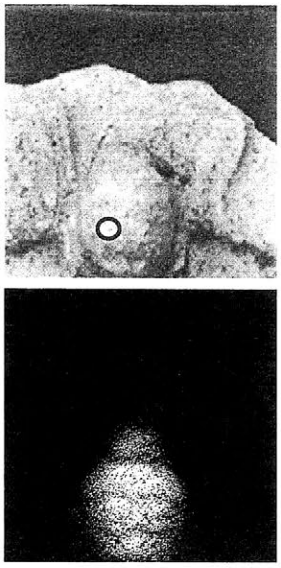


写真１　上：「せん佛」上部の写真、　下：同じ範囲のマッピング結果(Ca, S)

検出器と試料間の距離についての検討では、1.48 mm までは蛍光 X 線強度、質量濃度ともに距離による影響をあまり受けずに測定が行えた。それ以降でも、定性分析は行えるが、定量分析は精度が徐々に低下するため補正が必要であることが明らかとなった。

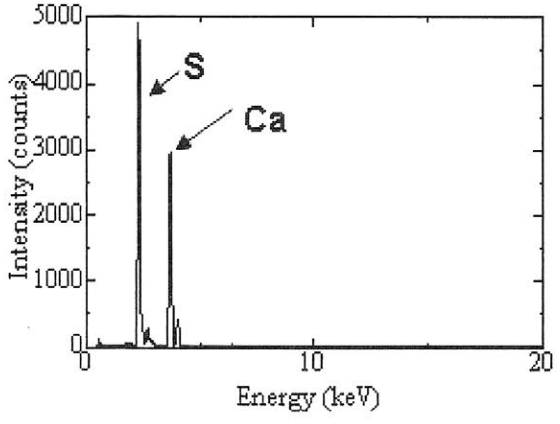


図 1. 蛍光 X 線スペクトル（せん仏の右ほほ）

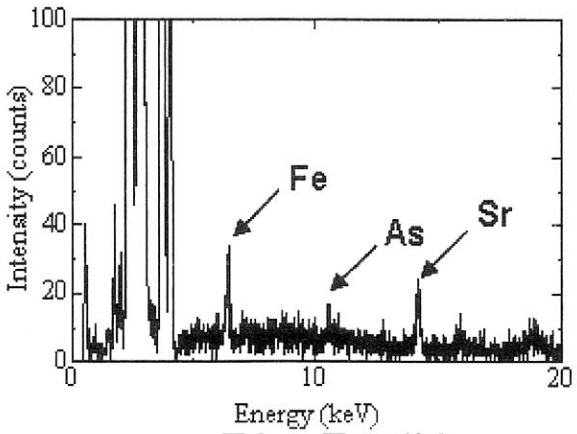


図 2.　図 1 の拡大

P—45

把手付坩堝の復元的研究

-真鍮地金の調合について-

○伊藤幸司（財団法人大阪市文化財協会）

1．はじめに

近世遺跡を対象とした発掘調査において、しばしば金属加工に関わる遺構・遺物が見つかる。そのほとんどは鋳造もしくは鍛冶に関わるものと解釈されているが、用途を断定できないものも少なくない。今回対象とした把手付の坩堝もその一つである。

この坩堝は、大坂城跡・大坂城下町跡の複数の調査地点から発見されており、孔径の細い羽口と共伴することが多いため、鍛冶に関わる何らかの副次的な、限られた地域での作業に用いられたもの、と思われていた。

しかし近年、堺・京都・北九州など他地域でも同様のものが多数確認されたことから、“日本各地で使われていた”、“金属加工に関わる”、“規格性の高い坩堝”である可能性が高くなった。この「異形」の坩堝は、工房毎の使い勝手からの「異形」ではなく、特定の作業での効率を求めたが故の規格性の高い「異形」であり、用いられた作業を限定する。

溶解した地金を特定するために、大阪城跡と北九州市黒崎城跡の出土資料の成分分析を行ったところ、量比の多寡はあるものの、どの資料からも亜鉛と銅を検出した。このことから、真鍮（黄銅）に関わる何らかの作業に使われた坩堝であることが判ったが、一般に言われている伸銅用の坩堝（深さに対して口径が小さい）とは形状が異なる。また、口が少しすぼまること、溶解量が少ないことから、鋳造作業には結びつけ難く、用途を断定するには至っていない。

このような状況の中、京都例が真鍮用の特殊な坩堝（梅干し壺坩堝）と共伴しているため、銅と亜鉛の調合に先立って行う色見のための坩堝（試し吹き用）ではないかという助言を得ていた。

今回の研究では真鍮地金の調合を想定し、実際に同形の坩堝を製作して銅・亜鉛を溶解・混合し、その作業性や得られる地金の状態、そして使用後の坩堝に残る痕跡の調査を行った。

2．形状の検討

出土品には次のような共通する特徴がある（図参照）。

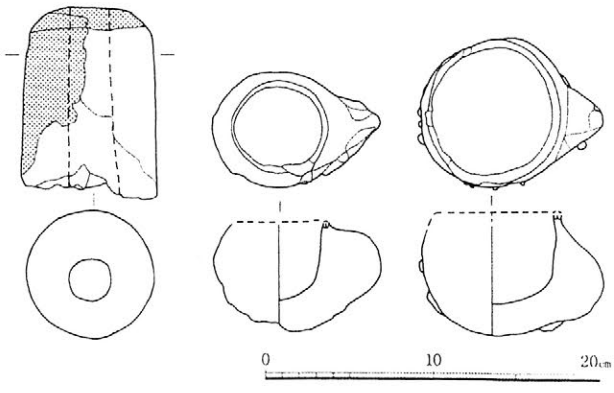
- 本体は球状を呈し口がすぼまる。
- 把手を手前に置いた時の左側外面が著しく焼けてガラス化している。
- 内面は素焼きの状態で、付着物はほとんどない。
- ほとんどの場合、把手は縦に付く。
- 把手には鉗（かなはし）でつかんだ痕跡がある。

2．実験

坩堝は、土鍋土（市販品）を使用し、重量比で 10%ほどのシャモットを混合した。直径６cmのスチロール球を芯にして造形した後、乾燥・焼成した。

炉は、屋内での小規模な作業を想定し、土間を直径 40cm 深さ 15cm 程掘りくぼめて炭をひいた。

加熱方法は、坩堝内に炭を入れて着火、



大阪城跡から出土した把手付坩堝と羽口
（『大坂城跡Ⅶ』から引用、改変）

斜め上方から吹き込むように送風した。銅地金は坩堝中の炭の上に置いて直接加熱した。

操業方法）

次の５つのパターンで溶解･調合作業を行った。地金の分量は銅 200ｇ･亜鉛 85ｇ程である。

①亜鉛を溶解、熱湯中への鋳造

②銅地金を溶解、亜鉛を加えてから蓋をして静置

③銅地金を溶解、亜鉛を加えてから湯床（熱湯中）へ鋳造

④銅地金を溶解、亜鉛を加えてから坩堝ごと熱湯中へ投入

⑤銅地金を溶解、亜鉛を加えてから蓋なしで冷却（亜鉛の飛散が激しいため断念）

②～⑤については、亜鉛の投入直後に３秒間ほど木の棒で撹拌（10 回転ほど）した。

成分分析）

実験に供した坩堝や蓋、調合した地金を切断して観察、蛍光Ｘ線分析を行った。

３．結果

①の場合、亜鉛が激しく気化するほどにまで加熱する必要がない。よって、成分分析では溶湯（亜鉛）に触れていない蓋や坩堝の口縁部分から検出される亜鉛は少量である。

②～⑤において、銅は 20～30 分程度で溶解でき、作業自体も同程度で終了した。

亜鉛を投入すると、蓋をしなければその場にいられないほど激しく飛散した。

坩堝中で冷却した②･④･⑤は、地金がきれいな形に収縮し坩堝から離れた。その表面および切断面の観察では真鍮色の中にマーブル状に亜鉛の偏りが見られる。これに対して、棹状に鋳造した③については、肉眼で見る限り亜鉛の偏りは認められなかった。

②～⑤は内面･外面ともに出土品に酷似した使用痕跡が残った。成分分析でも銅･亜鉛を主とする成分が検出された。特に蓋の内面は、黒崎城例と同様、肉眼では顕著な痕跡は認められないが成分分析によって多量の亜鉛を検出した。

４．まとめ

蓋をせずに自然冷却する方法は、溶銅へ添加した亜鉛の飛散が非常に激しいことから現実的ではない。また、手間ということから推し量れば、蓋をして自然冷却する方法が簡単だが、後に鍛打して板にする必要があるならば湯床の中で薄い円盤状に鋳造しておくべきであろう。地金中での亜鉛の偏りをなくすということからしても、後者の方が良いと思われる。

今回の実験は、真鍮地金を調合する前の色見用の坩堝という指摘からスタートしたのだが、実際に 300ｇ程の地金を調合してみた結果、「細工職人が必要に合わせて、都度、調合するのにはちょうど良い容量の、作業性の良い坩堝」という印象を受けた。

立ち返って出土品の供伴関係を見直すと、取手付坩堝と真鍮用の坩堝が供伴しているのは京都例のみである。当初想定していた“大規模に真鍮を生産する工場での色見用の坩堝”ではなく、“町中の銅細工工房で地金調合に使用した坩堝”と解釈すべきではなかろうか。

今回得られた結果だけでは把手付坩堝の使用方法を特定することはできない。しかし、実験②～⑤に供した坩堝の外観的な特徴（使用痕）や成分分析は、出土品のものと非常に類似した結果になっており、形状などの特徴と併せると、真鍮調合用の可能性は高いと思われる。

今回とりあげた異形の坩堝は、近世の金工技術の一側面を知る上で重要な資料である。出土事例の報告が蓄積されることを期待する。

参考文献）

財団法人北九州市芸術文化振興財団埋蔵文化財調査室 『北九州市埋蔵文化財調査報告書第 375 集 黒崎城跡３』2007 年

財団法人京都市埋蔵文化財研究所『京都市埋蔵文化財研究所発掘調査概報 2004-10 平安京左京三条四坊十町跡』2004 年

財団法人大阪市文化財協会 『大坂城跡Ⅶ』 2003 年

国宝彦根屏風の彩色材料調査

○早川泰弘、城野誠治（東京文化財研究所）

1．はじめに

国宝・彦根屏風（紙本金地著色風俗図）は、彦根藩主であった井伊家に伝来したことからこの名があり、近世初期風俗画を代表する傑作として知られている。これまで長期間、六枚の捲りの状態（六面の額装）で保管されてきたが、平成18〜19年度にかけて保存修理が行われ、本来の六曲一隻の屏風装へと仕立て直しが行われた。この修理にあわせ、東京文化財研究所では彦根城博物館と共同で、彦根屏風の詳細な現状記録と彩色材料の調査を行った。ここでは、ポータブル蛍光X線分析装置によって行われた顔料調査の結果を中心に報告する。

2．ポータブル蛍光X線分析装置による測定

ポータブル蛍光X線分析装置による彦根屏風の顔料調査の様子を図1に示す。調査はすべて彦根城博物館内で行われた。使用した機器はポータブル蛍光X線分析装置SEA200（SIIナノテクノロジー）で、測定条件は以下の通りである。

X線管球、管電圧、管電流：
Rh（ﾛｼﾞｳﾑ）、50kV×100μA

X線照射径、測定時間：
φ2mm、100秒/ポイント

装置ー資料間の距離：　約10mm

今回の調査では、彦根屏風の各扇に使われている色を網羅的に調べるため、第一扇〜第六扇にわたって約400箇所の測定を行った。

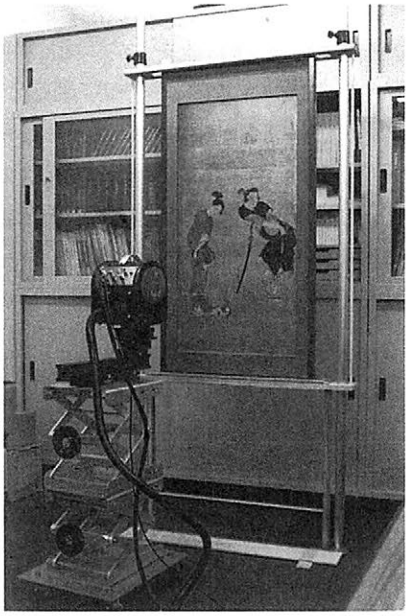


図1　彦根屏風の顔料調査の様子

3．調査結果

（1）人物の肌の表現について

人物の顔や手を描くために使われている材料はカルシウム（Ca）系白色顔料（胡粉）である。人物によってCa検出量が少しずつ異なり、意図的に塗り分けられている。Ca検出量の違いは、塗りの厚みの違いを表しており、検出量が大きい箇所ほど厚塗りで、検出量が小さいほど薄塗りである。最もCa検出量が大きいのは、第二扇左側に描かれた犬を曳く女であり、逆にCa検出量が最も小さいのは第六扇の三味線を弾く男である。両者の間にはCa検出量として約3倍の差が生じている。第二扇の刀にもたれる男からもCaが多く検出されており、第二扇は六扇の中で最もCa検出量が多い。

また、第二扇の刀にもたれる男、第四扇の文を読む男、第六扇の三味線を弾く男からは、Ca以外に鉄（Fe）と水銀（Hg）が検出された。Feは代赭あるいは黄土など茶色系の顔料、Hgは辰砂に代表される赤色顔料に由来しているものと考えられる。これら三名の顔の色は白色というよりは茶色に近い印象を受け、データによってそれが裏付けられた形である。

（２）金地背景について

彦根屏風の背景には、金箔を押したと思われる規則正しい縦横の桝目とともに、各扇の左右端部などに光沢感の異なる金色材料が存在している。画面全体を覆っている金地部分から検出されるのは主として金（Au）であるが、端部などからはAuとともに微量のCa、Feが検出される。画面全体を覆っている材料とは異なる材料が使われていることが確認された。また、人物が描かれている部分からはAuは検出されず、十五名の人物の下層に金箔は存在していないと判断できる。第五～六扇に描かれている山水屏風の下層にも金箔は存在していない。

（３）黒髪の表現について

黒色の頭髪部から検出されるのはCaだけであり、Ca系白色顔料の上に墨による着色が施されている。ただし、薄い黒色として塗られている黒髪の毛先部や結んでいる髪の部分など(図２で○をつけた部分)からはCaが検出されず､墨だけによる着色が行われている。Ca系白色顔料の有無によって黒髪の質感を変える描写がなされている。

第五扇　口元を隠す女　　第四扇　文を書く女　　第一扇　椿を持つ禿

図２　黒髪の表現について

（４）金泥彩色について

彦根屏風では、衣の文様に金色材料が使われている箇所がいくつか見られる。第一扇垂髪の女の芭蕉文や第三扇後ろを指差す禿の鱗文などに使われている。また、第五～六扇に描かれている屏風の飾り金具も金色で描かれている。これらの金色部分からは主としてAuが検出され、金泥による彩色が施されていると判断できるが、同時に微量の鉛（Pb）が検出されることが特徴的である。このPbの由来については特定できていないが、鉛丹などのPb系橙色顔料が併用されている可能性がある。

（５）銀の使用について

銀泥もいくつかの箇所で使われている。第一扇椿を持つ禿の稲妻文、第二扇刀にもたれる男の帯、第六扇器を持つ禿が持つ器などからAgが大量に検出される。ただし、これらの箇所の色調は現在異なっており、何らかの着色材料（染料など）が併用されている可能性がある。

P−47

三次元デジタイザ計測法による弥生時代武器形青銅器の同笵関係検討

○小林公治・今津節生・河野一隆・輪田　慧（九州国立博物館）・境靖紀（春日市教育委員会）

1.　はじめに

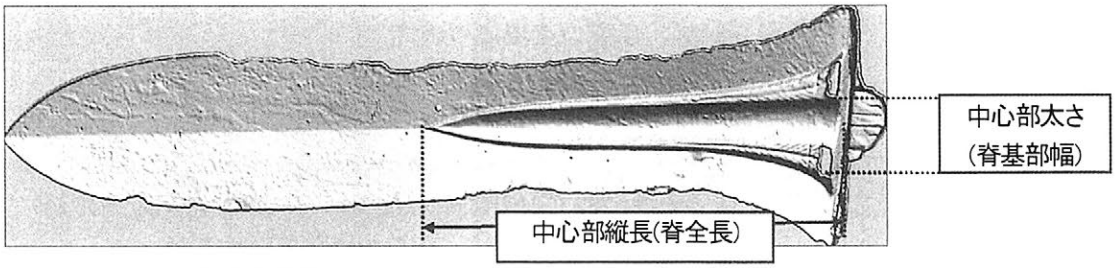
弥生時代前期の終わり頃、日本列島には朝鮮半島を経由して青銅器がもたらされた。弥生時代の青銅器は鏡や三種の武器類（銅剣・銅戈・銅矛）と銅鐸が主要器種であり、当初は墓の副葬品として出土し、その後は祭祀遺構からの出土が中心となる。また、鋳型の出土から青銅器の出現後ほどなくして北部九州で生産も開始されたことが明らかであるが、青銅器の生産状況については、石製鋳型や坩堝といった生産関係遺物の出土状況などから、福岡県春日市域が生産の中心地であったと考えられているものの、その実態についてはいまだ不明な点が多い。

本研究では、従来行われてきた青銅器類の肉眼観察や実測を補完し、より強化する方法として、文化財用に改良された 3 次元デジタイザを用い、精密な武器形青銅器の計測データを基に、弥生時代武器形青銅器の同笵関係を検討し、当時の生産・社会関係などの復元を目指すものである。本大会ではその試行研究として実施している福岡県春日市原町遺跡出土銅戈（文化庁所蔵）に対する分析の途中経過について報告することにしたい。

2.　調査方法

本研究で使用したのは九州国立博物館に設置されているドイツ製非接触光学式三次元デジタイザ（ATOSIII　Model400　GOM）である。本装置では対象物に縞模様を投影して左右のカメラで凹凸を捉えて、最小 0.05 ㎜の精度で計測を行うことが可能である。本研究では武器形青銅器に対しては表裏両面の計測を行い、得られた三次元データをコンピュータ上で合成した。

このデータを基本とし、同笵関係検討のために、銅戈鋳造後の加工（バリ取りや研ぎ）および使用による改変（刃部や柄との接合部）を受けないと考えられる脊全長や脊基部幅（第1図）の計測数値について各面の比較を行い、双方の数値が近いものを抽出、さらにその表裏両面の全体形態データを重ね合わせて同笵関係が認められるか否かについて肉眼的な観察を含めて検討した。

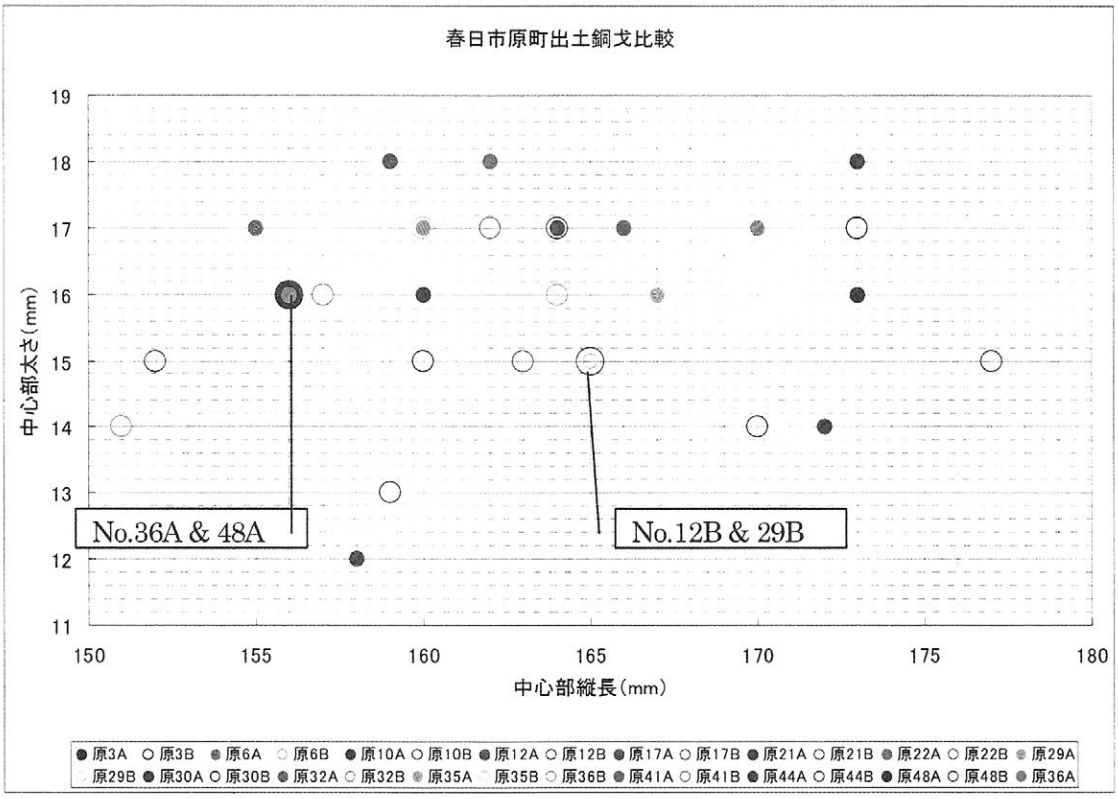


第1図　銅戈計測箇所

なお、原町遺跡では 1969 年に水道敷設工事中に総計 49 本の銅戈が内と鋒とを交互にして並べ、身を立てた状態で埋納されていたとされている。現在のところ、このうちの 15 本について計測が終了している。

3.　調査結果

分析を行った 15 本の銅戈のうち 2 組 4 面（No.36A と No.48A、No.12B と No.29B）の計測データが近似し、同笵関係を持つ可能性が予測された（第2図）。そこでこの 2 組 4 面の銅戈に対して全体形態データの重ね合わせ、詳細検討を行った結果、「樋界線」位置の不一致、「胡」の角度不一致、「内」中心線の有無、「脊」幅の不一致といった点（第3図）から、これらが同笵製品であるという判断はできなかった。

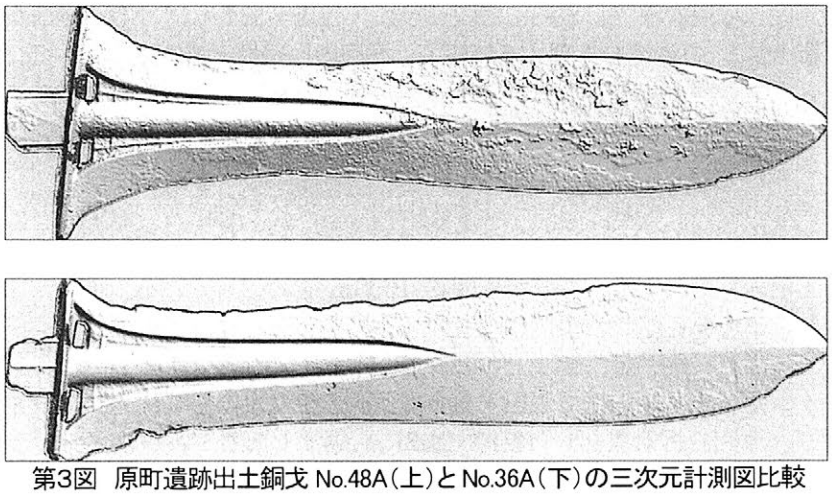


第2図　銅戈計測値の比較

4. 展望と課題

弥生時代武器形青銅器類の同笵関係の検討は、弥生時代社会の解明に重要な糸口を与えるものと予測されるが、従来は綿密な肉眼観察と精密な実測図の作成を通じて一部の研究者が行ってきた。しかしこのことは、逆に計測データや実測図の客観性や精度不足による実証の困難さを示している。ここで提示する三次元デジタイザ計測とそのデータに基づく検討は、こうした従来の手作業による方法論的な難しさを乗り越え、厳密で客観的なデータの提供を容易に可能とするものといえる。

今後は小形破片も含め、原町遺跡から出土したすべての出土銅戈に対して検討を行い、方法論の確立と同笵関係の有無について検討を行うと共に、その結果が青銅器の生産関係を含め、当時の社会復元にどのような意味を持つのか、といった面についても研究を進めたい。



第3図　原町遺跡出土銅戈 No.48A(上)と No.36A(下)の三次元計測図比較

P−48

ロシア沿海地方の渤海遺跡出土金属製品の材質分析と保存処理

小嶋芳孝・○中村晋也（金沢学院大学）
V.Boldin・A.Ivliev・Y.Nikitin・E.Gelman
（ロシア科学アカデミー極東支部歴史学考古学民族学研究所）

1. はじめに

ロシア沿海地方の渤海遺跡について、その全体像を明らかにするために渤海遺跡のデータベース作成、渤海土器の基礎的研究、金属遺物の成分分析を実施した。調査は2006年9月から2008年3月まで実施し、その間に遺跡踏査や土器実測、金属遺物の成分分析をおこなった。今回は、これまでの成果から金属製品の成分分析について報告する。

2. 分析対象遺物

分析の実施に当たって、小嶋と中村がウラジオストクのロシア科学アカデミー極東支部を訪問し、分析対象とする遺物について、イブリエフ氏やニキーチン氏をはじめとする研究所所員と協議した。その結果、ゴルバトカ城跡13点とクラスキノ城跡20点の計33点の遺物を分析対象とした。これらの遺物は、2007年3月にニキーチン氏が金沢学院大学に搬入し、中村が中心となってクリーニングと保存処理、蛍光X線分析を行った。一方、小嶋は借用資料を、写真撮影および実測図を作成して考古学的な検討を行った。

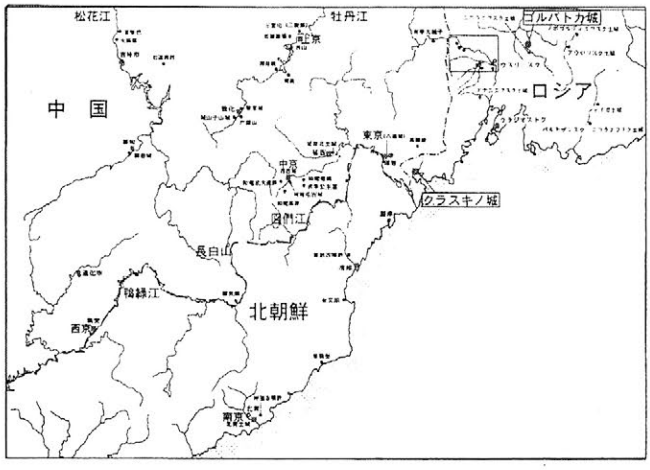


図1　ロシア沿海地方の渤海遺跡
（青山学院大学史学科作成の地図を改編）

2-1. クラスキノ城跡

ロシア沿海地方の最南端、ハサン区クラスキノ村の海岸から約300mの低地に造営されている。約1400mの周囲に城壁を築き、城内に寺院や役所・住居が置かれている。渤海から日本へ至る「日本道」（『新唐書』）の港湾を管理する施設で、渤海の塩州城と推定されている。今回、分析対象としたクラスキノ城跡出土の遺物は、鐔3点や帯金具9点が含まれている。これらのうち、帯金具には唐様式のものの他に契丹様式の資料も含まれている。また、鐔には鍍金された資料と鍍金されていない資料がある。

2-2. ゴルバトカ城跡

ウスリー河上流の平野にあり、城壁が周囲約1600mをめぐっている。渤海の領域では、北限に位置する城壁都市である。これまでの調査で、井戸や工房が発掘されている。工房では多数のルツボが出土しており、銅、金、錫などの金属を溶解していたことが科学分析で明らかになっている。つまり、シホテアリン山脈で産出する金属資源の集散地として、重要な役割を担った遺跡と推定しており、今回分析対象とした鉱滓（No.2）も銅滓であることが後述の分析で判明した。その他、銅鏡や腕輪状製品、帯金具などを分析対象とした。

3. 蛍光X線分析

3 - 1. 分析方法

資料表面をエチルアルコール：キシレン：酢酸エチル（4：4：2）の混合液で洗浄し、X線透過撮影で内部構造や劣化状態を確認した後、蛍光X線分析（定性分析）による材質分析を行った。分析装置はエネルギー分散型微小部蛍光X線分析装置（SII NanoTechnology 社製）SEA5230 を使用し、測定条件は、管電圧 45kV、測定時間 300 秒、試料室雰囲気は真空、各資料とも複数個所の測定とした。

3-2. 結果と考察

分析した資料はすべて銅を主成分としており、検出された主元素の組み合わせから、【Cu-Sn-Pb】製、【Cu-Sn】製、【Cu】製の 3 タイプに分類することができた。

分析した帯金具11点は2遺跡に共通して、いずれも【Cu-Sn-Pb】製であったが、そのうち座金を有する帯金具 2 点（No.18、22）については、いずれも座金部分が【Cu】製であり、別の材質のものを組み合わせて製作されていることが判った。これは、いずれの座金も厚さ約 1 mmの薄板状であり、鍛造加工や成形が容易に行えるように軟らかい銅（錫を含まない）を使用したと推察でき、同様の理由から環状飾金具、指輪、光背も【Cu】製であったと推察できる。

さらに、【Cu-Sn-Pb】製の遺物については、微強度検出元素の組み合わせから 8 タイプに細分することを検討してみたが、いずれも出土遺跡や製品種などとの相関性は認めることができなかった。

表 1　分析結果一覧

分析No.	遺跡名	遺物名	主検出元素	微強度検出元素	備考
1	ゴルバトカ	鉱滓	(Cu-Sn-Pb)	(Fe,As,Ag,Sb)	
8	ゴルバトカ	鏡			
9	ゴルバトカ	円形飾金具			
10	ゴルバトカ	方形金具			
7	ゴルバトカ	帯飾り		(Fe,As,Ag,Sb,Bi)	
12	ゴルバトカ	腕輪			
16	クラスキノ	帯金具(巡方)			
18-1	クラスキノ	帯金具			
22-1	クラスキノ	帯金具(鉈尾)			
23	クラスキノ	帯金具(丸鞆)			
24	クラスキノ	帯金具			
26	クラスキノ	帯金具(丸鞆)			
28	クラスキノ	帯金具(丸鞆)			
34	クラスキノ	帯金具			
3	ゴルバトカ	鉱滓		(Fe,As,Ag)	
19	クラスキノ	簪			鍍金(Hg検出なし)
5	ゴルバトカ	帯金具(鉈尾)		(Fe,As,Sb?)	
4	ゴルバトカ	円頭釘		(Fe,Ag)	
20	クラスキノ	簪			
30	クラスキノ	簪(脚部)			
31	クラスキノ	簪(脚部)			鍍金(金アマルガム)
13	ゴルバトカ	腕輪		(Fe,Ni,As,Ag,Sb)	
15	クラスキノ	帯金具			
29	クラスキノ	開元通宝			
11	ゴルバトカ	腕輪		(Fe,Ni,As,Ag,Sb,Bi)	
6	ゴルバトカ	帯金具(丸鞆)		(Fe)	
32	クラスキノ	簪(脚部)			
17	クラスキノ	銅銙	(Cu-Sn)	(Fe,Ag)	
27	クラスキノ	簪		(Fe,As,Ag)	鍍金(Hg検出なし)
2	ゴルバトカ	鉱滓	(Cu)	(Fe)	
18-2	クラスキノ	帯金具(座金)		(Fe,As,Pb)	
21	クラスキノ	環状飾金具		(Fe)	鍍金(金アマルガム)
22-2	クラスキノ	帯金具(鉈尾)(座金)		(Fe,Ni,As,Ag)	
25	クラスキノ	指輪		(Fe,Ag)	鍍金(金アマルガム)
33	クラスキノ	光背		(Fe,Pb)	鍍金(金アマルガム)

また、分析した 6 点（No.19、21、25、27、31、33）の資料から Au が検出され、うち 4 点（No. 21、25、31、33）からは Hg も併せて検出された。肉眼観察及び保存処理のクリーニングにおいて、これらは鍍金であることが判り、Hg 検出の 4 点は金アマルガムによるものであると考えられる。

4. おわりに

渤海遺跡から出土した金属器の分析調査は事例が少なく、おそらく今回の調査が最も数量的に多いケースと思われる。分析の成果は現在も解析を続けており、主成分元素を中心に組成の定量的検討を加えるなどし、遺跡や製品毎の製作技法を再検討する必要もある。同時に、今後もできるだけ分析の機会をつくってさらに分析データを積みあげていくことも重要である。

また、日本の 7～9 世紀代の遺跡から出土する帯金具などの金属資料も分析し、渤海と日本の金属器生産技術の比較検討をおこない、両者の技術的特徴を明らかにしていきたい。

なお、本研究は、平成 18 年度と 19 年度科学研究費補助金（若手研究（スタートアップ））による「ロシア沿海地方における渤海考古学の基礎資料調査」の成果の一部である。

P−49

出土絹製遺物の顕微赤外分析による研究Ⅱ

○ 赤田昌倫(京都工芸繊維大学大学院　先端ファイブロ科学)
佐藤昌憲(奈良文化財研究所 客員教授), 奥山誠義(橿原考古学研究所)

1. はじめに

出土繊維の同定に繋がるための、繊維の劣化研究という観点から、2007年の文化財化学会では出土した繊維の中で、絹の劣化状態に関する研究についての発表を行った。本研究チームでは絹の劣化に関するさらなる解析を行い、特に偏光スペクトルによる絹の繊維軸方向、横断方向の劣化に関してのいくつかの知見を得ることができた。今回は出土した絹の偏光特性とその劣化について発表する。

2. 絹のFT-IRスペクトルとその偏光特性

FT-IRの測定において無偏光の通常分析では、光源である赤外光は、物質に対して、ランダムな方向に振動運動した電磁波が混合された状態で照射されている。一方で分析時に偏光子を入れて分析すると、ランダムに振動していた光の中で特定の方向にしか振動していない光を選り分けて照射することができる。

絹を偏光子が入ったFT-IRで分析した場合、繊維の向き(配向)によって分子骨格の振動、回転に対応するエネルギーの吸収が測定される。つまり、繊維の軸方向と横断方向によって分子骨格が異なるものは得られるスペクトル形状も異なることになる。

このことから、光源に対して現代の絹と出土した絹を繊維軸、横断方向に配置することで繊維の劣化状態をより明確に理解することができる。

3. 資料

比較用の標準絹試料は*Bombyx mori*の精練絹糸を用いた。劣化繊維に関しては藤ノ木古墳から出土した繊維の中で、金属の影響が少ないと思われる繊維資料からサンプリングを行い、分析試料とした。

試料はダイアモンドセルにてプレスし、ダイアモンドセルをBKGとした。偏光子の設置角度を0°(電場の向きは垂直方向)として、試料の軸方向を縦方向にあわせて試料の測定を行った。次に試料の角度を90°回転させて試料の横断方向と偏光方向を垂直にした状態で試料の測定を行なった。(Fig.1)

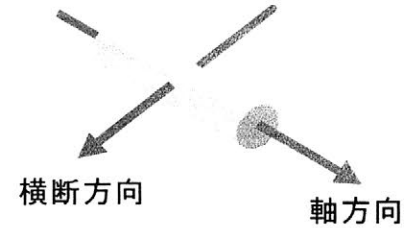


Fig.1 繊維の偏光測定イメージ

4. 分析方法とピーク算出方法

分析にはSPring8 Beam Line 43IRの顕微FT-IRを使用した。SPring8のビームである放射光は、本質的に偏光した光源であり、広い波長範囲に渡って直線偏光・円偏光を得ることができる。

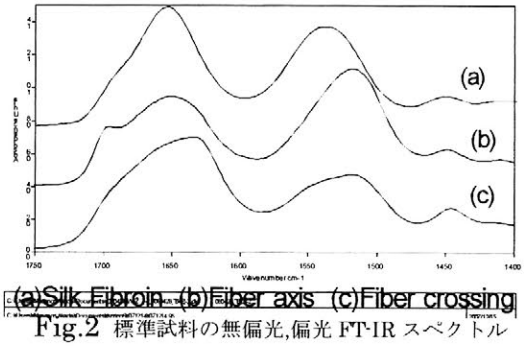
また、赤外放射光と顕微鏡を組み合わせ、数10 μmの空間分解能での二次元赤外分光を行うことも可能である。これらの特性は、微小で劣化した繊維文化財の研究にも適合する。

簡易定量を行うためノイズが少なくベースラインが安定したスペクトルを採用し、*Lambert-Beer*則に習い、アミドⅠ,Ⅱに関して多点ベースライン補正を行った。また、劣化試料は様々な外的要因を受けることでピークが前後にシフトしていることが考えられたため、二次微分法によってピーク位置の算出を行った。

5.　分析結果

5-1. 標準絹試料のスペクトル特性

標準の絹試料の偏光スペクトルは、無偏光スペクトルと比べてそのスペクトル形状は大きく異なる。繊維軸方向はアミドⅠにおいて1698cm^{-1}に非常に強い吸収が出現する。またアミドⅡがアミドⅠよりも強い吸収を持つのが特徴である。繊維横断方向はアミドⅠのピークトップが1630cm^{-1}前後に存在し、アミドⅡのピーク強度は無偏光スペクトルのそれよりも低いのが特徴である。(Fig.2)

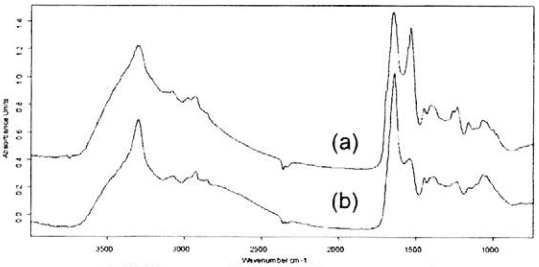


(a)Silk Fibroin (b)Fiber axis (c)Fiber crossing

Fig.2 標準試料の無偏光,偏光 FT-IR スペクトル

5-2. 劣化絹試料のスペクトル特性

埋蔵環境にあり劣化した絹試料はアミドⅡのピーク強度が低下しているのが特徴である。これは、無偏光,偏光のどちらのスペクトルに関しても同様のことがいえる。(Fig.3)



(a)Fiber axis (b)Fiber crossing

Fig.3 劣化試料の偏光 FT-IR スペクトル

また、二次微分によるピーク分離の結果から、軸方向,横断方向のどちらのスペクトルに関しても、アモルファスに帰属するピークは、優先的に強度が低下していることがわかった。このことから軸方向と横断方向ではどちらも同様の劣化が発生していることが確認できた。一方でその劣化度において軸方向,横断方向に差があるのかどうかを、結晶化度の変化から検証を行った。

5-3. 結晶化度の変化について

試料は微量かつ貴重であるため、XRD やDSC などによる結晶化度の変化を捉えることができない。しかしながら、FT-IR の簡易定量の概念を用いて、ピーク強度の比率を算出し、測定部位の結晶化度の変化を捉えることは可能である。これは、アミドⅠのピークから、{I1614(±4cm^{-1})/I1651(±4cm^{-1})…amorphous/β-sheet}の式を使用し強度比率から算出する方法である。(Fig.4)

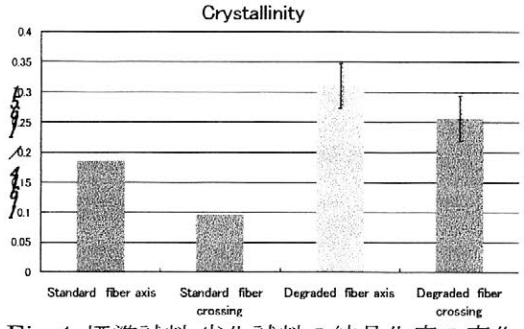


Fig.4 標準試料,劣化試料の結晶化度の変化

標準試料と劣化試料の結晶化度を比較すると、劣化試料の結晶化度が上昇していることがわかる。さらに軸方向よりも横断方向の方は結晶化度が高くなっていることがわかった。このことから、軸方向よりも横断方向のアモルファスの分解が進行している、つまり劣化が進行していると考えられる。

6.　最後に

繊維がさらに劣化すると再度アモルファスが増加することがわかっている。これは結晶質が崩壊したことによって新しく発生したアモルファスであると考えられている。現在、この現象について。結晶化度との相関関係の有無を検証している。また、アミドⅠ,Ⅱのピーク強度を段階別に分けグルーピングし、観察データと結晶化度を組み合わせて文化財の劣化状態に関する傾向を検証する予定である。

P－50

土坑内のリン、炭素、窒素の濃度分布と粒度分布、検出花粉化石と埋葬の可能性について

○渡辺正巳：文化財調査コンサルタント(株)
伊藤徳広：島根県埋蔵文化財調査センター　園山　薫：出雲市文化財課
後藤啓光：文化財調査コンサルタント(株)

はじめに

幅、長さ、深さなど、形態的に土坑墓の可能性があるものの、棺や副葬品などを伴わないことから「墓」と断定できない土坑について、各種化学分析（リン、炭素、窒素濃度測定）および粒度分析、花粉分析などから「土坑墓」の可能性を検討した。

原理

1）リン濃度測定

動物には様々な形でリンが蓄積されており、人間（成人）では（体重の）1%程度を占める。一方多くの植物はリンの割合が低く、0.1%に満たない。また、土壌中の含有量は、森林土壌で0.02～0.03%、有機質粘土で0.3%の値を示す。これらのことから、墓などの埋葬施設では人間由来のリンが土壌中の全リンに付加され、全リン濃度が高くなることが予想される。今回の測定では土坑中の全リン濃度分布を調べ、埋葬（ただし、人間か、ほかの動物かの区別は付かない。）の可能性を探った。

2）C（炭素）N(窒素）濃度測定

人間のC/N比は5程度であり、ほかの動物も同程度と考えられる。これに対し土壌微生物は5程度、平均的な植物は20程度である。また動物性のたい肥で6～16程度、植物性のたい肥で112以上を示す。また、人間のP/C比はおよそ0.05、平均的な植物では0.005程度を示す。検出されたリンが、動物由来か植物由来かを調べるために、有機炭素、窒素濃度を測定し、C/N比、P/C比を算出した。

3）粒度分析

測定した各種元素には、地表からの浸透が考えられるほか、浸透した元素が不透水層の存在により滞留する可能性も指摘される。粒度分析を行い不透水層となる泥層の存在を確認した。

4）花粉分析

「埋葬」という文化を持つ人間は、同時に「お供え」をすると仮定し、「花」の存在を調べた。

分析方法

1）リン濃度測定

地質調査所の珪酸塩分析方法に準拠して試料を溶解後、モリブデン青吸光光度法により吸光度を求め、リン濃度を算出した。吸光度の測定には日立製作所製分光光度計U-2000を使用し、波長880nmの吸光度を測定した。

2）C（炭素）N(窒素）濃度測定

前処理の後、標準試料にはBBOTを用いて、FISONS（旧カルロエルバ社）製元素分析機EA-1108により測定した。

3）花粉分析

渡辺（1995）に従い処理を行い、光学顕微鏡下で観察した。

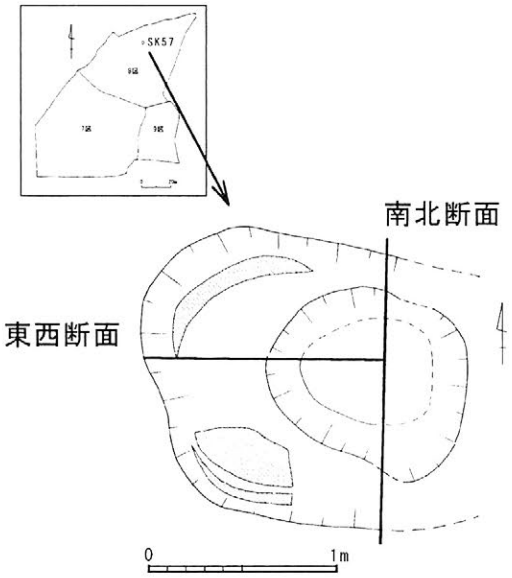
4）粒度分析

-1φ～4φの標準篩を用いて篩分けを行い、各階級ごとに重量を測定した。

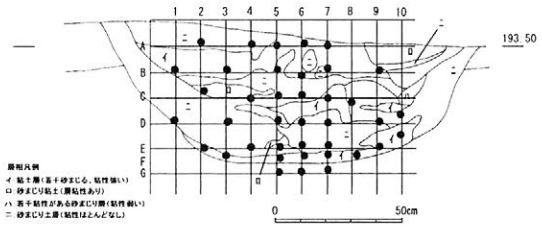
調査位置

1) 原田遺跡（島根県仁多郡奥出雲町佐白 前布施：斐伊川上流部河岸段丘上に立地）

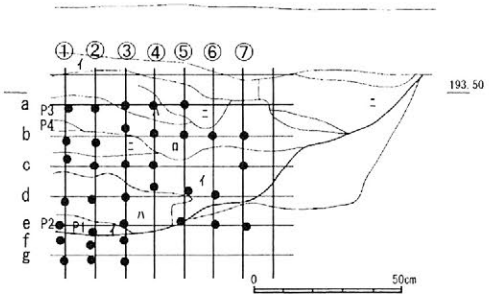
旧石器時代（火山灰層序より判定）の土坑（SK57）



土坑（SK57)平面



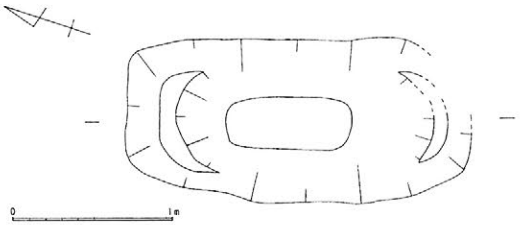
南北断面



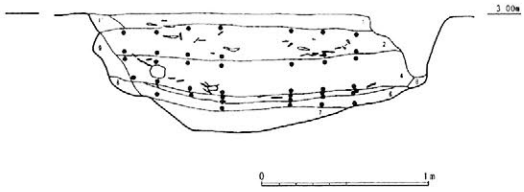
東西断面

2) 矢野遺跡（島根県出雲市矢野町：出雲平野中央部、微高地（自然堤防？）上に立地）

弥生時代前期（出土土器より判定）の土坑（SK32）



土坑（SK32)平面



土坑（SK32）南北断面

まとめと問題点

土壌中での諸元素の動態、時間的な変化、菌根菌の影響が不明である。

現耕土からの諸元素の染み込みが、土坑上部に認められることが明らかになった。

今回の研究により、根（あるいはクラック）による上部からの諸元素、花粉化石の移動について、判断できることが分かった。

今回分析を行った２つの土坑については、底部でリン(P)の高濃度（？）分布が認められた。炭素(C)/窒素(N)、リン(P)/炭素(C)比から、Pが動物に由来した可能性が示唆され、底部に動物が埋まっていた可能性が指摘できる。

P−51

出土した金属製品に付属する繊維製品の非破壊調査

～九州および北海道の事例～

○手代木美穂（東北芸術工科大学文化財保存修復研究センター）

1．はじめに

現在、私たちが目にすることができる古代における繊維製品は、正倉院宝物などに代表される伝世品と発掘調査からの出土品に大別される。出土繊維製品は先史時代からの編布、織布の出土例により当時の製作技術から生活様式などを類推することが可能である。しかし、繊維自体が残存する例は僅少であり、鏡や刀剣類など金属製品の表面に錆着して残存しているものなどが使用例を示すことが多い。付着している繊維片は、その材質・織り方・金属製品への装丁方法から、その時代背景に対して新しい情報が付加できる可能性があり、貴重な資料として認識されている。このような繊維の調査はその種類を同定するために、実資料から切片を取り調査する破壊分析がなされてきた。しかし、文化財保存の面からすれば、資料の欠損となる場合があり、より確実な結果を見出す非破壊での精度高い調査方法の推考は保存科学の重要な任務であると考える。

本発表では、筆者が福岡県、北海道、宮崎県で行った錆着した繊維製品の断片に対する非破壊調査結果の一部を報告するとともに、同資料に対する切片を用いた破壊調査の既往研究結果とを比較し、非破壊調査による繊維片の材質同定等の可能性についても検討する。

2．調査方法

実体顕微鏡観察を用いて、非破壊非接触で出土金属製品表面に残存する繊維片を調査し、その記録と写真撮影を行った。この方法や内容は吉松茂信先生よりご教授を受け、調査項目を繊維の太さ、撚りの方向、繊維の経緯方向、織密度、繊維の素材推定とした。繊維の素材については、古代の繊維技術の背景から主に糸撚りの有無に注目して推定した。

3．本調査結果と既往の研究との結果比較・考察

調査研究の結果、同資料に対して本調査結果と既往の繊維切片結果が比較できるものがあった。そのうち、2資料3点については次のような結果を得た。

福岡県福岡市　唐原一次遺跡　鉄製鉇

本資料（図1）は出土後20年以上が経過しているが状態良く保存され、2種の繊維の太さおよび織密度の違う繊維片が明確に確認できた（図2）。より太く粗い密度の繊維片（図3）は平織、繊維の太さは0.8~1.2mm、一部よじれが見えるものの全体的には無撚りの繊維であったことから、絹の可能性が高いと推定したが、麻類などの植物系繊維の可能性も否定できなかった。また、より細くこまやかな密度の繊維片は平織、繊維の太さが0.5mm程度、無撚りの繊維であり、素材としては絹であると推定した。同資料に対しては、布目順郎氏の調査が2種の繊維片に行われている。その切片調査の断面形状の特徴から絹糸

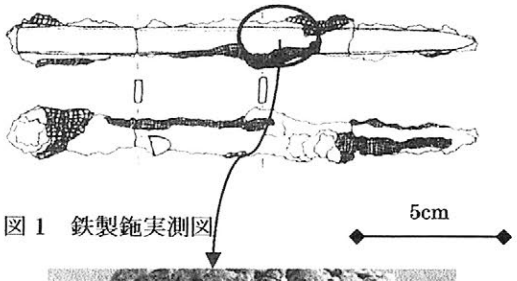


図1　鉄製鉇実測図

図2　太さ織密度が異なる2種の繊維片

と同定されており、本調査結果と一致した。本比較から古代繊維の繊維種同定には、太さ・密度に加えて、撚りの有無を重視する本調査方法の有効性が示唆された。

図3　より太く粗い密度の繊維片

図4　より細く細やかな密度の繊維片

北海道恵庭市西島松5遺跡　P3－1　刀子

本遺跡からは多数の出土金属製品から錆着した繊維片が確認されている。本資料には、さびコブのような膨らみの中から、錆着していないほぼオリジナルと推察される繊維片が観察できた（図5・6）。非破壊調査の結果、平織で、繊維の太さは0.8~1.2mm、強い右撚り（図 7）が繊維全体にかかっていることから麻類の繊維片であると推定した。田口氏、星野氏によって報告されている同資料切片調査では、その断面形状から麻類などの植物系繊維と同定されており、本調査結果と一致した。しかし、田口氏らはさらに詳細な分類をしており、非破壊分析でそれを追従するには、さらに調査研究が必要である。

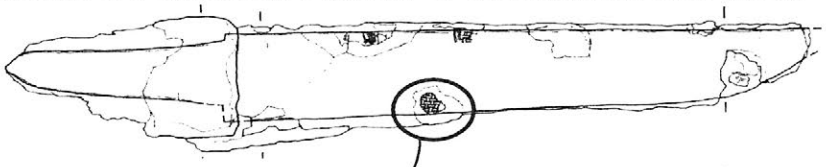


図5　P3-1 刀子　実測図

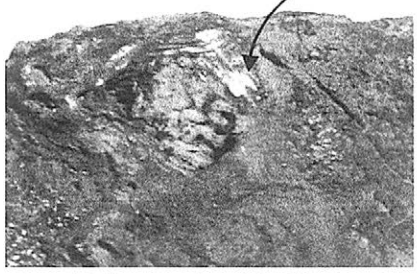


図6　錆着していない繊維片

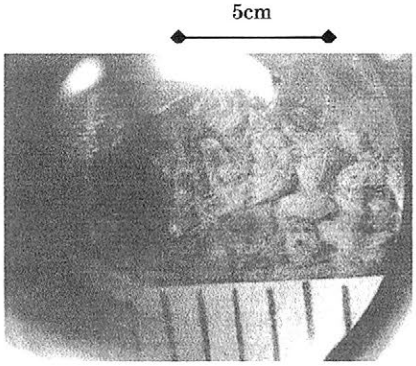


図7　右撚りのかかった繊維片

謝辞

本調査研究遂行においては、佐藤昌憲先生（奈良文化財研究所）、吉松茂信先生（宮内庁正倉院事務所）、比佐陽一郎氏（福岡市教育委員会）、田口尚氏（財団法人北海道埋蔵文化財センター）、東憲章氏（宮崎県立西都原考古博物館）にご助言ご助力いただきました。末筆ながら、記して深く感謝申し上げます。

参考文献

吉松茂信「繊維片の構造調査」東北芸術工科大学公開講座「文化財保存科学の実践～有機質遺物編」2002

布目順郎「目で見る繊維考古学－繊維遺物資料集成－」染織と生活社　1992年

福岡市教育委員会「唐原遺跡－集落址編－」福岡市埋蔵文化財調査報告書第207集　1989年

北海道埋蔵文化財センター「恵庭市西島松5遺跡(2)－柏木川改修工事用地内埋蔵文化財発掘調査報告－北海道埋蔵文化財センター調査報告書第178集および194集　2002・2003年

P－52

繊維鑑別のための基礎的研究

―ベトナム(ドンソン文化時代)の出土繊維を試料として―

○ 伊藤美香(昭和女子大学)，小原奈津子(昭和女子大学)，Nguyen van Viet (The Centre for Southeast Asian Prehistory)

1. はじめに

ベトナムの強酸性土壌から出土したドンソン文化時代(1B.C.頃～4A.C.頃)のミイラに使用されていた3種類の布片について、市販の麻繊維やベトナムに現存している自生植物繊維を標品として繊維鑑別を試みた。土壌が硫酸を5%から40%含むpH3以下の湿潤した地質であったため、出土した布片は織物形状を維持した状態で発掘された。布片は肉眼および低倍率の形態観察においては非常に状態良く保存されているように見られたが、高倍率で単繊維を観察すると、繊維の原形を推測することが困難なほど劣化が進行していた。そこでまず、織組織や糸の構造、繊維幅の計測、Twist-Test、フロログルシノール塩酸溶液による染色性を調べた。さらに、フーリエ変換赤外分光(FT-IR)分析によるリグニン、ペクチン、セルロースなどに由来するピーク強度比からセルロース系繊維を特定することを試みた。また、標品を土中に包埋して人工的に劣化を進行させ、その試料についても同様の測定・解析を行って劣化によるスペクトル変化を検討した。今回は主にこのFT-IR分析結果について述べる。

2. 実験方法

2.1 試料

・標品繊維

ベトナムに現存している自生植物繊維

：苧麻(TS05-G)と大麻(TS05-L)の未精錬標品と精錬標品

国内市販品繊維

：精錬苧麻(栗原株式会社)，精錬大麻(東京川端商事株式会社)

・ベトナム出土繊維

YEN BAC 04

：2004年にHA NAM省DUY TIEN県Yen Bacの墓地において発掘された、1800年前の生後9ヶ月の子供のミイラが纏っていた布。出土採取後、水に浸漬したのみの状態で保存。

DONG XA 02(dyeing samples) - Dark colored, Light colored

：2002年にTHAI BINH省DONG HUNG県Dong xaの墓地において発掘された、2300年前の成人(有力者)のミイラが纏っていた布。出土採取後、水に浸漬したのみの状態で保存。布のヨコ糸・タテ糸に濃淡の区別が認められるため、濃色の糸(ヨコ糸)をDONG XA 02-Dark colored、淡色の糸(タテ糸)をDONG XA 02-Light coloredとした。

2.2　方法

・フーリエ変換赤外分光光度計による分析

各標品繊維ならびに蒸留水で吸引洗浄後に凍結乾燥させた出土繊維、土中包埋して人工劣化させた各試料の赤外吸収特性について1回反射ATR(ATR-PRO410S)を取り付けたフーリエ変換赤外分光光度計(FT/IR480Plus：日本分光㈱)を用いて測定波数範囲4000cm^{-1}～750cm^{-1}、分解能4cm^{-1}、スキャンスピード毎秒2mm、積算回数(58～64)で測定した。

・土中包埋による人工劣化

6種類の標品繊維をポリエステル製のネットに入れて東京都世田谷区(昭和女子大学内)の地表面から深さ20～30㎝土中に包埋し、人工的に劣化を進行させた。15日目と30日間に掘り起こし、試料の一部を採取した。

3. 結果および考察

Twist-Testでは、出土繊維3種類のうちYEN BAC 04のみ、反時計方向への旋回が確認され、DONG XA 02のLight colored、Dark coloredは共に旋回が認められなかった。この結果からYEN BAC 04は大麻繊維である可能性が高いと推測された。また、リグニンの呈色による鑑別法である、フロログルシノール塩酸溶液での染色テストでは、YEN BAC 04とDONG XA 02- Light coloredはやや赤味を帯びたが、DONG XA02-Dark coloredには変化が認められなかった。このことからDONG XA 02についてはLight coloredの方がDark coloredよりリグニンを多く含む繊維である可能性が考えられた。しかし、着色が僅かであったため、目視による判別には限界があった。そこで、GarsideとWyethによる新しい鑑別法[1]を参考にして、出土繊維ならびに人工劣化前後の標品について、ATR法によるFT-IR測定を行った。これらの吸収スペクトル上のリグニン中の芳香族化合物に由来する1595cm^{-1}(in-plane C=C伸縮振動)の吸収の、多糖成分に由来する1105cm^{-1}(C-O-C配糖体エステル)の吸収に対するピーク強度比R1($I_{1595/1105}$)と、同じく繊維中有機物に由来する2900cm^{-1}(C-H伸縮振動)の吸収に対するピーク強度比R2($I_{1595/2900}$)を求めて比較した。人工劣化前の標品の中では未精錬のベトナム大麻のR1およびR2値が一番高く、未精錬のベトナム苧麻はこれに次いで高かった。この結果は一般に苧麻より大麻の方がリグニン含有量が多いことと対応している。精錬によりリグニンが除去されるため、精錬された標品は未精錬のものよりR1値、R2値共に低い値を示した。さらに、全ての標品において、劣化後のR1およびR2値は劣化前よりも低い値を示し、リグニン含有量が減少する傾向が認められた。一方、激しく劣化している出土繊維のR1値は劣化前の未精錬のベトナム大麻と苧麻の中間値を示し、R2値は劣化前の全ての標品繊維よりも高い値を示した。このことは使用された繊維が精錬されていないものであることを示唆すると共に、これらの発掘された強酸性土壌においては通常の土中とは異なる過程で劣化している可能性も考えられた。さらにリグニン由来の1595cm^{-1}の吸収強度とペクチン由来の1735 cm^{-1}(C=Oエステル)の吸収強度を比較した。その結果、ベトナム苧麻(未精錬)には1735 cm^{-1}のピークが認められたが、ベトナム大麻(未精錬)と出土繊維ではこれに対応するピークは検出されなかった。従って、YEN BAC 04とDONG XA02- Light colored は共に大麻繊維であると推測される。他方、DONG XA 02 - Dark coloredは呈色反応の結果を考慮すると疑問の余地が残るが、FT-IRを鑑別の主要な根拠とすると、大麻繊維である可能性が高い。

参考文献

1) Paul Garside, Paul Wyeth：Studies in Conservation 48, 269-275 (2003)

P－53

善通寺市菊塚古墳出土空玉・耳鐶の科学的調査とその意義について

○杉本和江（古美術修理　すぎもと）・川本耕三（（財）元興寺文化財研究所）・
笹川龍一（善通寺市教育委員会）

1、はじめに

菊塚古墳の遺物に関しては、05年に馬具類の科学的調査を本学会で発表した。[注1]引き続き、金属製装身具である空玉と耳鐶について、同様な調査を行ったので、その結果を発表する。本調査によって、同古墳出土金属製遺物のなかで、金を加飾に用いた遺物すべてに対して科学的調査を行ったことになる。

このような悉皆調査を行うことによって、一古墳で出土する金を用いた加飾技法に関して、その多様性を明らかにすることができた。同時に、地域や時代といった視点に加えて、技法の組み合わせや分布に関しても注意を払う必要性があると考えられた。

2、分析資料について

耳環は合計8点、報告書[注2]挿図番号（33）・（34）が玄室内、他6点が石屋形内から出土している。それぞれ2個体ずつの4対になると考えられる。空玉は、推定10点以上、玄室を中心に、一部石屋形内からも出土している。但し、本報告で問題とした報告書挿図番号（42）は玄室内から出土している。

3、分析方法

耳環・空玉ともに、金・銀等の検出を目的に、それぞれが残存していると思われる部分を中心に、エネルギー分散型ケイ光X線分析装置（セイコーインスツルメンツ（株）製SEA5230　以下XRFと略す）を用いて元素分析を行った。次に、金が検出された遺物に関しては、その状態を走査型電子顕微鏡（日立製作所製（株）S－3500N　以下SEMと略す）で観察した。さらに、元素の分布状態を調べる為にエネルギー分散型電子線マイクロアナライザー分析装置（（株）堀場製作所EX－300　以下EDXと略す）を用いて、主に金・銀・銅・水銀の分布状態を観察した。

3、結果・考察

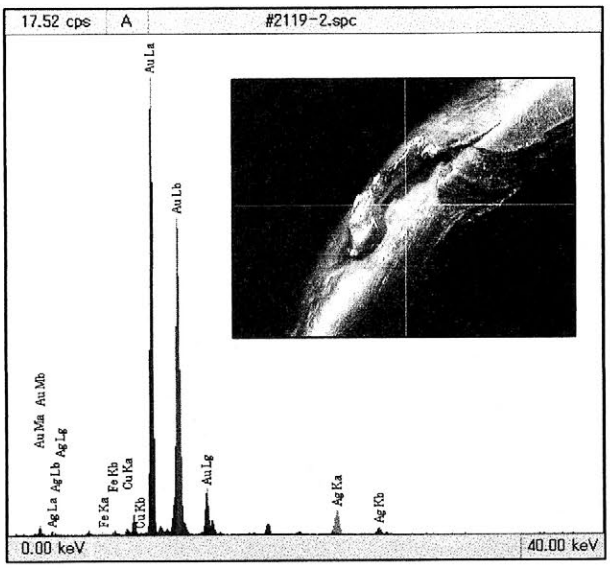
空玉は、まず大形の破片も含めて全てXRFで分析を行った。外見上は特に個体差は感じられなかったが、挿図番号（42）にだけ、銀・金・水銀が認められた。その後測定個所も増やして、EDXでも分析を行ったが、同様の結果となり、この1点だけが本来は金色であった可能性があることが判明した。

4対の耳鐶を分析結果によって、素材と構造を考えると表1のようになる。報告書の挿図番号（33）・（34）はXRFではHgが検出されなかった事からAgを含むAuの薄板と判断した。一方、挿図番号（35）・（36）では、金の分布と共に水銀の分布も認められたことから、アマルガム鍍金であると考えた。

表1　耳鐶素材と構造　（比佐陽一郎氏の分類法に依る）

挿図番号	芯材	中間材	表装材	鐶の構造	表面の色
33	銅	金（銀を含む）の薄板	なし	中空	金
34	銅	金（銀を含む）の薄板	なし	中空	金
39	銀	なし	なし	中実	銀
40	銀	なし	なし	中実	銀
36	銀	なし	鍍金	中実	金
35	銀	なし	鍍金	中実	金
37	金	Au	なし	中実	金
38	金	（Au）	（なし）	中実	金

図1　挿図番号（37）のXRFスペクトルと分析位置



また、挿図番号（37）の表面の一か所が捲れていた。（図1）そこで、耳鐶表面と捲れ内部双方を、XRF・SEM・EDXで調査したが、金と若干の銀などが検出されただけで、水銀は全く検出されなかった。従って、対と考えられる（38）も同様な状態と判断されるが、両遺物とも完形で、内部の状態など詳細な調査はできなかった。

5、さいごに

金を加飾に用いた馬具・装身具と、大きく分けて2種類の遺物全てを分析した。菊塚古墳出土の馬具では、銅（水銀）が検出されにくい例があることが明らかになったが、基本的な加飾方法は、アマルガム鍍金であった。一方、耳鐶は多様な技法によって製作されている。この事は玉類の形態の多様さ、ガラス玉の色彩の多様性などと同様、装身具の一つの特徴であると理解された。

金を加飾に用いた技法については、（37）・（38）のように、いまだ不明な技法も多く、今後も引き続き調査・分析を進めて、技法の特徴を明らかにするとともに、地域的・時代な比較も行ってゆきたい。

注1　日本文化財科学会第22回大会　研究発表要旨集　2005年

注2　善通寺市内遺跡発掘調査事業に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書10
平成17年　ほか

P−54

化粧土を塗布した土器の化学的考察

青銅器時代を中心に

○ 黄　嵩凱、中井　泉(東理大・理)

1.　はじめに

カマン・カレホユック遺跡はトルコ共和国の首都アンカラの南東の中央アナトリアにあり、クルシェヒル市から北約 50Km のところにある。同遺跡では、1985 年から予備調査、1986 年から発掘調査が開始され（大村幸弘隊長）、都市の住居遺構は昨年までに四層の文化層（I 層、オスマントルコ時代（1400-1700AD）; II 層、鉄器時代（1200-320BC）; III 層、中・後期青銅器時代（1930-1200BC）; IV 層、前期青銅器時代後半（2300-1930BC））が確認されている。

同遺跡の IV 層は今までの発掘で六層の建築層が確認され、土器の観察からさらに IVa と IVb に細分されている。IVb 層から出土した土器の多くは轆轤（ろくろ）を用いた形跡がない手づくねの土器であり、IVa 層から出土した土器は轆轤を用いた土器と手づくねの土器両方が存在する[1]。この手づくねから轆轤の製作技法の変化はメソポタミア文明の流れをくむアッシリア商人が中央アナトリアへ入ってきたために生じたと考えられている[2]。そこで本研究では IV 層で確認されている建築層を基に新旧関係が明らかな仮層から口縁部の土器片(1282 点)を胎土の違いで分類し、その中から前期青銅器を代表する典型的なクリーム土器と中期青銅器を代表する赤色スリップ土器を対象に、土器の製作技法の解明と粘土の産地推定を行うことによって、前期青銅器時代と中期青銅器時代の土器における文化の継続や断絶に関する知見を得ることを最終的な目的とした。

2.　試料と実験

土器の原材料である粘土には様々な鉱物が含まれている。これらの鉱物は原料の産地に関わる情報を含んでいるので、その鉱物種を同定することによって土器の産地推定の手がかりが得られる。鉱物の同定法はまず土器の一部（約 2 cm × 2 cm）をダイヤモンドカッターで切断し、研磨して薄片（約 0.03 mm）を製作した。薄片は偏光顕微鏡による岩石学的な手法を用いて観察し、胎土の中に含まれる鉱物片及び岩石片などの種類構成を明らかにした。その後、土器（クリーム土器 8 点、赤色スリップ土器 3 点）を乳鉢で粉砕し、篩で 355 μm 以下の粒子を抽出し、ヨウ化メチレン溶液で重鉱物（比重 2.9 以上）と軽鉱物を分離し、重鉱物分析を行った。分離された重鉱物は樹脂でグラス板の上で貼り、薄片にし、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて、反射電子（BSE）像を観察しながら鉱物組成の特徴を大きくとらえつつ、鉱物の化学組成をエネルギー分散型 X 線分析装置（EDS）で調べ、重鉱物のモードを出した。その後、すべての試料に対して、出現頻度が最も高い鉱物である角閃石を波長分散型 X 線分析装置（WDS）で定量した。

粘土マトリックスの化学組成分析は SEM-EDS を用いて行った。また、土器焼成温度を推定するため、様々な温度で土器を再焼成し、再焼成に伴う胎土組織の変化を SEM により観察した。最後に市販の粘土をクリーム土器に近い組成で調製し、再焼成による焼成特性について理解を深めた。

3.　結果と考察

赤色スリップ土器の鉱物片及び岩石片の種類構成はクリーム土器と異なっている。二種類の土器の鉱物片とも石英、長石と角閃石が多いが、赤色スリップ土器の胎土には特徴的に黒雲母が多く含んでいる（図２）。また、クリーム土器の胎土には泥質石灰岩が多く含んでいる（図１）が、赤色スリップ土器の胎土には石灰岩がほとんど含んでなかった。岩石片に関して、赤色スリップ土器の

胎土には多結晶石英が多く含み、クリーム土器の胎土には花崗岩（図 3）と変成岩などが多く含んでいる。EDS による半定量分析の結果から、クリーム土器は赤色土器よりもカルシウム含有量が高く、30%を超えた土器もあった。よって、クリーム土器製作に使った原料は一般的な粘土ではなく、堆積した泥灰土が使われた可能性が考えられた。

試料に認められた鉱物・岩石の種類から推定される地質と遺跡周辺の地質と比較してみた。背景となる地質を直接示唆するものは、試料中に認められた岩石片である。土器胎土に認められた岩石片のうち、石灰岩は、堆積岩を主体と石灰岩や苦灰岩地質が推定され、多結晶石英と花崗岩類からは、花崗岩類の地質が推定される。

重鉱物分析の結果について、クリーム土器と赤色スリップ土器の胎土中の主な造岩鉱物である角閃石、緑簾石と柘榴石の三成分をもちいて、三角ダイヤグラムを作り、土器は三つのグループに分けられた（図4）。赤色スリップ土器とクリーム土器を含むグループ１の特徴としては、角閃石が多く含んでいる。グループ２の特徴としては緑簾石が多く、グループ３の特徴としては石榴石が多い。

以上の結果から、前期青銅器時代のクリーム土器の原材料の採取は一箇所ではなく、複数の採取地で採取したことが分かった。また、試料の重鉱物モードを遺跡近所で採集した河砂利の鉱物モードを比較する [3]と、クリーム土器と赤色土器の原材料は遺跡の近郊でとれるが、採取地は異なる可能性が高いことが分かった。

最後に、焼成温度を推定したところ、クリーム土器の焼成温度は 700℃以下が多いが、1000℃を超えた土器もあった。また、赤色土器の焼成温度は 700℃から 900℃の間と推定できた

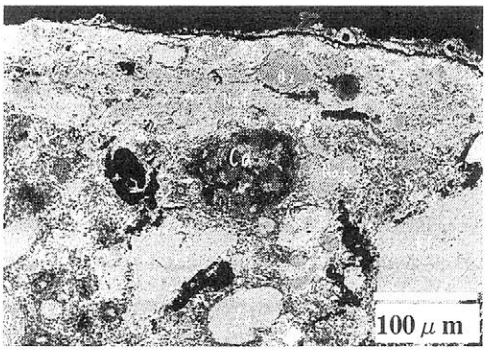


図１：クリーム土器の胎土の反射電子像

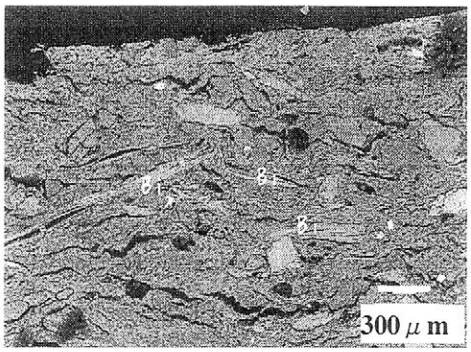


図２：赤色スリップ土器の断面の反射電子

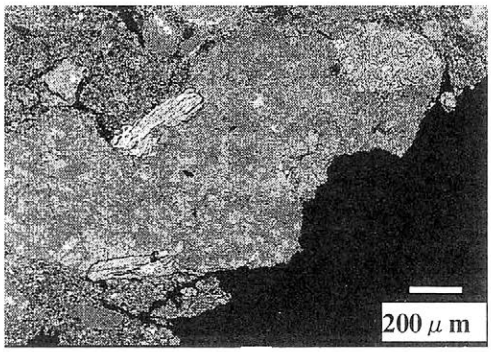


図３：クリーム土器に含まれる花崗岩
Qz, 石英; Kf, アルカリ長石; Bi, 黒雲母; Ca, 石灰; Na-f, 斜長石; Am, 角閃石; He, 赤鉄鉱

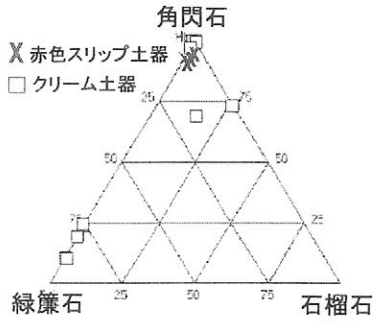


図４：角閃石、緑簾石と柘榴石の三角ダイヤグラム

1) 大村幸弘, 1997, アナトリア考古学研究, Vol.VI, pp.1-66.

2) 大村幸弘, 2004, アナトリア発掘記.

3) 宮能修ら, アナトリア考古学研究, Vol.XI, pp.191-201.

P－55

平城京跡出土三彩・緑釉陶器と緑釉瓦の自然科学的分析

○降幡順子・神野恵・今井晃樹・肥塚隆保（奈良文化財研究所）

１．はじめに

平城宮内から出土した奈良三彩、緑釉陶器および緑釉瓦、平城京内の寺院跡から出土した緑釉陶器と緑釉瓦に関して詳細な観察及び釉薬・胎土の化学組成、結晶構造について分析をおこなった。測定には24資料を供し、非破壊分析による調査をおこなった。資料の化学組成や焼成温度の推定など個々の資料の特徴を明らかにするとともに、これらの結果から、陶器と瓦など器物による差異、宮内と寺院など出土地による差異に関しても議論できる情報を得ることを目的としている。

2. 分析資料

分析に供した資料は、平城宮東院地区出土陶器４点、瓦・塼８点、平城京西大寺出土陶器８点、瓦・塼４点で、三彩、緑釉、褐釉である。

陶器資料の胎土は、淡褐色から淡赤色を呈しているものが多く、細粒の有色鉱物を若干含んでいる。瓦・塼資料は、淡灰色から褐色を呈し、1-2㎜大の石英や長石、細粒の有色鉱物を含んでいる。垂木先瓦の胎土はきめが細かく白色を呈しているため、瓦種により差異がある可能性もある。

陶器資料の釉は、東院出土資料１点を除き、両面施釉資料である。保存状態については、表面全体が銀化あるいは亀裂・貫入に沿って一部銀化が観察できる資料、釉の透明性が失われている資料、薄層状に風化している資料、釉表面が剥落し胎土との中間層が露出している資料など、比較的状態の良好なものを含めて大きく五種類に分類した。三彩資料の場合、白色釉部分は白釉であるか基礎釉であるかを明確にする必要があるが、顕微鏡観察では今回分析に供した資料は、基礎釉であると考える。

3. 分析方法

顕微鏡観察により、釉層の気泡の状態や表層の風化、銀化の状態観察をおこなったのち、分光測色計を用いて釉の色調測定、光沢度計により光沢度測定をおこない、風化の程度と光学的な測定結果の関連についての情報を得た。また内部の構造観察のためにＩ.Ｐを用いて透過Ｘ線画像の撮影を実施した。蛍光Ｘ線分析により、釉表面の各色調の化学組成の定量分析をおこなった。標準試料としてNIST、BCR、産業技術総合研究所のガラス・岩石標準試料を用いた。非破壊測定のため、測定は複数回おこない、その平均値を本研究では資料の分析値とすることとした。また、一部資料については、クロスセクションサンプルの作成が可能であったため、断面方向の観察および蛍光Ｘ線分析をおこなった。胎土については、平滑性の得られる資料は、Ｘ線回折装置にて非破壊測定をおこない、焼成温度を推定する情報を得た。

4. 結果と考察

主成分元素である二酸化ケイ素と酸化鉛(PbO)の相関関係を図1に示す。西大寺の緑釉陶器資料はPbOを約22～71wt%の範囲で含有しており、もっとも幅広い分布を示した。陶器資料と瓦類資料のPbO平均値はそれぞれ43wt%と33wt％であり、陶器資料の方が鉛含有量は多い傾向を示した。褐釉のPbO平均値は55wt%であり、緑釉、基礎釉(白色釉)に比べ鉛含有量が多い傾向を示した。

緑釉部分から亜鉛を検出する資料があり、特に東院出土資料では6割以上の資料から検出し、他方西大寺出土資料では2割以下であった。生産地や原材料などを考える上で、今後注目していく元素のひとつではないかと考えている。また、西大寺出土資料では1点であるが、リンおよびカルシウムが顕著に検出された資料があり、藁灰の使用の可能性とともに、出土状況等を考慮に入れてさらに考察していきたい。西大寺出土資料では4点でマグネシウムを顕著に検出し、西大寺・東院出土資料のどちらからも砒素が

検出される資料があり、原材料や生産地が異なるなどの可能性が考えられる。胎土のX線回折測定では、すべての資料から石英を検出し、さらに資料によっては粘土鉱物、長石類を検出している。ムライトの生成や長石類の融解が検出できなかったため、胎土の焼成温度は1000℃以下であると考えられる。

緑釉部分など、釉の微量成分に差異が認められたため、今回注目した元素について、今後はさらに出土地・資料数を増やし、国内で生産された鉛釉陶器や施釉瓦、使用場所との関連について追求していきたいと考えている。

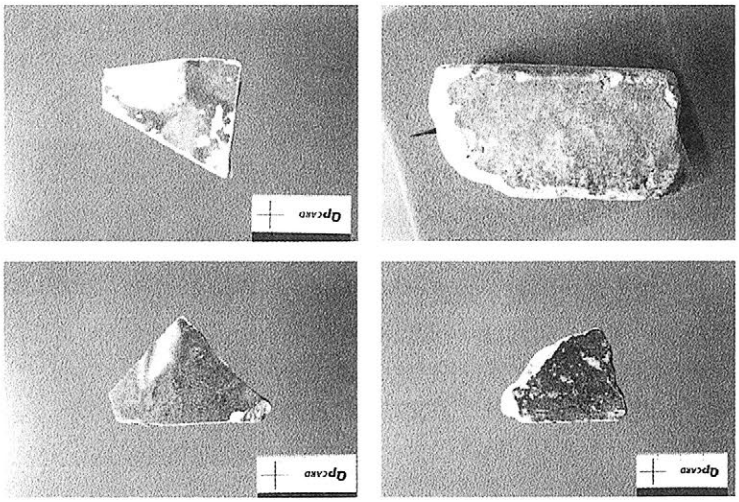


写真１：分析資料の一例。左上）西大寺出土三彩陶器　右上）西大寺出土緑釉瓦
左下）東院出土三彩陶器　　右下）東院出土三彩瓦

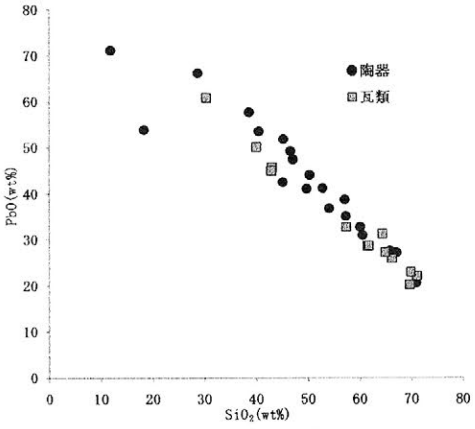


図１：　二酸化ケイ素と酸化鉛含有量

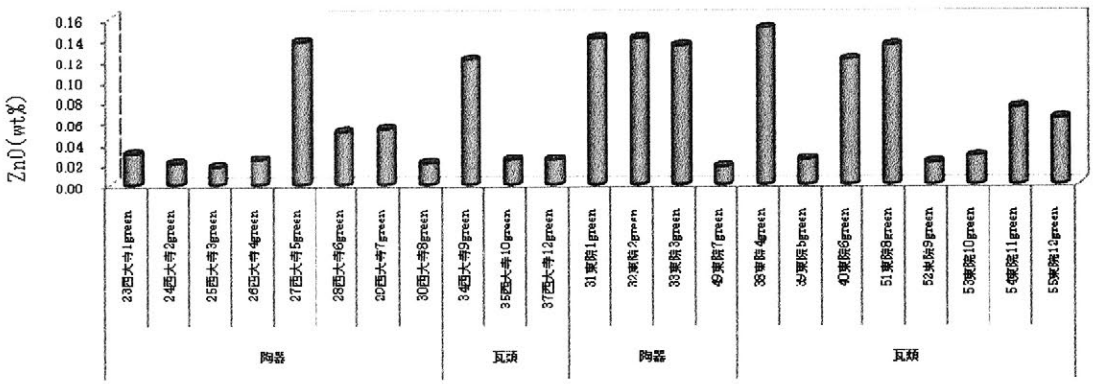


図２：緑釉におけるＺｎＯ含有量（wt%）

P－56

刀剣製作における焼き入れ工程の温度条件

○齋藤　努（国立歴史民俗博物館）、高塚秀治（同）

はじめに

前近代からの伝統技術を継承している職人は、その感覚に従って作業を行い、製品を作っている。われわれは、そのような技術を自然科学的な視点からとらえ諸条件を数値化して記録することは、将来へ向けた文化的継承のために有意義なことと考えた。ここでは、刀鍛冶職人の技術を対象とし、日本刀製作の最終工程である「焼き入れ」の際の温度条件について調査を行った。

焼き入れによって日本刀の表面には刃文（刃部と地部の境界）が形成されるが、それには大きく分けて「沸（にえ）」と「匂（におい）」の２種類があり、刀鍛冶は意識的に作り分けることができる。「沸」は「塗物に銀の砂子を振い掛けたる如し」と形容され、刃文部に肉眼で確認できる程度の粒子がみえるものであり、また「匂」は「春霞が棚引く如く又白く烟の如し」と形容され、粒子が肉眼では確認できないほど微細な状態のものをいう。これは刃文における金属組織の相違を反映するものであり、前者はマルテンサイト粒子が大きくてその周囲のトルースタイトの厚みが比較的薄く、後者ではマルテンサイトが小さくて数多くまた周囲にトルースタイトが広く分布しているとみられる。

図１　焼き入れのための加熱

本研究では宮城県在住の刀匠・九代目法華三郎信房氏、法華栄喜氏父子に協力していただき、以下を明らかにする事を目的として実験を行った。

１．「沸」と「匂」を作る時の加熱温度の違い

２．焼きが入らないように地部に塗る焼刃土の役割と効果

また、通常、刀鍛冶は目視によって対象物のおおよその温度を知ることができ、最適な加工温度を自分なりの基準で把握しているとされるが、その再現性や実際の測定値とどの程度一致するのかということも興味の対象である。

実験方法

上記「１」については、現代鋼（JIS 50C、炭素濃度 0.5%）を全長 35cm、刃長 25cm 程度の小刀の形状に成形し、これに、通常日本刀で「沸」と「匂」の刃文をそれぞれ作る際に行っているのと同じ条件で焼き入れ工程を施した。比較のため、同様の形状で、皮金の炭素濃度がこれとほぼ同じである、前近代のたたら製鉄のよって得られた材料を使用して作った小刀についても焼き入れを行った。この際、高温用サーモグラフィーを使用して加熱時（水に入れて急冷する直前）の資料側面の温度分布を非接触で測定した。焼き入れ処理後の資料は切断してダイヤモンドペーストで研磨し、1%ナイタールでエッチング後、EPMA（JEOL JXA-8200）で刃文を中心に金属組織を観察した。

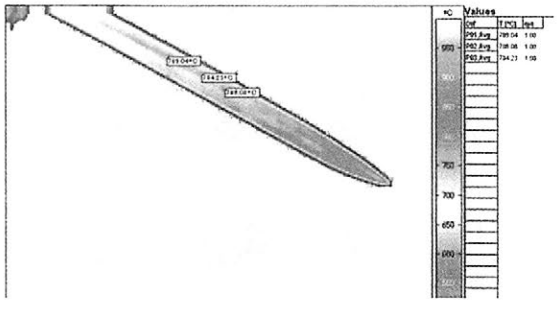


図２　高温用サーモグラフィーによる温度測定

「２」については、「沸」を形成する条件で加熱した資料に対し、水中で冷却する途中で取り出し、焼刃土を素早くはぎ取って、土の下にある鉄部分の温度を高温用サーモグラフィーで測定した。この

時の冷却時間を変えて温度変化の状況を調べた。

結果と考察

「1」については、俵國一などの先行研究により、刃文を形成するためにはフェライト＋パーライトの組織をもつ鉄を加熱し、オーステナイトへの変態温度を超えたのちに水中で急冷することが必要とされ、また「沸」と「匂」の発生要因として加熱温度の相違を指摘しており、高温で前者が、低温で後者が生成するとしている。刀匠の法華三郎氏も、「沸」と「匂」を作るわけるための要因の一つとして加熱温度を重視しており、この点は整合的である。

本実験の結果では、「沸」を作る条件での加熱温度は、測定することができた3資料についてそれぞれ780～800℃、780～790℃、780～800℃、また「匂」を作る条件での加熱温度は2資料についてそれぞれ720～730℃、720～740℃であり、先行研究の指摘と刀匠の経験を裏付ける結果となった。また、これらの工程では「沸」で800℃前後、「匂」で730℃前後を想定して加熱を行ったものであり、刀匠の感覚と実際の加熱温度がかなりよく一致し、また再現性も認められるということがわかった。なお、実際の工程では、刀身の部位によって温度に相当の幅があり、ここで示した測定値は、刀匠が加熱温度を観察している、刀身のほぼ中央部付近（焼刃土の上）における数値である。

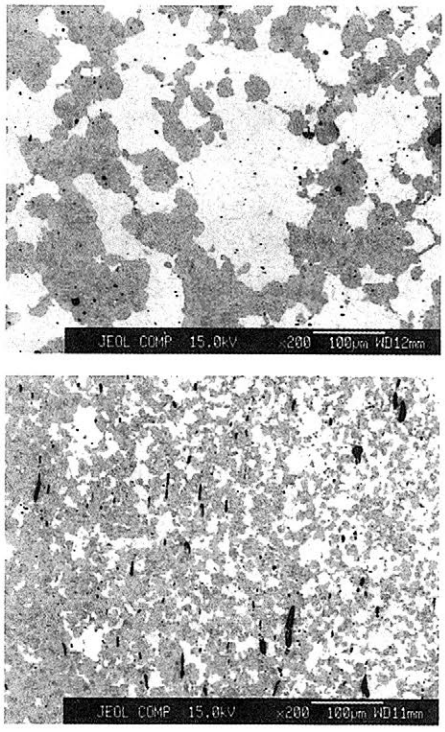


図3　沸（上）と匂の反射電子像（×200）
白色部分がマルテンサイト

「2」の結果を図4に示した。焼刃土を塗った部分（刀身の地部となるところ。ここには焼きが入らない）の鉄の温度は、水中に入れた直後には冷却速度がやや大きいものの、変態温度に達する前に冷却速度が遅くなっているために、マルテンサイトなど焼き入れ組織の生じない条件が得られているのだと考えられる。冷却が進み、刀身に反りが入り始めるのに伴って焼刃土ははがれていくが、その時点までに、徐冷によるパーライトへの変態が進行し、鉄部分が水に直接ふれて急冷されても組織変化が起こらない程度まで達しているのであろう。焼刃土の下の鉄部分でこのように温度降下が小さい理由としては、加熱後、水に入れた時点では焼刃土の表面は高温となっているため、水は表面で激しく気化して内部への浸透が起こらず、またこれによって表面で気化熱が奪われても土の断熱性によりその効果が鉄部分まで及びにくくなっているためと推定される。なお、焼刃土がほとんどかかっていない刃部については、本実験の最短冷却時間0.48秒で、すでに測定限界の340℃以下まで温度が下がってしまったため、冷却速度を算出できなかった。しかし、冷却後の金属組織としてはほぼ完全にマルテンサイトとなっていることから、1000℃／秒以上と考えられる。

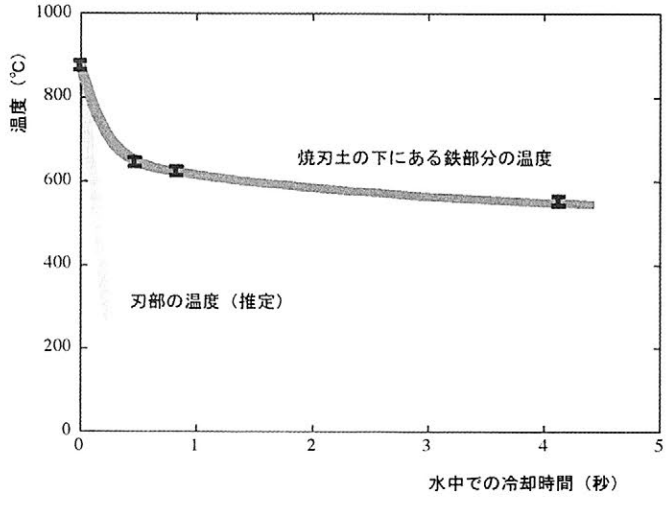


図4　冷却時間と温度変化

P−57

レバノン共和国ティール市郊外所在ローマ時代地下墓の壁画顔料の分析

○西山要一(奈良大学文学部教員)、Gaby MAAMARY(レバノン・バラマンダ大学教員)、Nader SEKLAWI(レバノン考古総局)、辛長河・倉賀野健・中山真吾(奈良大学大学院生)、板垣泰之・中谷可奈・石郷岡怜(奈良大学文学部生)

はじめに

奈良大学はレバノン共和国南部のティール市郊外の壁画地下墓 TJ04 について、2004〜2007 年度の 4 年間に 5 次合わせて 130 日間、教員・学生延べ 50 名を派遣し、レバノン側からは考古総局・大学生・市民延べ 50 名が加わり、調査・修復を実施、2008 年 3 月に本研究を終えた。

この研究では、地下墓の考古学調査、修復とともに顔料分析や環境観測などさまざまな保存科学的研究もあわせ行った。本発表はそのうちの顔料の分析について述べるものである。

1 地下墓の構造と壁画

壁画地下墓 TJ04 は石灰岩の丘の裾に 5m の下降階段とその奥に 2.9m 四方、高さ 2.2m、およそ 25 ㎥の墓室と、左右の壁、奥壁、床下に納棺施設 21 基を築いている。

北・東の壁面にはそれぞれ上下 2 段、左右に 3 列合わせて 6 基の納棺棚を設けている。南壁には下段の下にさらに 2 基、合わせて 8 基の納棺棚を設けている。壁画は下段納棺棚の梁に赤い波形の文様、上段納棺棚の梁にオリーブ文様、左右 3 基の納棺棚の左端には灯火台、2 か所の隔壁に石柱が描かれている。これが側壁壁画の基本形である。ただし、上段の梁のさらに上の壁面に描かれていた文様は不明である。西壁(入口左右の壁)の壁画文様も不明である。天井には一辺 2 m の枠の中に 24 の花弁の花文様を描き、同心円状に赤・緑・黄色等に彩色している。宇宙や季節を表し破損した中央部分に神か仮面を描いていた可能性もある。納棺棚は蓋石によって閉塞されるが、前面を黄色に彩色した 1 石のみ発見した。したがって、地下墓 TJ04 が完成し、全ての納棺棚が使われていた時代には、墓室全面が極彩色の壁画で飾られていたものと考える。

2 TJ04 壁画の顔料と漆喰の X 線分析

顔料分析試料は、墓室の床に堆積した納棺棚の石材や土砂の除去作業によって採取された小片である。レバノン考古総局の許可を得て日本に持ち帰り奈良大学の蛍光 X 線分析装置及び X 線回折分析装置を用いて分析を行った(図 1)。また、ガビー・マアマリーがレバノン山中より採取した岩石を破砕・精製して作った顔料も試料とし比較した。

TJ04 顔料の分析では、いずれの試料からもカルシウム元素と Calcite、Aragonite が多く検出されている。壁画面が漆喰仕上げであること、およそ 2000 年の間にカルシウムの膜が壁画表面を覆っているためである(表 1)。時としてカルシウムが顔料成分を隠すこととなっている。

赤色試料はカルシウムとともに鉄が検出され、X 線回折により Hematite が検出されている。一方、水銀はなく硫黄もわずかしか検出されない、すなわち水銀朱ではなく、ベンガラであると判断できる。茶色、黄色の試料の X 線回折では Hematite が検出されないが鉄が検出され、赤色と同様に酸化鉄系の顔料と判断できる。

緑色の試料からは蛍光X分析によってアルミニウムと鉄が特徴的に検出され、一方、銅が検出されないこと、すなわち緑青ではないことから、緑土と判断できる。黄緑試料も同様である。

これらの判断は、ガビー・マアマリー試料の分析データ、すなわち赤色試料(Mans07-004)からは鉄、緑色試料 (Bchr04-001) からはアルミニウムと鉄が特徴的に検出されていることからも首肯できる(表 2)。困難なことの多い顔料特定であるが、現在の顔料データと比較によって可能となった。

図1　地下墓TJ04
の壁画顔料
の分析試料

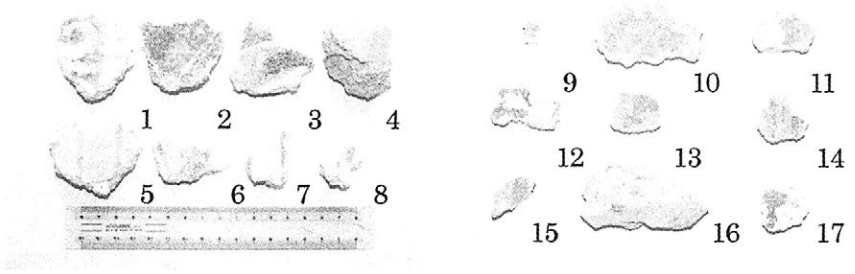


表1　地下墓TJ04壁画顔料のX線分析

試　料	元素分析（蛍光X線分析）												鉱物分析（X線回折分析）
	Na	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Fe	Ni	Pb	/ ［顔料名］
赤(1～17)													Calcite($CaCO_3$)、Hematite(Fe_2O_3),
平　均	-	-	3.5	1.9	1.2	0.6	77.8	0.5	-	14.3	-	0.2	Aragonite($CaCO_3$)［酸化鉄・ﾍﾞﾝｶﾞﾗ］
茶(10,14)													Calcite($CaCO_3$), Aragonite($CaCO_3$)
平　均	-	-	6.4	-	1.0	1.0	81.0	0.6	-	10.1	-	-	/ ［酸化鉄・ﾍﾞﾝｶﾞﾗ］
黄(13,14)													Calcite($CaCO_3$), Aragonite($CaCO_3$)
平　均	-	-	4.3	-	0.6	1.0	89.9	0.2	-	4.2	-	-	/ ［酸化鉄・ﾍﾞﾝｶﾞﾗ］
緑(2,3,9,10													Calcite($CaCO_3$), Aragonite($CaCO_3$)
13)　平均	1.0	0.3	8.0	1.2	6.3	2.9	77.3	0.4	-	6.7	0.1	-	/ ［緑土］
黄緑(2,3)													Calcite($CaCO_3$) , Aragonite($CaCO_3$)
平　均	-	0.8	3.5	3.2	0.9	2.3	85.9	0.1	-	3.5	0.1	-	
灰 (2,11)													Calcite($CaCO_3$) , Aragonite($CaCO_3$)
平　均	-	-	2.2	1.5	1.4	1.1	84.8	0.3	-	8.9	-	-	
黒　(4,5)													Calcite($CaCO_3$) , Aragonite($CaCO_3$)
平　均	-	-	6.5	1.1	1.6	1.0	85.7	0.3	0.5	2.6	-	-	
漆喰(1-17)													Calcite($CaCO_3$), Aragonite($CaCO_3$)
平　均	-	0.1	3.4	1.7	1.0	-	92.5	0.3	0.1	0.6	0.0	0.1	（炭酸カルシウム）

表2　ガビー・マアマリー顔料のX線分析

試　料	元素分析（蛍光X線分析）											鉱物分析（X線回折分析）
	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Fe	Ni	Cu	
赤												Quartz(SiO_2), Hematite(Fe_2O_3),
(Mans07-004)	-	6.0	36.2	-	-	0.3	0.9	2.6	54.0	-	-	Kaolinite($Al_2Si_2O_5(OH)_4$)
茶												Quartz(SiO_2),Kaolinite($Al_2Si_2O_5(OH)_4$),
(Mans07-001)	-	25.6	40.2	1.2	2.0	2.3	2.3	9.9	17.2	-	-	Greigeite(Fe_3S_4), Hematite(Fe_2O_3),
緑												Sanidine($K(Si_3Al)O_8$)),
(Bchr04-001)	3.5	12.7	32.6	-	0.1	14.7	16.2	4.7	15.3	-	0.2	Cupper Potassium Sulfide(Cu_7KS_4)
												IronSilicate Hydroxide($Fe_3Si_2O_5(OH)_4$)
黄緑												Dolomite($CaMg(CO_3)_2$)
(Zgrt05-001)	10.1	3.0	7.4	-	0.5	2.5	67.5	3.1	6.0	-	-	

化学組成からみた二上山産サヌカイトの石器石材への利用動向

○高橋　豊（富士常葉大学環境防災研究所）・佐藤良二（香芝市教育委員会）

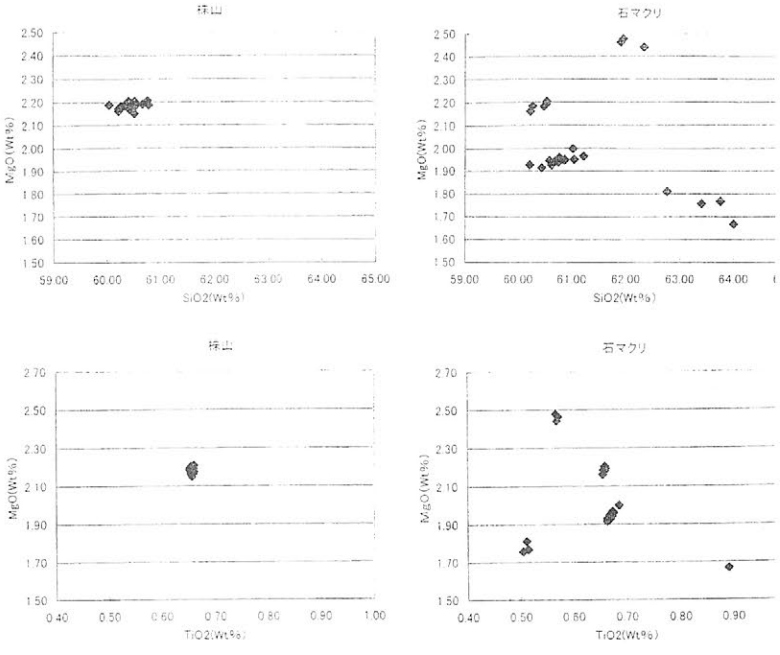
はじめに

瀬戸内火山帯の代表的な火山である奈良県と大阪府県境にある二上山とその周辺地域には、安山岩質サヌキトイドの火山活動がみられる。二上層群を構成する原川累層の溶岩類の噴出年代は13.6±0.7Ma,-14.6±1.5Ma,で新第三紀中期中新世の噴出とされる。

今回は、この原川累層の溶岩類のうち「,春日山火山岩」と「石マクリ火山岩」について、全岩化学組成分析を試みた。両火山岩の化学組成の差異を峻別できれば、二上山北麓のサヌキトイド分布と重なる遺跡群の各遺跡と、それぞれの消費地遺跡との関係などの考古学的課題を進展させうるからである。

分析方法

分析方法波長分散型蛍光X線分析（XRF）方法は佐野（2001）に従った。まず、粉末試料および融剤（四ほう酸リチウム：和光純薬工業、無水、タイプII、蛍光X線分析用）を110℃のオーブン内で12時間乾燥させた後、デシケーターの中でそれぞれ室温になるまで冷ました。次ぎに粉末試料0.8000(±0.0004)gに対して融剤4.000((±0.0004)gを加え、めのう乳鉢の中で均質になるまで混合した。これを東京科学製CS-2型白金るつぼに入れ同社製ビードサンプラー装置TK-4200型を用いて1100℃の温度で直径30mmのガラス円盤を作製した。その際、るつぼからのガラス円盤の剥離を容易にするために、ヨウ化リチウム水溶液（ヨウ化リチウム0.4gに対して水10g）を1滴（約10mg)加えた。このガラス円盤をXRF(株式会社リガク製RIX2100)にかけ安山岩質サヌキトイド主成分組成（Si, Ti,Al,Fe,Mn,Mg,Ca, Na, K,P）および微量成分組成（Rb,Ba,Nb,Sr,Zr,Y,Cr,Ni, V）を決定した。



結果

二上山山麓周辺の安山岩質サヌキトイドの岩体は点在している。分析試料の「株山」は、春日山の株山遺跡にみる岩脈から採取し、「,春日山火山岩」と考える。試料「石マクリ」は春日東方1kmの砕石場跡、現在の太子温泉地点で、田尻部層を覆う溶岩流「石マクリ火山岩」と思われるが、崖錐の中から採取した。全岩化学組成は、「株山」はSiO2-60.2~60.8wt%、MgO-2.16~2.21wt%、「石マクリ」はSiO2-60.2~64.0wt%、MgO-1.67~2.46 wt%で、安山岩質サヌキトイドである。主成分組成の分析結果を図化した一部を示す。全岩化学組成は、「株山」は一点に集中しまとまる。「石マクリ」は5群に分かれるが、この点は、両火山岩がおおう下位の田尻層群B層にみられる無斑晶質安山岩等の検討をまたなければならない。

考古学からみた二上山産サヌカイト

奈良県と大阪府の府県境に位置する二上山およびその周辺は、新第三紀中新世中期に活発な火山活動が生じた地域で、多彩な火山岩が生成し大正時代から瀬戸内火山岩類の collective type といわれてきた。これらの火山岩のうちサヌカイトは先史時代（後期旧石器時代～弥生時代）の打製石器の石材としてさかんに利用されてきた。

近代的考古学が始まった明治時代から大阪平野周辺で出土する打製石器の石材産地が二上山地域だと予想されてはいたが、二上山麓に実際に遺跡が分布することが学界へはじめて報告されたのは1931年である。その後、数多の人々の調査研究によって、奈良県香芝市～大阪府羽曳野市・太子町にかけて現在70ヵ所を超える遺跡が知られるようになった（二上山北麓遺跡群）。

さて、二上山産サヌカイトと称される火山岩には2ヵ所の生成地が知られている。春日山と石マクリである。双方は南北に直線距離約2km の懸隔がある。春日山火山岩は岩脈が確認されているが、石マクリ火山岩の方は現在では崖錐性堆積物としてみられる。両火山岩は礫面の肉眼観察においてはほぼ分離が可能である。春日山火山岩は平行した筋状の縞模様（流理構造）が明瞭に表出し、しばしば海綿状の凹凸（斑晶の抜けた穴や溶岩が発泡した痕跡）がある。一方、石マクリ火山岩特有の礫面は表面を被覆する薄い粘土化した皮膜を取り除くと平行した流理構造が弱くみられ、その直交する面はきわめて平滑である。この平滑面が、凹凸のめだつ春日山火山岩との峻別を容易にしている。しかし、断口面ではいずれもわずかに斑晶は点在するが、一様に漆黒色を呈し、ガラス質石基の部分はきよめて均質であるように見うけられる。石器製作における質の良し悪しに両者は遜色がないようにみえる。実際の石器製作実験での感触も明瞭な差違は見いだせない。あえていえば、石マクリの方が剥離において流理構造に影響をより受けやすい。岩石薄片の検鏡でも、石マクリの方が流理構造はより明瞭であるという。

二上山の北麓には二上層群と大阪層群で形成される関屋丘陵がひろがっており、40ヵ所以上の先史時代遺跡が分布しているが、そこから出土するサヌカイト製石器はほぼすべて春日山火山岩の礫面を有しており、石マクリ火山岩特有の礫面はみられない。良質である両者の石材の一方のみをなぜ利用してきたのだろうか。この疑問に解答を得ようと、今回化学組成分析を試みた。これまでの藁科哲男らによる蛍光X線分析では、二上山産サヌカイトの原石データは1つであり、分離はできないとされてきた。同じ分析法でも別の手法を用いて春日山火山岩と石マクリ火山岩が分離できるとすれば、石器石材への利用動向の追究に1つの光明がさすであろう。

ところで、試みに実施した6点（関屋丘陵に立地する鶴峯荘第5地点遺跡から採集したサヌカイト原礫）の岩石薄片の検鏡結果では、2点が春日山火山岩に、4点が石マクリ火山岩に類似した（冨田克敏による）。6点とも礫面観察では春日山火山岩と推定できる。ここに、考古学からの推論との齟齬が生じた。サヌカイトの生成プロセスに未解決問題があるのかもしれず、また石器石材の利用動向を知るには多方面からのアプローチが必要なのであろう。

引用文献

二上山地学研究会(1986)　二上山層群の原川累層・定ケ城累層の層序とサヌキトイドの活動時期，地球科学,40-2,p90.

佐野貴司(2002) 蛍光 X 線分析装置を用いた火成岩中の主成分および微量成分の定量。富士常葉大学研究紀要,2,43-59.

P－59

旧石器時代細石刃の使用痕分析

○寒川 朋枝（鹿児島大学埋蔵文化財調査室）

対象：鹿児島市石谷町 仁田尾遺跡第Ⅲ文化層出土細石刃（全出土点数約6000点中報告書掲載分1067点）
方法：ルーペ（20倍）を用いて観察した後、特に線状痕や摩滅痕は落射照明型金属顕微鏡（Nikon ECLIPSE L150）の100倍を用いて細部を観察した。なお、必要に応じて観察前に超音波洗浄器による洗浄、エタノールを含ませた脱脂綿での拭き取りを行った。
分析：

1）微小剥離痕　微小剥離痕については、その分布状態や平面形、大きさなどの特徴についても観察を行ったが、今回は付着部位について示す。付着部位については芝（2007）の類型を参考にした。

Ⅰ類）表裏面とも両側縁にみられるもの
Ⅱ類）表裏面ともにみられるが、片面は一側縁のみ
　Ⅱa：表は両側縁、裏は一側縁　Ⅱb：表は一側縁、裏は両側縁
Ⅲ類）表裏面か一方の両側縁に分布（a：表　b：裏）
Ⅳ類）表裏面とも一側縁に分布（a：表裏で不一致　b：表裏で一致）
Ⅴ類）表裏面どちらか一方の一側縁に分布（a：表　b：裏）

2）線状痕　主に金属顕微鏡を用いて観察を行った。石材によっては、使用以外の原因で線状の傷がみられるものがあるが、ここでは5本以上まとまった線状痕が同一方向に観察されるものを使用痕として認定した。観察は、線状痕の方向（刃部に対して平行・直行・斜行）と、線状痕のみられる部位に着目した。

ⅰ類）両側縁
ⅱ類）一側縁（ⅰ．ⅱ類は表裏面どちらか一方のものも含む）
ⅲ類）両側縁と広く腹面
ⅳ類）一側縁と広く腹面
ⅴ類）広く腹面のみ
ⅵ類）腹面バルブ付近
ⅶ類）背面中央部（稜つぶれあり）

	点数	内頭部線状痕
ⅰ	15	2
ⅱ	29	6
ⅲ	13	1
ⅳ	26	3
ⅴ	5	2
ⅵ	9	9
ⅶ	6	1
計	103	24

表1．線状痕類型別点数

3）摩滅痕・使用痕光沢面

金属顕微鏡100倍を用いて、刃部が摩滅しているものについて観察を行った。

観察結果：

●微小剥離痕がみられるものは、観察した細石刃のうち481点（45%）で、Ⅳa・Ⅴa類が多く占める。

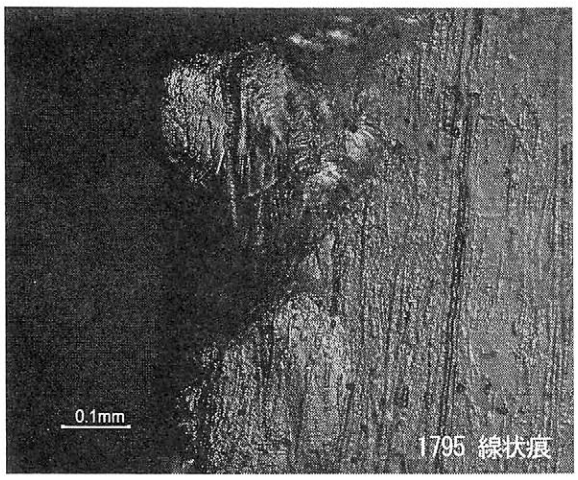
●線状痕は103点(9.7%)みられ、8割超が刃部に平行方向である。また、線状痕の付着部位であるが、頭部を折断せずに使用した細石刃のなかに、頭部バルブ付近に線状痕が観察されるものが24点(23.3%)みられる。線状痕が広く腹面に確認できるものも多く（ⅲ．ⅳ類）、なかにはガラス質の黒曜石の透明度が部分的になくなるほどのものもみられる。この腹面の線状痕がどの段階の作業によるものなのかを考えると、腹面に多くの線状痕が確認できる細石刃でも、背面の線状痕はわずかであるものも多く、使用する際の線状痕とは考えにくい。また、腹面に多くの線状痕がみられるものでも、背面の稜はつぶれていないことが多いことから、着柄の際の線状痕とも考えにくい。よって、使用・着柄段階の線状痕というよりは、それ以前の作業によって生じた可能性が高いものと想定する。

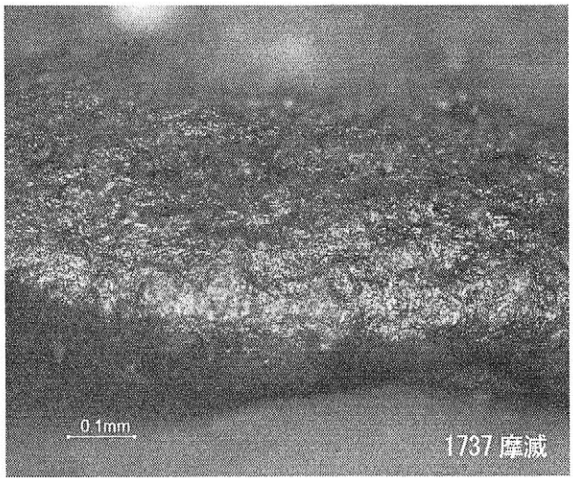
●摩滅痕は38点（約3.6%）にみられる。石材別にみると、頁岩類が19点と半数を占め、三船obも9点みられる。これら一部の細石刃にみられる摩滅痕の存在とその状況から、摩滅が生じるほどの使用回数の多さが指摘できる。これは、細石刃を植刃器として槍の先端部につけていた刺突具と考える従来の使用方法以外の機能と使い方が想定される。

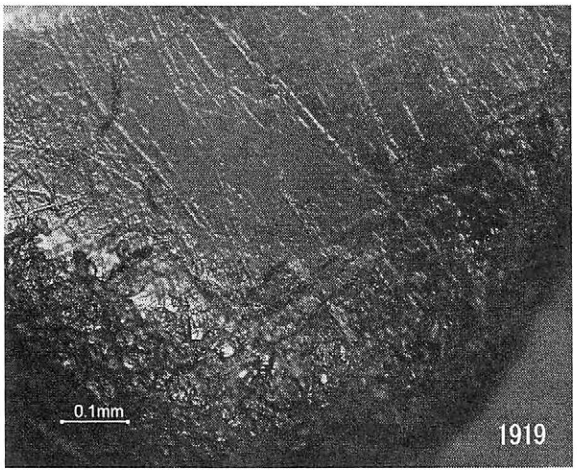
＜引用・参考文献＞

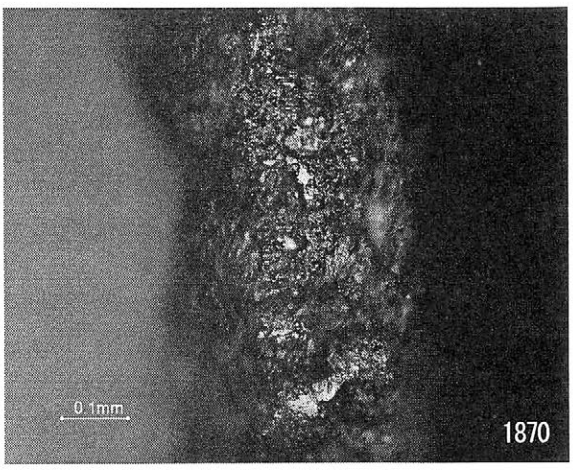
芝康次郎 2007 「非削片系細石刃石器群における行動論的考察－河原第3の分析から－」『阿蘇における旧石器文化の研究』熊本大学

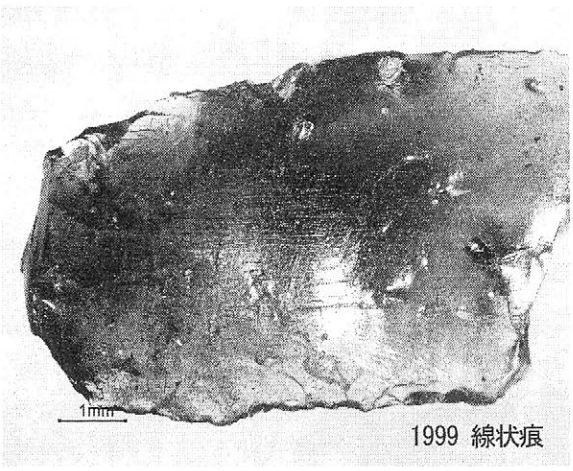
堤隆 1993 「細石刃の使用にかかわる二・三の問題」『細石刃文化研究の新たなる展開』佐久考古学会
八ヶ岳旧石器研究グループ
御堂島正 2005 『石器使用痕の研究』同成社
宮田栄二ほか 2008『仁田尾遺跡』鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘調査報告書(128)











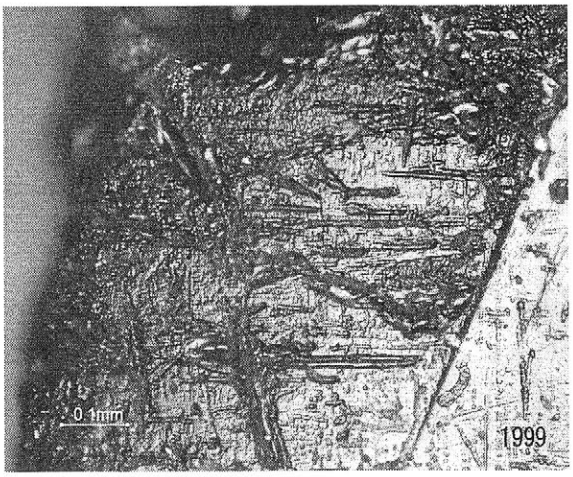


図1　仁田尾遺跡出土細石刃の使用痕

P－60

鷹島海底遺跡出土武具の分析調査

○塚本敏夫・橋本英将・植田直美（元興寺文化財研究所）
鳥越俊行・今津節夫（九州国立博物館）
中田敦之・松尾昭子（松浦市教育委員会）

1. はじめに

鷹島海底遺跡は長崎県松浦市鷹島南岸域に所在する海底遺跡である。第２回目の蒙古襲来（日本名で弘安の役、A.D.1281）において、暴風雨により多量の軍船が沈没したとされる地域に相当する。1980年代より継続的に調査され、多種にわたる遺物が出土している。

この遺跡から引き上げられた遺物の多くは、A.D.1281当時、実際に使用されていたと想定でき、暦年代の特定が一般的に難しい考古資料のなかで、特に注目に値する。また、元軍はモンゴル・高麗・南宋などを中心とする多様な構成であったとされ、遺物の由来を検討することで、軍構成の具体像の一端を考古学的に検証できる可能性がある。しかしながら、海底遺跡の性格上異なる時期の沈没船関連の遺物の混入も可能性もあり、その評価には慎重をきす必要がある。

本発表では、こうした海底遺跡出土品の中から武具関係の遺物を抽出して調査を行った。

鉄製冑と鉄製鎖帷子についてはX線ラジオグラフィ・X線CT等の透過試験を行った。また、塗膜残存小札の分析ではやその製作年代や製作技法がある程度判明したのでその概要を発表する。

2. 調査資料と分析内容

2.1. 小札塗膜

塗膜のみの小札の残骸が大量に出土している。小札表面に塗られていた塗膜のみが残ったもので、小札の本材は残っていない。塗膜は表側が赤で裏側が黒である。小札は円頭形小札で威孔２列と１列の２タイプ以上が確認できた。法量は長さ約62㎜、幅約28㎜で、漆膜の観察から本体の厚みは約2㎜と推定できた。断定はできないが塗膜下層の観察から革小札であった可能性が考えられる。

全体を復元できる資料ではないため、製作技法の解明のため各種の分析調査を行った。

2.2. 鉄製冑

蒙古鉢と呼ばれる深鉢形の冑と推定される鉄製品を14点選別して調査を行った。

鷹島海底遺跡から出土している鉄製品は貝殻などを含む海底堆積物を大量に取り込んだ厚い錆に覆われている。X線ラジオグラフィを参照すると、その内部に本来の冑の地板の外形が見て取れる。しかし、実際には、本来の鉄のほとんどが酸化物等として外側に流出して芯部分が空洞化しているため、不用意に錆を取り除くことができない。したがって、海底遺跡出土の鉄製品はクリーニングに先立ち非破壊・非接触での情報化が最も優先される。

そこで、情報化のために全点のX線ラジオグラフィによる透過試験と冑本来の姿を留めている９点については詳細な構造調査のためX線CTによる透過試験を行った。

2.3. 鉄製鎖帷子

鉄製品の中で、甲の一部と思われる破片３点を抽出し、情報化のために全点のX線ラジオグラフィによる透過試験を行った。その中の１点は鎖帷子の破片の可能性が見て取れた。今後X線CTを行いその構造を同定する予定である。他の破片については武具であるか同定するまでには至らなかった。

3. 小札塗膜の理化学的分析とその成果

3.1. 塗膜の分析

外面に付着する塗膜状物質について、成分分析および膜面構造の観察を行った。分析の結果、小札表面には２層の漆が塗布されており、小札本体になんらかの物質を混和した黒褐色の漆を塗布して下

地とし、その上に赤色物質を混和した赤漆を塗るという丁寧な造りであることが判明した（図1参照）。

上層に塗布されていた赤漆についてケイ光X線分析を行った。分析の結果、Hgを検出したことから混和材は水銀朱であることが判明した。

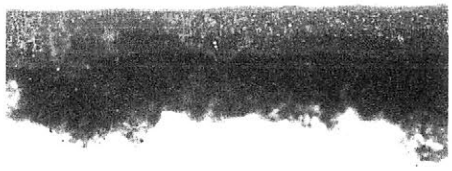


図1　漆の膜面構造

3.2. 放射線炭素年代測定

漆膜2点（資料番号TKSM-4, TKSM-5）を採取し、AMS法による放射性炭素年代測定を行った。測定の結果、暦年較正後の年代の、2σ暦年代範囲はTKSM-4でA.D. 1202～A.D. 1282、TKSM-5でA.D. 1222～A.D. 1294であり、2点とも誤差範囲（95%信頼度）で、弘安の役(1281年)の直前の校正年代を示し、元寇の歴史年代と一致している結果となった。

尚、放射性炭素年代測定は名古屋大学の中村俊夫氏にお願いした一括資料の中の一部である。

4.　鉄製冑の非破壊調査結果

4.1. X線ラジオグラフィ

X線ﾗｼﾞｵｸﾞﾗﾌｨの結果、その内部に本来の冑の地板の外形が見て取ることができた。その結果、A.B2種類の型式の違う冑があることが判明した。しかし、厚い錆びに覆われているため、細部の製作技法を解明する情報は得ることができなかった。

4.2. X線CT

X線CTの結果、伏鉢の構造や取り付け方法、錣部の取り付け方法や端部の折返しの様子を含む冑の細部の構造まである程度読み取ることができる。

Aタイプの例(1082)とBタイプの例（1093）を図2に示す。

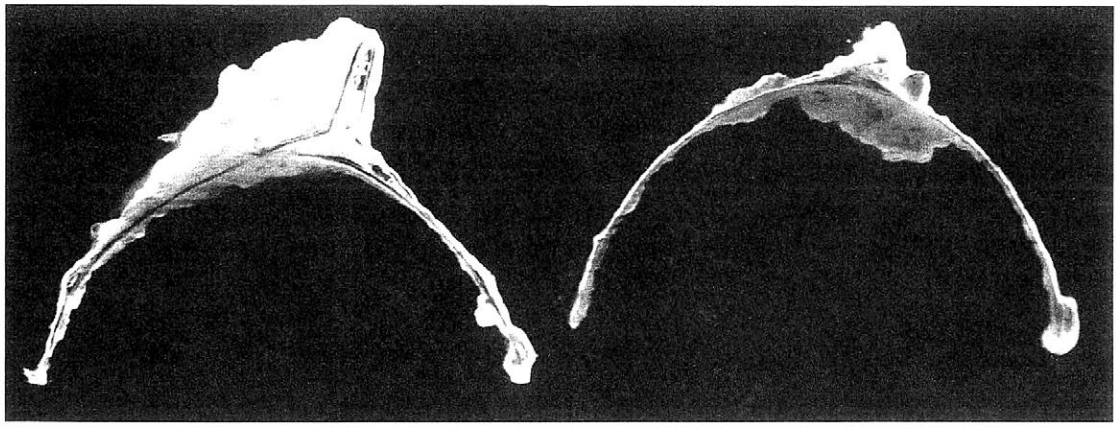


図2　鉄製冑のX線CT画像（右：Aタイプ　左：Bタイプ）

5.　おわりに

今回、鷹島海底遺跡から出土した武具関係の遺物を抽出し、調査を行った。挂甲の復元までには至らなかったが、鎖帷子に赤漆塗りの挂甲を着て、蒙古鉢を被る元寇軍の当時の武装をおぼろげながら復元することができた。鉄製冑には2タイプがあることが判明した。挂甲については漆の放射性炭素年代測定の結果元寇の暦年代と一致していることがわかった。

今後は先に分析調査を行った武器類とともに、元寇武人の兵装の全体像の復元を目指して、さらに検討を行っていきたい。

P−61

X線CTスキャナーを活用した千歳市梅川4遺跡フレイク集中の解析

○田口　尚・鈴木　信（北海道埋蔵文化財センター）、今津節生・鳥越俊行（九州国立博物館）

1．はじめに

千歳市梅川4遺跡は墓壙群を主体とする縄文時代晩期末葉の遺跡である。この遺跡の包含層から黒曜石製の大型フレイクが折り重なるように多量に発見された。この時期は墓壙内やその周辺からフレイクや棒状原石がまとまって検出されることが知られている。しかし、このフレイク集中はこれまでの平面的に分布する集中とは異なり、フレイクが重なり合った楕円球面状の形態を呈していた。現地調査においては、この特異な形状を崩壊させる危険性があるため、土壌ごと取り上げた。フレイク集中は屋内施設に移設し、土壌のクリーニングと各種作業に耐えうる程度の強化を実施して調査計画を進めた。

本発表では最新のX線CTスキャナーを用いた非破壊解析によって、内部のフレイク分布とその形態を詳細な三次元情報として得ることができたので報告する。

2．調査と保存処理

現場調査：遺跡内では出土状況図と写真撮影を行った後、無理に掘り進めることをせずに画線紙とアルミホイルでフレイク露出面を養生し、さらにシリコン樹脂で固定し型取りを行った。取り上げ時には周囲をやや掘り下げ、硬質発砲ウレタンで土壌ごと包含層から切り離した。

屋内作業：屋内施設に運搬後は直ちに露出面が下となるように天地を逆にして、慎重に土壌を除去した。作業では下面と周囲の硬質発砲ウレタン残し、土壌の急激な乾燥よって亀裂や崩壊が発生しないように霧吹きで保水しながら掘り進めた。土壌の除去により新たなフレイク面が広がった段階で、写真撮影と微細図を作成したが、平面的な図示では個々のフレイクの傾きや形状の判別しづらいことから、三次元レーザー計測と写真実測を実施しながら1枚ずつフレイクを除去して内部構造を調査した。同時に構造観察用にレプリカ作成した。

保存処理：フレイク集中は運搬、据置き、転回のためにシリコン型とウレタンで台座を作成した。各種記録作業およびX線CTスキャナーによる内部観察後は、フレイクを1枚ずつ順に剥がす計画であることから、強化樹脂には熱可逆性のあるPEG＃4000を選択した。まずPEG#4000の40%溶液を減圧含浸し、最終的には赤外ランプで加温しながら徐々に100%まで濃度を上げた。重なり合ったフレイクの空隙にはシリンジでPEGを充填し、全体を強化した。表面に付着した不要な土壌やPEGはドライヤーと蒸気熱で融解させながら除去し、個々のフレイク表面はエタノール59%でクリーニングした。フレイクの取り外し作業も同様の方法を用いた。

3．装置と解析方法

一般的なX線透視撮影では個々のフレイクの形状と重なり合ったフレイクの判別が困難と判断されたため、九州国立博物館に協力を依頼し、文化財用高精度X線CTスキャナーを用いた。この装置は直径60 cm×高さ180 cmの範囲を読み取り、最高0.2 mmの高精度で断面と立体画像を作成することができる。医療用X線CTスキャナーの約3倍の出力と約5倍の分解能があり、高速で測定可能である。測定データで得られたX線透過量は高速なコンピューターで解析処理が行われ、三次元断面像や三次元全体像を観察できる。画像を見ながら任意に横断面や縦断面を設定可能であり、自由方向から試料解析ができる。脆弱試料は軽梱包したまま荷解きせずに計測可能である。小型遺構や切取り遺構の内部情報などを事前観察できる可能性がある。脆弱試料は荷解きせずに計測可能である。計測は160kV～320kV、5mA～2.0 mAの範囲で実施。

4．まとめ

解析結果の概略を以下にまとめる。

・フレイク集中１はラグビーボール状の形態であり、縦断面や横断面は丸みを帯びている。
・縦断面や横断面の中央付近に層堺があり、上部と下部でフレイクの配列や配置が異なる。
・概ね上部ではフレイクを横置きに配置し、下部では縦置きまたは放射状に配置している。
・上部フレイクと下部フレイクは各々別の袋に収納されていた。
・各フレイク間に隙間なく密着状態であり、口の窄まった巾着袋状のものに集積されていた。
・上面のフレイクは横方向のずれがあり、袋に隙間があったか、後世の移動の可能性がある。
・黒曜石製のフレイクは非常に鋭利であり、埋蔵中にも形態が崩れなかったことは、皮革製などの丈夫な袋に収められていた可能性が強い。

以上から、フレイク集中１は黒曜石フレイクを２袋の皮革袋に入れ、小pitに重ね置いたものであることが判った。

なお、レプリカ完成後は、写真計測を行いながらフレイクを１～数点毎に取外し、解体した。今後はフレイクの計測と袋毎の黒曜石産地同定を実施し、産地傾向や流通形態を検討する予定である。

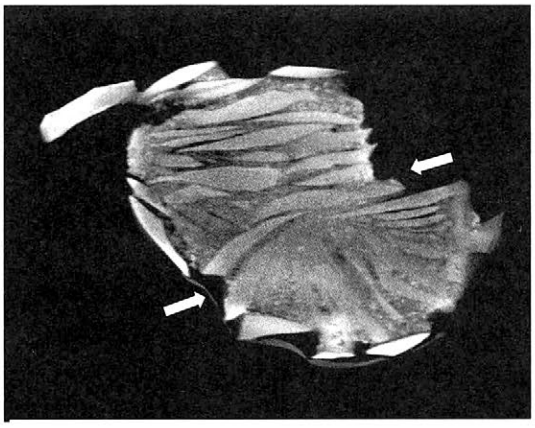


図１　フレイク集中の横断面（矢印が層界）

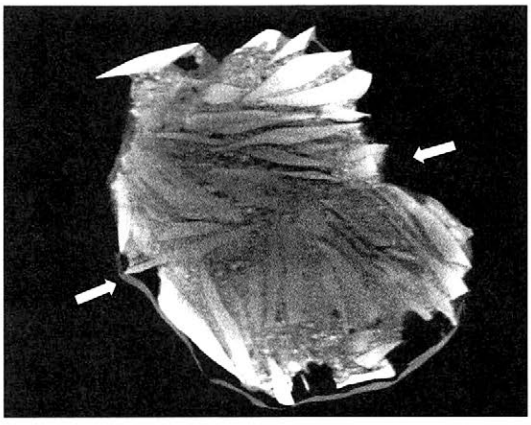


図２　フレイク集中の横断面（矢印が層界）

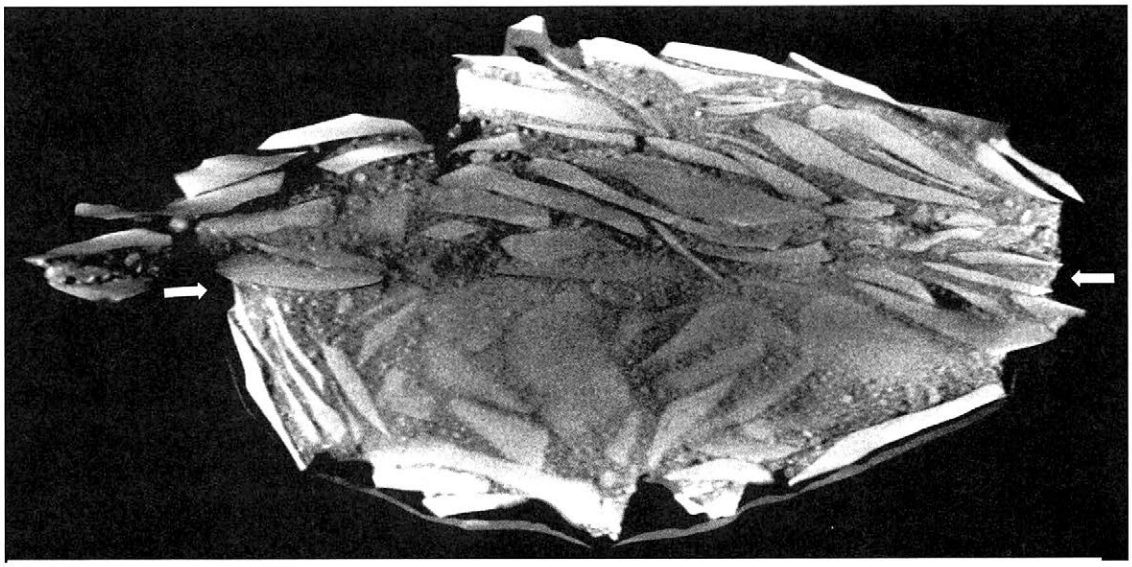


図３　フレイク集中の縦断面　（上下でフレイクの配置が異なり、中央で２層に分かれる。矢印が層界）　最下部に台座のシリコンが見える。

P－62

X線CTスキャナーを活用した赤色漆塗櫛の構造と製作技法の調査

○田口　尚・鈴木　信・土肥研昌（北海道埋蔵文化財センター），今津節生・鳥越俊行（九州国立博物館）
小林幸雄（北海道開拓記念館）

1．はじめに

北海道では縄文時代早期から晩期に至るまで多種多様な漆塗製品が出土している。特に縄文時代後期中葉から末葉にかけては漆工文化の最盛期と言われ、質・量ともに豊富な出土例が見られる。なかでも結歯式漆塗竪櫛はその代表的な存在であり、黒色系漆塗、赤色漆塗、黒色系と赤色の両者を塗り分けて文様を構成するものなどもみられる。縄文時代後期末葉になると墓壙に副葬された色彩豊かな赤色漆塗竪櫛の数々が多量に出土し、縄文時代後期中葉には見られなかった透かし文様のある赤色漆塗竪櫛が登場する。この時代は環状列石、周堤墓、積石墓などと呼ばれる墓域を構築する時期であり、墓制や埋葬儀礼などと漆製品は深くかかわって発展してきた。

発表では最新のX線CTスキャナーを用いた非破壊解析によって、縄文時代後期末葉の透かし文様の無い赤色漆塗竪櫛と透かし文様のある赤色漆塗竪櫛の構造と制作技法について三次元情報を得ることができたので報告する。

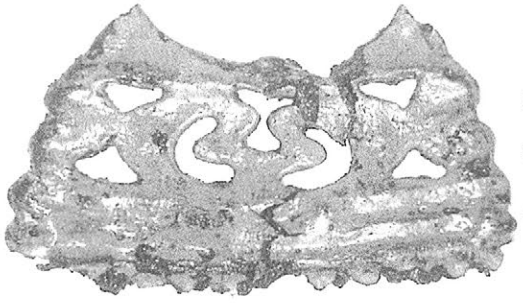
2．試料と調査の方法

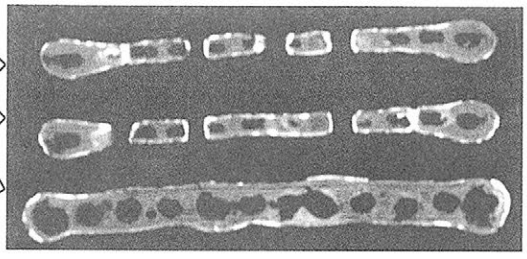
試料は恵庭市西島松５遺跡の墓壙出土の２点の赤色漆塗櫛である。２点とも櫛歯部分が腐食し空洞となっている以外は漆膜によりほぼ完全な形状を保っている。西島松５遺跡の試料は墓壙P398出土の透かし文様のある櫛１点、P404の透かし文様の無い櫛１点である。同一遺跡における形態の異なる赤色漆塗竪櫛構造や製作技法の差異について検討する。

一般的なX線透視撮影では試料の横断面や縦断面の詳細を把握することが困難であり、貴重な試料から大型薄片を作成することは現実的ではない。これまでは平面的なX線画像と櫛の破損箇所から覗く、断片的な内部観察および漆膜剥断面に見られるわずかな情報から構造を検討せざるを得なかった。これらの問題点を解決できる可能性があることから九州国立博物館の文化財用高精度X線CTスキャナーを使用した。この装置は基本的には大型文化財などを観察する目的で導入されたものであるが、最高0.2㎜の高精度で断面と立体画像を作成できるため小型脆弱資料の観察も可能と考えた。医療用X線CTスキャナーの約５倍の分解能があり、画像を見ながら任意に自由な方向から横断面や縦断面を設定可能である。特に漆器等の脆弱試料は、シール容器などに保管したまま計測可能であるため、試料を損傷させる心配が少ない。土壌ごと切取った保存処理前の漆器類などの事前観察および保存処理計画作成にも効果が期待される。

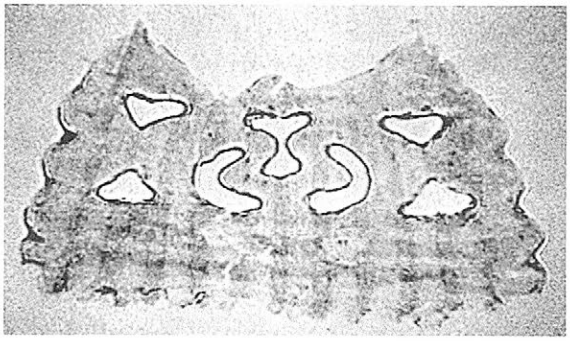
3．まとめ

主に櫛歯の加工状況、透かし文様の製作技法、表面文様の構造などに着目した。試料は台形上辺の両端部に三角角状突起を有し、彎入した中央に小突起を付けている。櫛歯の木質は腐食して残存しておらず、塑形材と漆塗膜によって外形が保たれている。櫛歯は透かしの有無にかかわらず、下部では円柱状に加工されている。中央部の円形瘤状隆起よりも上部では、上方に向かい薄い長方形に加工している。透かし文様のないものは器厚や櫛歯の太さが均一であるのに対して、透かし文様あるものは文様の切抜きを容易にする目的で、意識的に薄く加工している。透かし文様は櫛歯を結束し塑形材で固定したのち、櫛歯と共に切り抜いていることが明瞭である。透かし文様のある櫛歯の両端は糸の巻込みより太い。両試料の瘤状隆起は横架材を固定した糸よりも太糸を巻いて強調している。透かし部分の塗彩は表面部よりも塗りが厚い。以上、ふたつの試料は完成形態を考慮し、櫛歯製作以前から別々の製作意図を反映して製作されている。

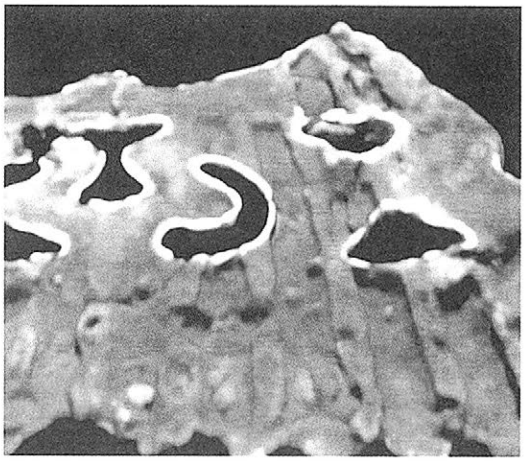




横断面（上・中・下）　※周囲に白く見えるのは朱とベンガラ層以下同じ
突起につながる両側の櫛歯が糸巻きにより太く見える。



X線透視画像　※透かし文様周囲に黒く見えるのは朱とベンガラ層以下同じ



平面スライスに見る透かし文様の3D
櫛歯と剪断材を切抜いて透かし文様を製作している状況が明瞭である。

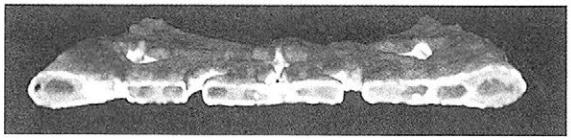
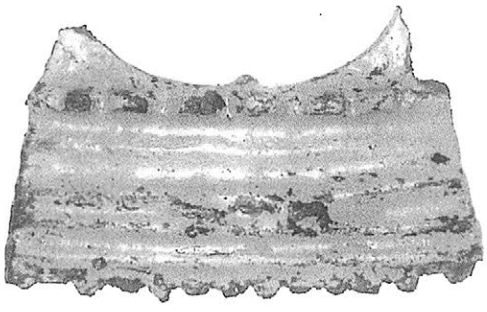
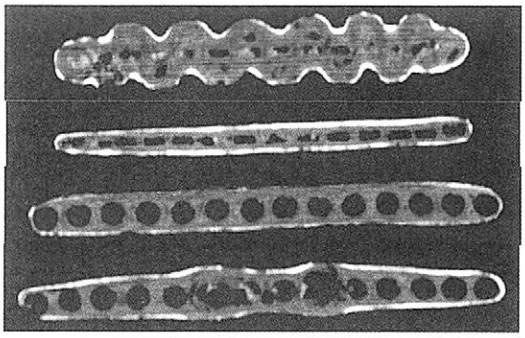
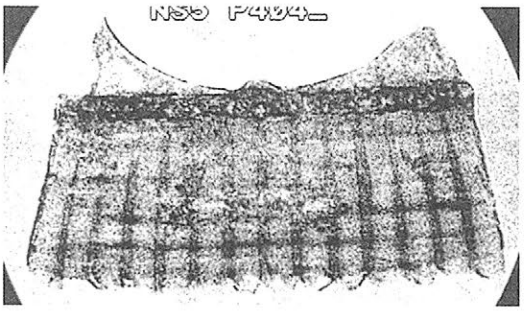


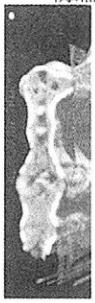
図１　透かし文様のある赤色漆塗櫛　P398

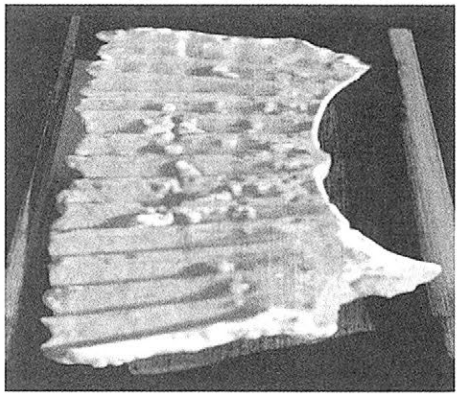




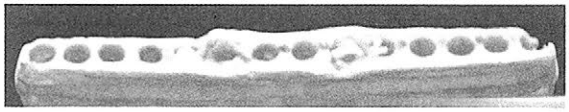
横断面（上・中・下）　※最下部中央の櫛歯隆起は太糸を巻いている







X線透視画像　※透かし文様のないものは上部に糸巻きと剪断材の凹凸がある



平面スライス　※透かし文様のあるものと櫛歯構成が異なり、
突起につながる両側の櫛歯が同じ太さである。

図２　透かし文様のない赤色漆塗櫛　P404

P－63

X線CTスキャナを活用した中国古代青銅彝器の構造解析

○廣川守・樋口隆康（泉屋博古館）・今津節生・鳥越俊行・河野一隆・市元塁（九州国立博物館）

1．研究の目的

中国古代青銅器は、東アジアの金属文化の原点である。とくに殷周時代に製作された青銅彝器は、後世の美術工芸に多大な影響を与えた。青銅彝器の大きな特徴は、複雑な造形をとりながら極めて精緻に鋳造されている点にある。その製作技術の大部分は伝承されることなく、現在も不明な点が数多くのこされている。このため、青銅彝器の製作技法研究は古くからおこなわれてきたが、器の表面観察や断片的な鋳型の分析が中心であった。これは、青銅彝器を非破壊のまま内部構造を調査する方法が不明だったことによるところが大きい。

九州国立博物館は博物館科学的な観点から文化財調査を進める中で、泉屋博古館と共に中国青銅彝器の製作技法の解明に向けX線CTスキャナの有効性に着目した。これまでX線CTによる内部構造の観察事例はごくわずかに留まっていたことから、とくに本研究では、できるだけ数多くの試料を測定して、製作年代・造形規模などにおいて系統だったデータを収集することを目標とした。

2．分析試料

分析対象とした試料は、泉屋博古館収蔵の殷周青銅彝器である。これは国内有数の規模をもつ青銅器コレクション（収蔵数約180点）で、内容も殷後期から戦国中期まで幅広い時期にわたり、通高で60cmを超える大型器から20cm弱の小型器までほとんどの器種がそろっている。さらに立体的装飾や持ち手が付くなど複雑な構造をもつ器が多い。このコレクションから年間20点前後を抽出し、継続的なX線CT分析を行うことで青銅彝器製作技術の解明を目指す。この研究の最初の取り組みとして、殷後期に製作された青銅礼器10点についてX線CTによる調査を実施した。殷後期は青銅彝器の造形が急激に多様化・複雑化し、古代青銅工芸の頂点をなす時期といわれていることから、青銅器の構造分析を行う上で格好の試料と考える。

3．分析結果

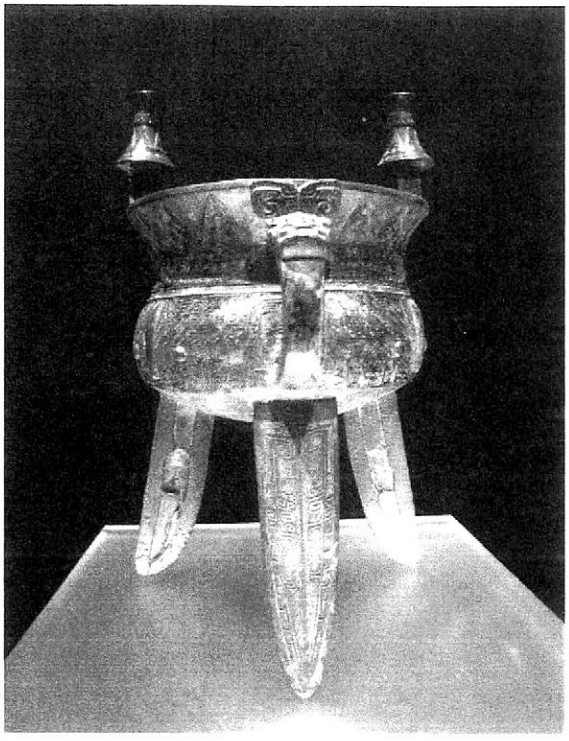
現在、調査を続行中であるが、すでに中間結果からも、青銅彝器の内部構造の分析については、本研究方法がきわめて有効との結果が実証されつつある。このうち、典型例として㝬の成果を次頁に示す。

この器は、広口で深鉢形の身に先端が尖った三脚を持ち、胴側壁には大きな取っ手と口縁部に傘型飾を方形柱で取り付けるといった複雑な構造である。また、外面には細線で表現された饕餮文をめぐらせている。本例の類品が中国安陽殷墟遺跡でも出土している。調査の結果、X線透過写真では三脚部分に、中子の土が詰まっていることが分かった。また、X線CTによる調査では、全体形状だけでなく、饕餮文の細部まで明瞭に識別できた。特に、外見ではどのように製作されているかは不明であった方形柱および傘型飾は、中空であることが判明した。これらは、外側からの肉眼観察では判別不能な成果であった。

4．今後の展望

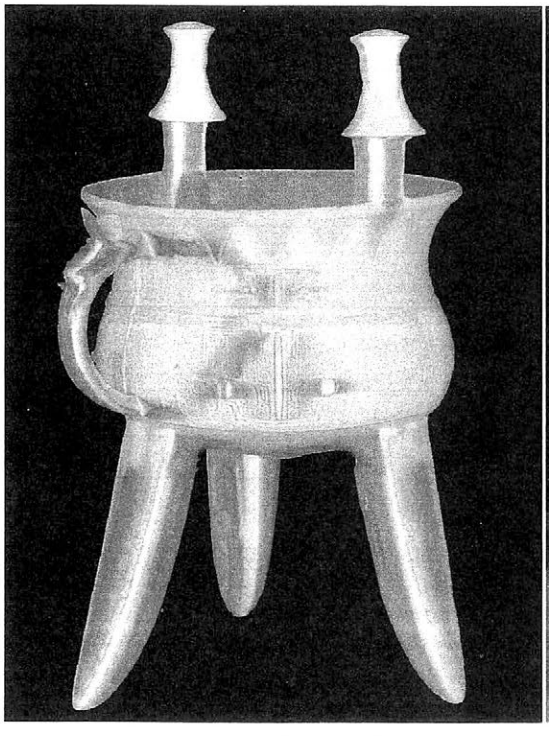
本研究は緒についたばかりであるが、X線CTスキャナによる分析方法の大きな可能性を提示することができた。今後は、尊や罍などのより大きく、複雑な器種の調査方法の開発を進めている。また、X線CTスキャナだけでなく、施文された饕餮文をより詳細に記録し、解析するため、3次元計測装置への適用も模索中である。いわば、本研究は中国古代の青銅彝器の、形状と内部構造についてのデジタルアーカイブを構築することである。これが完成すれば、今までにない研究視点が提示されるだけでなく、学際・国際的な共同研究のための研究基盤となりうる展望が拓けるだろう。

本研究は今後も継続される。総合的な成果は調査の蓄積と進展をまって報告することにしたい。

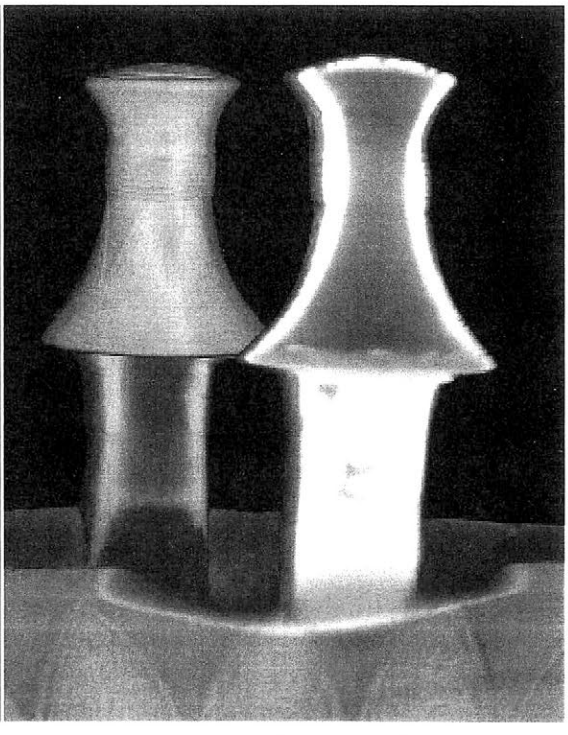


第1図　分析対象とした鼎の全形写真

第2図　X線透過写真



第3図　X線CT画像



第4図　傘形柱の三次元断面像

P－64

文化財用X線CTスキャナによる弥生時代青銅器の鋳造方法の検討

○今津節生・小林公治・鳥越俊行・河野一隆・輪田　慧（九州国立博物館）・境靖紀（春日市教育委員会）

1.　はじめに

弥生時代の青銅器生産方法については、従来鋳型に残る鋳造の痕跡や、製品の2次元X線撮影などから行われてきたが、出土品が限られることや製品のX線撮影もその結果に対する総合的な検討がさほど行われていないなどの理由から、鋳造方法を具体的に復原するまでには至っていない。

本研究では、こうした弥生時代青銅器、特に武器形青銅器の鋳造方法を検討するための試行研究として、文化財用X線CTスキャン装置を用い、福岡県春日市原町遺跡出土銅戈（文化庁所蔵）に対して内部に残留する気泡（鬆）の大きさ、分布状況などの観点から、弥生時代の青銅器鋳造方法、特に湯口位置の特定や湯の状態についての検討材料とすることを目指しており、現在までに行っている調査の途中経過について報告することにしたい。

2.　調査方法と対象試料

本研究で使用したX線CTスキャン装置は、九州国立博物館に設置されているY.CT Modular 320 FPD（エクスロン・インターナショナル社製）である。本館のX線CT装置は、最大320kVのX線を回転台に載せた対象物に連続的に照射して2000×2000画素のフラットパネル検出器で高速にデータ化する。対象物のX線透過密度情報に位置情報を加えて3次元の立体情報を得る。本装置は断層表示に加えて立体表示することが可能で、かつ自在に断面を見る機能を有するので、文化財の内部構造の立体的な把握に効果を発揮する。データ解析にはVolumeGraphics社のVGStudioMAX 64bit版に内部欠陥識別機能を追加したものを用いた。この内部に残留する気泡を識別する機能を新たに追加したことにより、5cm厚の鉄の内部に残る気泡の分布を知ることが可能となった。これは、金属器の鋳造方法を知るための新たな手法が加わったことを意味する。さらに今回の調査では、文化財関係機関に広く設置されているX線透過撮影（画像検出はIP）も併せて実施し、CTデータとX線透過撮影データとの相互データの比較も行うこととした。

なお、原町遺跡では1969年に水道敷設工事中に総計49本の銅戈が内と鋒とを交互にして並べ、身を立てた状態で埋納されていたとされている。現在のところ、このうちの15本について計測が終了している。

3.　調査結果

X線CTによる気泡分布の解析では、ある程度の偏りはあるが全面に分布する傾向が見られた。鋳型の出土例などから、銅戈の湯口は切っ先あるいは脊基部にあった可能性が指摘されているが、15本の銅戈を調査した結果では、個体間のばらつきが大きく気泡分布の偏りを明瞭に認識するには至っていない。むしろ、鋳造欠陥である内部に残留する気泡が全面に分布することは当時の技術水準を反映している可能性もある。

一方、X線透過像とX線CT像を比較検討することで、X線透過像からでも錆化による溶脱を判別できる可能性を指摘できる。X線透過像を見ると円形の欠陥が全面に分布する。この欠陥は白く縁取られたものとそうでないものとに区分できる。白く縁取られた部分をX線CTで観察すると、表面と繋がっている部分が見られることから、X線透過像に見える白く縁取られた部分は錆化による変化と考えられよう。

4. まとめ

X線CTによる画像解析から内部に残留する気泡（鬆）を識別して分布状態を解析することが可能になった。今後、より多くの青銅器について調査を進めることによって、青銅器の鋳造方法を詳細に検討できることが期待される。

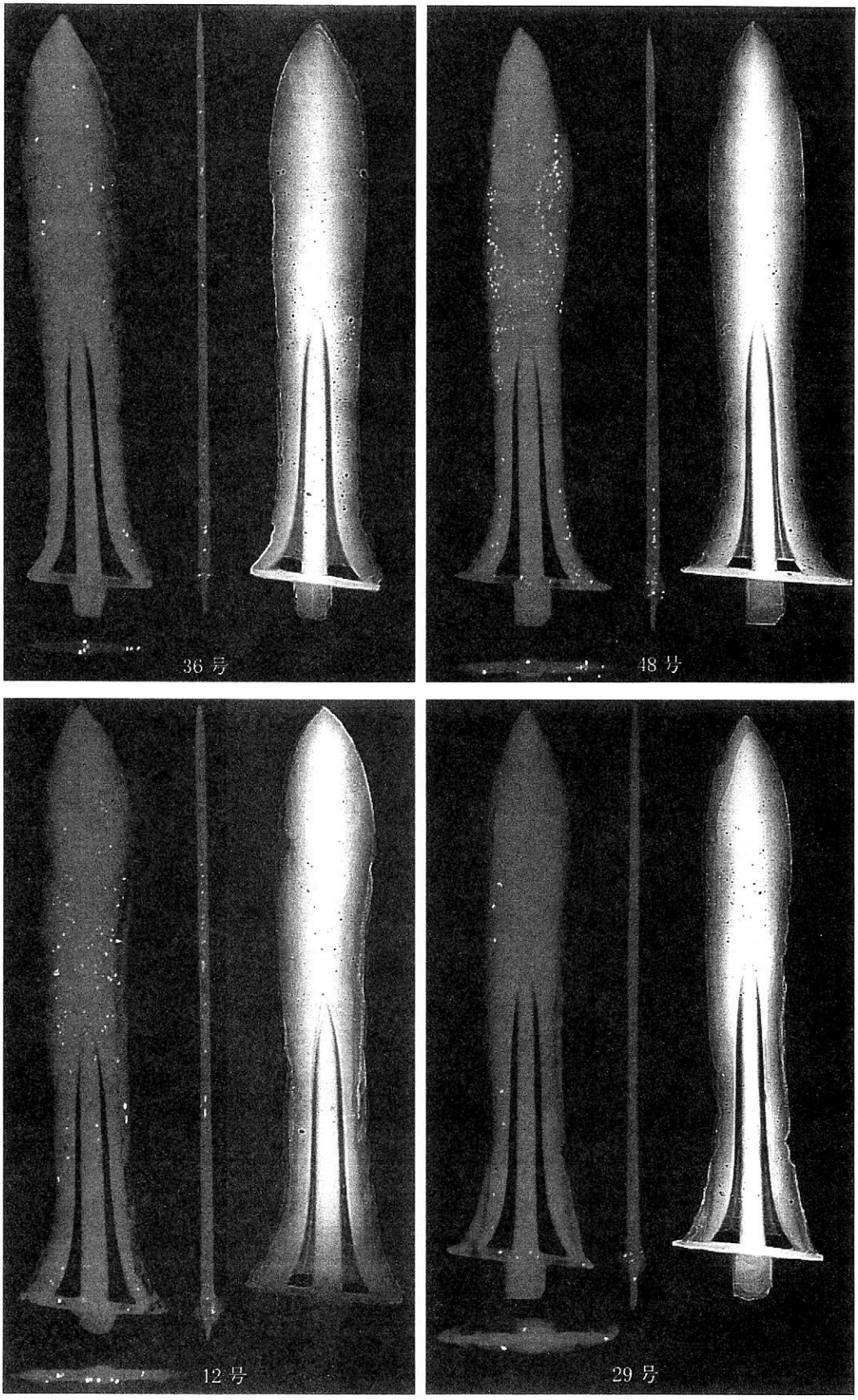


図1 X線CTスキャナによる気泡解析(左・中央・下)とX線透過撮影像(右)

上月隈遺跡出土銅剣の復元における鋳造実験

小泉武寛（和銅寛）・斎藤伸治（株式会社スタジオ三十三）・田上勇一郎・瀧本正志（福岡市埋蔵文化財センター）・比佐陽一郎（福岡市教育委員会）・○撫養健至（株式会社スタジオ三十三）

1．はじめに

古代の青銅製品は、銅・スズ・鉛を主成分とする合金である。スズの比率が少なければ純銅に近い赤銅色を呈し、スズの量が徐々に増せば黄金色にかわり、最終的に銀白色となる。

上月隈遺跡出土の銅剣は、村上・三村・比佐・榎本（2000）によって銅・スズ・鉛を主成分とする青銅製であることがわかっている。また資料は肉眼観察でもわかるくらい地金の残っている場所が銀白色を呈している。今回は、銀白色の青銅製の銅剣の鋳造実験を試みる。

村上隆・三村充・比佐陽一郎・榎本義嗣「レーザー顕微鏡を用いた古代金属器研磨技術の検討―福岡市上月隈遺跡出土銅剣における事例―」文化財保存修復学会第22大会要旨集（2000）

2．事前調査と鋳造比率

肉眼での知見のみからだけでは、鋳造を行うにあたっての各金属の比率の見当がつかない。そこで次の2点の事前調査を行った結果、鋳造を行うための比率の目安とした。

蛍光X線分析

今回は実物資料の上部からそれぞれ地点及び状況の違う8地点の分析を行なった（図1・表1）。その結果、主成分である銅・スズ・鉛の値を表1に表した。分析はエネルギー分散型微小領域用（0.3mmφ）を用い、非破壊による表面分析で行った。定量値の算出にあたって標準資料は用いていない。ただし、ある程度、配合比が明らかな鋳造サンプルを比較として分析したところでは、誤差は数%の範囲で収まっており、大きくはずれた数値ではないと思われる。

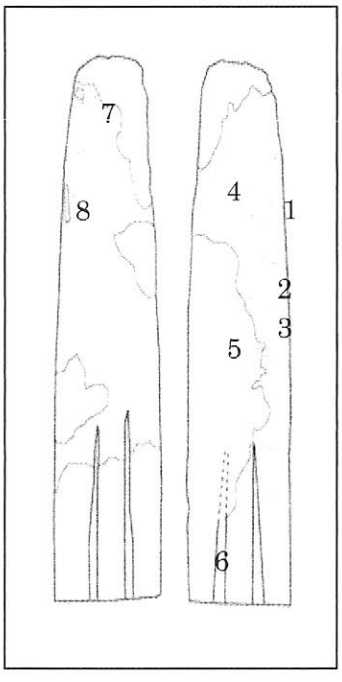


図1　分析を行なった地点

表1　計測値地点と主成分の分析値

point	CuO	SnO2	PbO2	計測地点の様子
1	64.47	31.64	2.89	銀白色平滑面
2	64.61	32.22	3.17	銀白色平滑面　別の研ぎ分け部分
3	65.05	31.98	2.97	銀白色平滑面　別の研ぎ分け部分
4	21.32	67.98	10.70	錆でえぐれた緑青部分
5	59.63	35.12	5.25	錆でえぐれた緑青部分
6	60.15	36.14	3.71	鎬部　銀白色
7	30.89	61.42	7.69	黒色面
8	38.37	53.92	7.71	黒色面

（数値はすべて%）

サンプル製作

実物資料との色味の違いを比較するために、次の３種類の剣先のサンプルを製作した。スズの含有量が最も多いサンプルＡでも黄金色の色味を呈していた。

サンプル	銅	スズ	鉛
A	73.0	22.0	5.0
B	82.0	13.0	5.0
C	80.0	18.0	2.0

（数値はすべて%）

上記、２つの予備調査から銅：66%、ズズ：30%、鉛：4%で鋳造実験を行なうこととした。

３．鋳造実験と考察

今回は樹脂製原型を踏み返し、鋳型を製作し、ガス型鋳造法を用いて実験を行なった。

実験は鋳込みが終わってから十分に温度が下がるまで待ちそれから型をはずした。その結果、型からはずした時には形を保っていたが、数分後飛散してバラバラになった。出来た製品の金属の色は銀白色を呈していた。

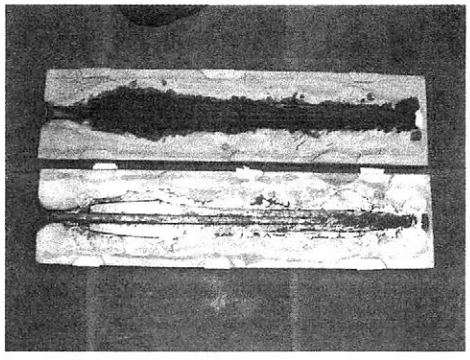
一般にスズの含有量の多い青銅製品の復元は、金属の収縮によって鋳造中に割れることが多く見られる。しかし、飯高（1993）には「30～35%Snの範囲の青銅は色が白くて硬く且つ大気中で曇りを生じながら昔から鏡に造られる。」とみられることから、今後、鋳造方法や様々な材料の比率などを試みて古代の青銅製品の復元製作につながるよう今回の結果を活かしていきたい。

飯高一郎『金属と合金　岩波全書16』（1933）岩波書店

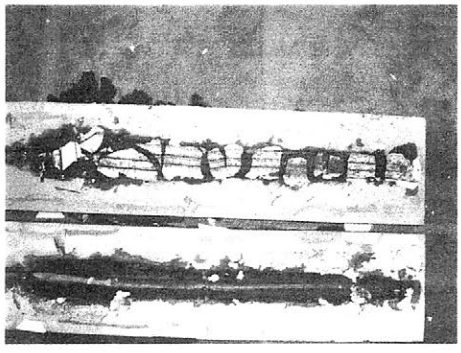
①型合わせ

②鋳込み

③鋳込み（拡大）



④型バラシ後の状態



⑤型バラシ後、数分後の状態

P－66

縄文～古墳時代の装身具に用いられる石材の蛍光X線分析について

○比佐陽一郎（福岡市教育委員会）
大坪志子・小畑弘己（熊本大学埋蔵文化財調査室）

■はじめに

人類は古来より、様々な方法、素材を用いて身を飾ってきた。その起源は旧石器時代にまでさかのぼる。これら装身具のうち玉類は、石を素材とする場合、緑色系統のものが多く、その代表的なものとしてヒスイが挙げられよう。ヒスイは、縄文時代以来、全国の遺跡で出土するポピュラーな石材として知られ、近年では科学分析による産地同定の研究も活発で、古代の物や人の動きを知る上での指標となる資料となっている。一方で、研究が進展する裏側では、目視による観察のみで安易に石材の種類が報告書に記載される例も少なくないようである。もちろん、不確実な場合に「？」を付する良心的なものもあるが、この情報が一人歩きし出すと、いつの間にか「？」が脱落することも考えられる。特に石材の場合、産地との関係で流通が語られることが多く、安易な判断は資料の解釈に大きな影響を及ぼす危険を孕んでいる。

■含クロム白雲母岩

九州ではこれまで、縄文時代の遺跡を中心に、特徴的な鮮緑～淡緑色の石材と、それを用いた玉類が数多く発見されてきた。これらは当初、石材の種類が不明で、ヒスイと異なることを指摘した報告書もあるが、ヒスイと誤認されるものも多かった。その中で、これまで遺跡から出土する玉類の分析調査を精力的に行ってこられた藁科哲男氏は、過去、既にこの石材の存在に着目し、硬度や組成などから雲母系であることを指摘、結晶片岩様緑色岩と仮称された。更に出土地域の偏在から、その産地を南九州に求めた他、兵庫、大阪、岐阜などの類例も挙げ、伝播域の広さにも言及されている（藁科 2005）。

その後、我々は、岩石・鉱物の専門家と共同でこの石材の調査を行い、含クロム白雲母岩という結論に至った。そして、この石材の蛍光X線分析を行い、定性的な特徴を把握した上で、九州各県の縄文時代を中心とする遺跡から出土する玉類、約 1,000 点について分析を行った。その結果、報告書に記載された種別から得られた石材の構成を大きく覆し、更にクロム白雲母が急増する時期的な画期も見出すことができた。更には藁科氏の指摘するように広い流通範囲についても追認した（小畑ほか 2006）。その際、比較として幾つかの種類の石材についても、標本資料をもとに、同様に蛍光 X 線分析の定性的な特徴を掴み、おおまかな分類の目安とした。以下、蛍光 X 線分析の定性的な特徴を中心に記し、石材種同定の手掛かりを示しておきたい。

■主要な石材の特徴

○クロム白雲母

緑色を基調とし、部分的に白や灰色、黄色の夾雑物を有するものもある。緑色の濃淡、光沢には幾つかの種類がある。空気中と水中での重量から算出したみかけの比重は概ね 2.8 前後の値を示しており、この時点で既にヒスイ（硬玉）とは異なっていることが分かる。分析では、マグネシウム、アルミニウム、珪素、カリウム、カルシウム、チタン、クロム、鉄の検出を基本とし、ニッケル、ルビジウム、ストロンチウムなどは資料によって出るもの、出ないものが

ある。何よりも、カリウムとクロムのピークが強いことが特徴的である。ただし、これらの元素はどちらかが多かったり少なかったりするものもあり、見た目もそれに応じて若干の差異が見られる。より細かく分類できる可能性もある。産地については今のところ特定はできていない。

○ヒスイ（硬玉）

透明感を持った鮮やかな緑色から白、灰色の混じるもの、逆に緑がほとんど入らないものまで様々。比重は 3 ～ 3.5 程度を示す。検出元素の特徴としては、小さなピークながらナトリウムが含まれること、カルシウムが強いことなどが挙げられる。またニッケルやストロンチウムもピークの強弱はまちまちであるが、共通する検出元素といえる。

○碧玉

夾雑物の少ない緻密な質感である。緑を基調としながらも、深いもの、青みがかったもの、淡いものなど幾つかの種類がある。比重は 2.5 前後。分析では珪素、カリウムが強く、他にアルミニウム、カルシウム、チタン、鉄、ルビジウムが検出される。カルシウムが強めに現れる資料では、同時にストロンチウムが検出される。

○アマゾナイト（天河石）

濃淡はあるものの、鮮やかな青、青緑の色調を特徴とする。比重は 2.6 前後である。分析ではアルミニウム、珪素、カリウム、ルビジウムが明瞭なピークとして現れる。特にルビジウムは、他の石材では見られないほど強く検出される。その他は 5 ～ 12keV の部分に同定不明な散乱 X 線と見られるピークが乱立することも特徴的である。

この他、滑石についても判別、抽出を試みたが、定性分析のみでは蛇紋岩との識別が困難であり、幾つかの調査法を組み合わせた上での判断が必要と思われる。

■結語

前にも記したように、石材の同定は物の流通論と密接に関わっており、安易な同定による危険が大きい。福岡市でも、有田遺跡 36 次調査の弥生時代の甕棺墓墓壙から出土した半月形勾玉が、報告書ではヒスイと記載されていたが、今回の一連の調査ではアマゾナイトと判断された例もある。結果、それまで日本海地域との結びつきが想定されていたものが、朝鮮半島との交流も視野に入れた解釈を要する可能性も導き出されたことになる。また、含クロム白雲母岩は縄文時代に限らず、古墳時代の装身具にも混じっていることも確認できた。この資料は福岡市老司古墳出土の短い管玉で、碧玉の管玉と共存するが、他の管玉とは形状が大きく異なり不整形である。異なる時代の玉が再利用された可能性も考えられるかもしれない。

かつて透過 X 線が保存科学の基本的な装置として全国に普及した時代から 30 年近くが経過し、それに加えて蛍光 X 線分析装置の普及もめざましいものがある。資料の組成を知ることは、以前よりも簡便になりつつある。また経験上、一度分析と詳細な観察で特徴をつかめば、ある程度肉眼でも判別（推定）の精度は向上すると考える。この分野は考古学と自然科学が特に濃密に接する場面と考えられ、産地同定など、より高度な分析は別として、両者がもう一歩踏み出すだけでも、大きく研究が進展するものと期待される。

（参考文献）

小畑弘己・大坪志子・比佐陽一郎・上原誠一郎・森康 2006「理化学的分析による九州縄文時代石製装身具の生産システムの解明」『平成 18 年度九州史学大会シンポジウム・研究発表要旨』九州史学会

藁科哲男 2005「大坪遺跡出土の玉類、玉材片の産地分析」『大坪遺跡』鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘調査報告書(79) 鹿児島県立埋蔵文化財センター

P−67

福岡県内の古代遺跡から出土するガラス製品について
−蛍光X線定性分析による調査−

○比佐陽一郎（福岡市教育委員会）

■はじめに

福岡市は古来よりアジアに開かれた国際都市として栄えているが、その言葉を端的に表す遺跡の一つとして、鴻臚館跡が挙げられる。鴻臚館は平安時代の外交の窓口として、平安京、難波、筑紫に設置されたことが文献に記されている。長らくその詳細は不明であったが、1987年、平和台野球場のスタンド改修工事に伴う発掘調査をきっかけとして、筑紫鴻臚館はその姿を現すこととなった。建物などの遺構はもちろん、瓦や硯、帯金具など役所に関係する遺物、中国製の陶磁器など海外との交流を示す資料が多数出土。更には中国に止まらず、イスラム陶器の破片も見つかっている。その中に、ガラスの容器片２片が含まれていた。

■鴻臚館出土資料

鴻臚館から出土したガラス容器片は、深い緑色で透明を呈する細口のものと、無色透明で比較的広口の２種類がある。厚さが１～２ mm 程度の非常に薄い作りである。３次調査の SK-02 と呼ばれる土壙からの出土で、中国製陶磁器の破片の下や、破片に混じった状態で発見されており、時期的にも鴻臚館の時代のもの（９世紀代）として問題ないとされる。これらは出土後早い段階で、日本電気硝子（株）により材質分析が行われ、マグネシウムの量などから西アジア地方のアルカリ石灰ガラスとの所見が得られている（非公式文書による）。これにより以後、イスラムガラスとして報告、紹介され、注目を集めることとなった。

■大宰府史跡187次調査出土資料

その後、1999 年に福岡市の埋蔵文化財センターには、蛍光 X 線分析装置が導入され、保存処理の事前調査に威力を発揮すると同時に、様々な考古資料の材質調査が行われるようになった。中でもガラス製品は、奈良文化財研究所肥塚隆保氏の指導を受けながら、弥生～古墳の玉類を中心に定性分析による材質推定作業が進められた。その様な中、福岡県教育委員会が調査を行った大宰府史跡 187 次調査で出土したガラス容器片を、本市の装置で分析することとなり、それに合わせて比較のために鴻臚館出土の容器片２点についても、改めて分析が行われた。ガラス資料の場合、局部的に強いX線を照射すると、その部分が変色を来すため、X線強度が小さくても検出感度の優れたエネルギー分散型蛍光X線分析法が有効である。一連の作業では、微小領域用のエネルギー分散型装置を使用した。

大宰府の容器片は、土壙（SK4573）からの出土で、共伴遺物は８世紀末～９世紀代の年代を示している。非常に淡い青緑色透明で、2.5 × 2 cm（厚さ１～３ mm）ほどの破片である。小壺に復元されると考えられている。

分析の結果、鴻臚館の２点と大宰府の１点は、色調の違いによると見られる微細な差異は認められるものの、全体的には非常に似通った定性チャートを示している。ガラスの主成分である珪素の他、ナトリウムの明瞭なピークが認められ、カルシウムが特徴的に現れていることから、ソーダ石灰ガラスと考えられる。定量的な判断ではないものの、アルミニウムのピークは比較的小さく、マグネシウムが明瞭な点も特徴的である。

■多々良込田遺跡出土資料

昨年度は、鴻臚館発掘 20 周年を迎え、それを記念して福岡市博物館では鴻臚館展が開催さ

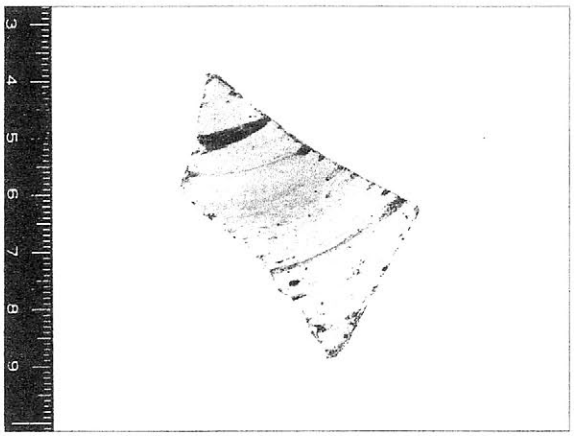
れた。そこには、海外との交流を示す特徴的な遺物として「イスラムガラス」も出展されたが、その類例として以前に出土していた多々良込田遺跡のガラス容器片も並べられ、更に分析による成分の比較も試みられた。多々良込田遺跡は、福岡市東区に所在する。1973 年の 1 次調査以来、これまで６次にわたる調査で奈良～平安の重要な遺構や遺物が多数見つかっており、その立地と合わせ、古代の物流を管理する官衙として評価されている。

ガラスは１次調査の４号溝出土で、やはり容器と見られる青緑色で４×３ cm ほどの破片である。共伴遺物は８世紀後半～９世紀初頭を中心とする時期を示す。分析では、やはり過去の調査事例とよく似た定性チャートが得られた。

■再び鴻臚館へ

鴻臚館は 1987 年以来、保存、整備に向けて毎年継続して発掘調査が続けられており、その姿が次第に明らかとなってきている。その間、相変わらず質の高い資料が数多く出土している

多くの資料が出土する遺跡の場合、限られた予算と時間の中では、発掘調査報告書に掲載される資料の数は限られたものとならざるを得ない。福岡市埋蔵文化財センターには、発掘調査報告書の作成後、保管と活用を目的として出土品が搬入されるが、報告書未掲載の資料の中にガラス製品が幾つか含まれ、そのうちの１点にイスラムガラスとのメモ書きがあった。この資料は 1999 年の 17 次調査での出土品で、北館と南館の間に設けられた堀が鴻臚館の廃絶後に埋没し池となった部分（SG-1046）から出土したものである。池の時期は中世後期（15 ～ 16 世紀）であるが、中からは鴻臚館の時期に遡る中国製陶磁器類が多数出土しており、中世後期の整地の際、池の中に廃棄されたものと解釈されている。淡い緑色の透明ガラスで、５×３ cm（厚さ１～２ mm）大の板状であるが、僅かに湾曲しており、やはり容器と見られる。気泡や汚れ（不純物）が平行して筋状に流れる様子が観察できる。この資料についても分析調査を行ったところ、これまでのものと同じ定性チャートを示したのである。新たな類例の発見と考えられる。



鴻臚館17次調査出土ガラス片

鴻臚館はその後、近世には福岡城、近代には陸軍の施設として使われており、上層には新しい時代の遺物も多数認められる。ガラス資料の中には明らかに新しいと見られる瓶類なども含まれており、念のため比較として同条件にて数点の分析を行った。これらはソーダ石灰ガラスのチャートは示すものの、マグネシウムやマンガンのピークが低かったり、亜鉛やヒ素が検出されるなど、古代とされる資料とは明確な差異が認められた。

■おわりに

これまでに福岡市で行ってきた、鴻臚館、大宰府、多々良込田という奈良～平安時代の遺跡より出土したガラス容器の材質分析を、順を追って概観した。いずれも非常に良く似た分析結果を示していることが明らかとなり、更には新たな類例も追加された。ただ、いうまでもなく今回の調査は非破壊による定性分析であり、先学によって示されている定量値と比較して資料の性質を論じることは難しい。また、今回使用した装置で、実際のイスラムガラスを分析してもいないので、前提が不安定なことは否めない。しかし、この時期のガラス資料は限られており、敢えて調査結果を提示することで、これを叩き台として古代の広い物流が活発に論じられることを願うものである。

三次元計測を用いた装飾古墳製作工程の研究

-熊本市千金甲１号墳の事例-

○池田朋生（熊本県立装飾古墳館）朽津信明（東京文化財研究所）増田智仁（凸版印刷）森本哲郎（東京大学）池内克史（東京大学）林田和人（熊本市教育委員会）前田真由子（熊本県教育委員会）

１．　はじめに

三次元計測を用いた文化財の記録は、貴重な文化遺産の正確な記録のみならず、コンピューターグラフィックス上での再現により、臨場感あふれるコンテンツとして活用され、多くの人々に公開されているのは周知のとおりである[1)]。装飾古墳は、保護の問題から一般に立ち入ることが制限されるため、この技術を駆使した映像による公開手法が、特に効果的な文化財と言える。

既に、この三次元計測の精度を活かし、装飾文様の見えを再現した研究が行われている[2)]。このなかで朽津は、福岡県王塚古墳の多彩な彩色の見えに注目し、自然光下での彩色が行われた可能性を指摘した。装飾のなかでも彩色という工程が、古墳築造時どの段階で行われたかを示唆するものであり、石室構造の研究にとっても重要な提言である。

しかし、彩色が施されたものの多くは、主に保存上の問題から研究者であっても立ち入る時間が制限されてしまう。そのため、考古学上必須である資料の実見や再確認、撮影、手実測などの一連の作業実施が難しく、研究の深化に課題が残る。

そこで、本研究では高精度な三次元計測で得られた詳細な画像を観察、細かな加工痕に注目し、使用工具や、工程を推定する。特に、装飾を施した石障の製作過程の一部を明らかにすることに主眼をおく。

２．　調査対象と調査方法

調査の対象には、三次元計測を行った装飾古墳のうち、千金甲１号（甲号）墳を選定した。この古墳は、全国に約600ある装飾古墳のなかで、緑を塗った最古の古墳であると同時に、200あまりある熊本県下の装飾古墳では、唯一黄色の使用が確認されている古墳であり[3)]、画期の装飾古墳として相応しい要素が見出される。しかし、見事な彩色が遺りながらも、保存上の課題から長期にわたる一般公開が困難な状況にある。

図1．千金甲１号（甲号）墳

このような状況をふまえ、東京大学池内研究室、並びに凸版印刷（株）では、対象物の形状をレーザーレンジセンサ等の手法からデータを取得、データの整理、シナリオ作成等を経て、新たなデジタルコンテンツの製作が進められている。

そこで、Z+FImager、KonikaMinolta VIVIDでデータ処理されていた三次元情報に注目し、やはり池内研究室において開発された計測データ編集解析ソフトを用いて、工具痕が明瞭な画像データを選択し、観察する対象を絞った。

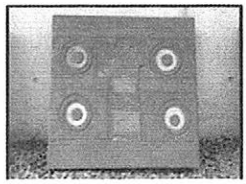


図2．千金甲１号墳実験製作レプリカ

一方、製作工程については、石棺石室に残る工具痕の研究から、これまで各種分類が試みられているが[4)]、こと装飾古墳に限れば、製作にかかる状況までは検証できていない。

故に、熊本県立装飾古墳館で実験製作した同古墳の石障とその時の製作記録[5)]、菊池川流域で伝統的な技を用いる石工からの聞き取り調査[6)]を、具体的な製作工程の比較材料として用いる。この実験製作レプリカは、常設展示の千金甲１号（甲号）墳実物大レプリカ（RP材製）をもとに、石工による製作実験を行い製作されたものである。

項目	荒取り	荒整形	荒仕上げ	仕上げ（彩色面）	装飾加工	彩色
装飾古墳	チョウナ？（剥片剥離）		チョウナ	チョウナ・タガネ	タガネ※線刻	ベンガラ等 ○
鎌倉やぐら	ツルハシ	ツルハシ	チョウナ		タガネ？	ベンガラ等 ○
専業石工	ツルハシ（剥片剥離）	ツルハシ	刃ビシャン	ヨキ	タガネ	ベンガラ等 ○

図3．製作工程と工具痕対比表（スケール不統一）

３．　結果

装飾古墳に残る工具痕とそれに対応する中世、現代の専業石工の工具痕、工程の対比を図３[7)]に示す。古墳時代のモデルには、熊本県美里町中郡古墳（装飾古墳）[8)]、及び馬門石切場跡で出土した石片[7)]に残るものを抽出、中世は凝灰岩製で彩色が残る鎌倉市朱だるきやぐらを例とした[9)]。また、三次元計測で得た製作時の状況がわかる画像を図４、５に示す。図４は、Z+FImagerによる石室と墳丘、立地の関係が判る透視画像である。石障、羨道部が地下に埋設され、積石の部分の

みが墳丘に覆われていることが判る。図５は、VIVIDによる石障表面の装飾、工具痕の画像である。図３で提示した各種工具痕が判る。図５－１は、タガネによる痕と推定でき、工具の当て方から工人の姿勢がうかがえる。民具による製作実験では、躊躇無く石障を寝かせなければ、均質な同心円の浮彫は製作できない。同心円文の下書きに沿い、放射状にタガネをあてた痕が残った。図５－２は、石障の平滑な面全域にわたって確認されるもので、彫りの浅いチョウナ痕である。チョウナによる工具痕は、装飾古墳に限ったものではなく、先行研究でもしばしば指摘されているが、それらはおおよそ工具の稜線が明確な彫りの深いもので、石材表面を抉ることを意図したものである。図５－２は、最も華麗に仕上げることが要求される彩色面であることから、平滑にするとともに工具の稜線をできるだけ出さない浅い彫りであり、意図が異なる。民具による製作時にも、厳密に区別されていた。浅い彫りに相当する仕上げには「ヨキ」と呼ばれる縦斧を用い、深い彫りである荒取りを意図する工具には「ツルハシ」を用いる（この工程をムシリという）。装飾の加工と異なる所は、両工程とも素材を立てて行う点である。当時、工具を変えて使い分けていたかまでは判らないが、図５－３の深い抉りの痕跡は、仕上げの工具で周辺が切られており、荒取り時（石障になる板材そのものを整形する際）の工具痕と推察され、両工程の区別が確認できる。

図４．石障系石室断面図

図5-1．タガネによる加工痕

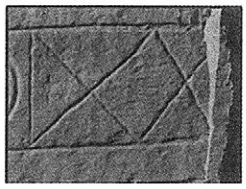


図5-2．チョウナによる仕上げの痕

図5-3．チョウナによる荒取りの痕

４．　考察

まず、Z+FImagerによる透視図は、装飾古墳のみならず、石障系の石室設置の工程を窺い知ることができ、先行研究での指摘[10]が画像によって追認できるものである。石障系横穴石室のみならず、他の石室構造の研究に寄与できるものとして今後の活用にも期待できる。

工具痕の提示は拓本によって成されることが多いが、貴重な彩色面にそのような手法で記録することは道徳的に許されるものではない。その意味でもVIVIDによるデータの有効性が指摘できただろう。

また、浮彫、彩色が施された石障に限って議論した場合、確認できる工具痕は、ほぼ近現代の工程に対比することができた。つまり、工具に使用された鉄素材の検証という課題が残るが、参考値として荒整形から仕上げまで要した時間が割り出せることになる。その場合、使用石材の硬度も考慮にいれる必要があるが、エコーチップ硬度試験を用いて、実物と同じ硬さの石が使用されたことは確認できている[11]。奥壁側にある石障の一部の復元（幅76cm、厚み12 cm、高さ72cm）に要した製作時間は、概ね４時間であった。実物の石障は、地表面に露出している部分だけで幅195 cm、厚み12 cm、高さ（推定）85 cmである（本館の実物大レプリカ計測値）。面積比で割り出すと約３倍の広さとなり、概ね12時間で仕上がることになる。また、レプリカに彩色した時間は１時間にも満たなかった。仮に二人の工人がかかれば、原石さえ確保できたなら凡そ１日で石障１枚が完成することになる。

この他、装飾古墳には顔料の滴りが確認できるものがあり（熊本県永安寺東古墳、茨城県太子唐櫃古墳）、石室設置後に立面で描かれたことが指摘できる。しかし、石障や石屋形など板材に限定してみると、顔料の滴りは管見する限り確認できていない。また、千金甲１号（甲号）墳では、石障同士の合わせの部分にも彩色が施されている。ひとつの仮説として、石室構築前に一連の装飾が施されたことが予想され、自然光下での製作という指摘を裏付けるものと考えられるだろう。

引用参考文献等

1）例えば、日刷博物館ＶＲシアター、九州国立博物館など。
2）○朽津信明・○増田智仁・猪狩壮文・池内克史・三橋徹・松戸堅治（2007）スペクトル計測に基づく王塚古墳壁画の任意光源下での色再現 2007年度第12回情報知識学フォーラム～情報の発掘と再生～
3）朽津信明（2002）古墳などに使われた彩色顔料 奈良文化財研究所保存科学研究集会P28-39
4）和田清吾（1983）古墳時代の石工とその技術 北陸の考古学 石川考古学研究会々誌第26号
5）池田朋生編（2006）阿蘇の灰石展解説図録 熊本県立装飾古墳館
6）池田朋生（2006）熊本県下の石工道具二例 熊本県立装飾古墳館 研究紀要第６集
7）池田朋生（2007）古墳時代「阿蘇石」の加工技術について 大王の棺を運ぶ実験航海-研究編-石棺文化研究会
8）池田朋生（2007）中郡古墳家形石棺（四十八塚４号石棺）について　熊本県立装飾古墳館 研究紀要第７集
9）朽津信明（2002）鎌倉のやぐらで観察される装飾材料について　保存科学第42号
10）高木恭二（1994）石障系横穴石室の成立と展開 宮嶋クリエイト第６号 宮嶋利治学術財団
11）朽津信明・松倉公憲・池田朋生（2006）エコーチップ硬度試験による文化財石材の評価-熊本県下の装飾古墳の例-日本応用地質学会平成18年度研究発表会講演論文集P433-436（熊本県立装飾古墳館 研究紀要第７集再録）

P－69

縄文時代のベンガラの獲得と利用に関する基礎的研究

－新潟県中越地域の縄文時代中期・晩期の集落遺跡を中心として－

○西野摩耶（慶應義塾大学大学院）・佐藤雅一（津南町教育委員会）
上條朝宏（東京都埋蔵文化財センター）・建石徹（文化庁美術学芸課）

１．はじめに

ベンガラの獲得・利用についての具体像を解明するために、新潟県中越地域におけるフィールド調査を通して得られたベンガラの分類別分布データの整理を行ない、パイプ状ベンガラを含むベンガラの産出傾向を把握した。これを前提として、同地域（津南町）の縄文時代中期と晩期の２遺跡より出土したベンガラ資料との比較照合を試みた。

２．資料（試料）

津南町は、新潟県南部に位置し、地理的に北陸地方、東北南部、北関東、中部高地等の文化が交錯する地域とされる。町の中央に信濃川が流れ、その両岸に、それぞれ数段の河岸段丘が発達する。縄文時代遺跡の多くは、この河岸段丘上に分布する。これらの遺跡からは、主に縄文時代中期以降の、赤色顔料を塗布した土器・土製品が多数出土している。また発表者のうちの佐藤らにより、通常の発掘調査では見落とされがちなベンガラ原料の可能性のある黄褐色塊、赤色塊が意識的に採取されている。

近年の発表者らの踏査により、この河岸段丘の段丘崖に、ベンガラ原料の産出地点が多数存在することが確認できた。

発表者らは、2002 年以降、周辺地域も含め、ベンガラ原料産出地点の分布の悉皆調査を進めている。特に津南町地域においては、その分布を概ね把握できたと考えている。

遺跡出土ベンガラおよびベンガラ原料とともに、産出地点のベンガラ原料を分析することにより、縄文時代の赤色顔料の獲得・利用に関する有力な情報が得られる可能性が極めて高い。

具体的な分析対象資料は、以下の通りである。

ｉ）道尻手遺跡出土資料（縄文時代中期中葉～後葉）

分析した土器は、中期中葉のものは、浅鉢形土器 14 点、深鉢形土器１点、有孔鍔付土器１点、器種不明土器２点で、中期末葉は瓢形土器５点である。ベンガラ原料は 11 点、これらは全て黄褐色をしており、原料の状態で出土している。これらは遺物包含層より一括で出土したものであり、中期中葉～末葉の時間幅で捉えておきたい。

ⅱ）正面ヶ原Ａ遺跡（正面ヶ原に隣接する縄文時代後期～晩期の集落址）

分析した土器は 13 点、うち浅鉢が８点、器種不明土器が５点である。ベンガラ原料は５点、このうち黄褐色塊が４点、赤褐色塊が１点含まれ、いずれも原料の状態で出土している。これらは遺構外から出土した資料であるが、その多くは晩期前葉のものと考えてよい。

iii）ベンガラ産出地点

津南町地域およびその周辺地域において、今回 17 地点の産出地を確認した。いずれも、段丘端境面から、湧水とともに黄褐色のゲル状物質が染み出ており、これを採取し分析資料とした。

3．分析方法

資料（試料）の分析は、以下の方法で行った。

①光学顕微鏡による観察

実体顕微鏡の 20 倍～50 倍の倍率で、ベンガラと思われる部分をデザインナイフで薄く剥ぎ、アルコールと水で湿らせたスライドガラス上にのせ、封入剤を使用し、永久プレパラートを作製した。これを、偏光顕微鏡を用い、100 倍～200 倍の倍率で観察した。

②走査型電子顕微鏡による観察（日立製作所製、S－530）

1500～20000 倍の倍率でベンガラの形態を観察した。

③ベンガラの同定

電気炉による焼成実験を行ない、遺跡出土ベンガラ原料および周辺採取ベンガラ原料を 800 度の温度で 1 時間焼成し、黄褐色から赤褐色への変色が認められたものを、ベンガラ原料の可能性があるものとし、これらを SEM-EDS の分析装置（堀場製作所製、EMAX－1770）により分析した。その結果、主成分元素が Fe であったものをベンガラと推定した。

4．結果

産出するベンガラには細かな地域ごとの特徴があり、なかでも津南町周辺においてはパイプ状ベンガラの細分を含むこれらの顕著な傾向が認められることが判明した。遺物の分析との比較照合を通じて、道尻手遺跡（縄文時代中期）では近隣で採取可能なベンガラが用いられ（図１、２）、正面ヶ原Ａ 遺跡（縄文時代晩期）では近隣では採取困難なベンガラが用いられる（図３）傾向が認められた。帰属時期が異なり、しかも隣接する２遺跡において用いられたベンガラの特徴が異なったことは非常に興味深い。今後、より詳細なフィールド調査と遺物等の分析を充実させることで、さらに具体的な往時のベンガラの獲得・利用のあり方が復原できるものと考える。

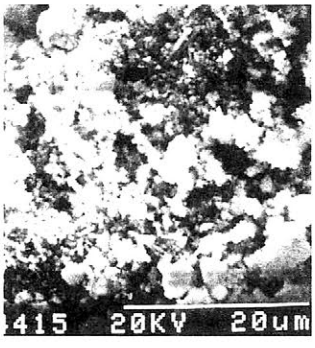


図１　小型パイプ状ベンガラ

（道尻手遺跡出土資料）

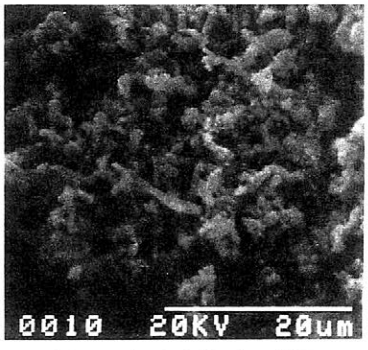


図２　らせん状ベンガラ

（道尻手遺跡出土資料）

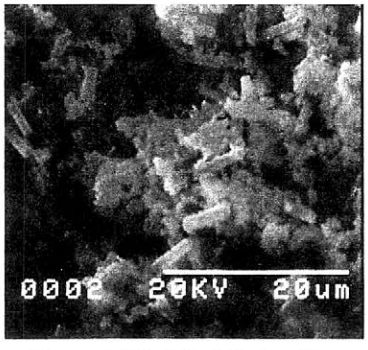


図３　大型パイプ状ベンガラ

（正面ヶ原Ａ遺跡出土資料）

P−70

鉛同位体比の表現方法について

○廣坂美穂・山本英二・亀田修一（岡山理科大学院総合情報研究科）

1．はじめに

考古学での鉛同位体比の表現方法には、$^{207}Pb/^{206}Pb$–$^{208}Pb/^{206}Pb$ 図（A 式図と呼ばれる）と、$^{206}Pb/^{204}Pb$–$^{207}Pb/^{204}Pb$ 図（B 式図と呼ばれる）が多く利用される。特に A 式図は、弥生・古墳時代の青銅器を総括的に分類表示するのに優れ、報告書や論文に利用される頻度も高い。しかし、A 式図ではデータがほぼ一直線上に並び、それらの分離効率があまり良くないという問題点がある。

そこで本研究では、まず日本出土（一部、中国・朝鮮半島の資料も含む）の銅鏡・銅鐸・銅剣・銅矛・銅戈の鉛同位体比データを利用し、統計的手法を用いて分離効率の良い図を検討した。次にそれを利用し、A 式図で提示されている A,B 領域内で、いくつかの小グループが見出せる可能性について検討を行ってみた。

2．分析資料と分析方法

分析資料として、日本出土（一部、中国・朝鮮半島の資料も含む）の銅鏡・銅鐸・銅剣・銅矛・銅戈の鉛同位体比データを論文や報告書などから検索、収集して利用した。それぞれの資料数は、銅鏡 340 点、銅鐸 299 点、銅剣 498 点、銅矛 138 点、銅戈 157 点の合計 1,432 点である。

分析方法は、まず ^{204}Pb、^{206}Pb、^{207}Pb、^{208}Pb の割合を算出し主成分分析を行い、A 式図よりデータのばらつきが大きくなりより分離効率のよい二次元の図を検討する。そして、その図を利用し各資料の検討を行った。

3．結果と考察

第 1 表　各鉛構成割合データの主成分係数

	第1主成分	第2主成分
^{204}Pb	0.04631796	0.04164688
^{206}Pb	−0.82619540	0.07446753
^{207}Pb	0.46461525	0.64408240
^{208}Pb	0.31525937	−0.76018286

（ここでは第3・4主成分は省略した）

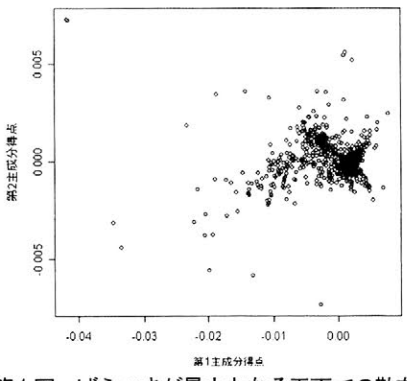
第 2 表　各主成分の寄与率・累積寄与率

	第1主成分	第2主成分
寄与率	0.96245	0.03743
累積寄与率	0.96245	0.99988

（ここでは第3・4主成分は省略した）

各データのばらつきを最大にし、より分離効率のよい二次元平面を探すことは主成分分析の第 1・2 主成分を探すことに対応する。そこで統計解析フリーソフト「R」を利用し、各鉛構成割合を主成分分析すると第 1 表のようになる。この表を見ると、第 1 主成分で ^{206}Pb と ^{207}Pb、第 2 主成分で ^{208}Pb と ^{207}Pb の順で主成分係数が大きいことが分かる。各主成分の寄与率・累積寄与率を見ると第 2 表のようになり、第 1・2 主成分に 99%以上の情報が含まれている。

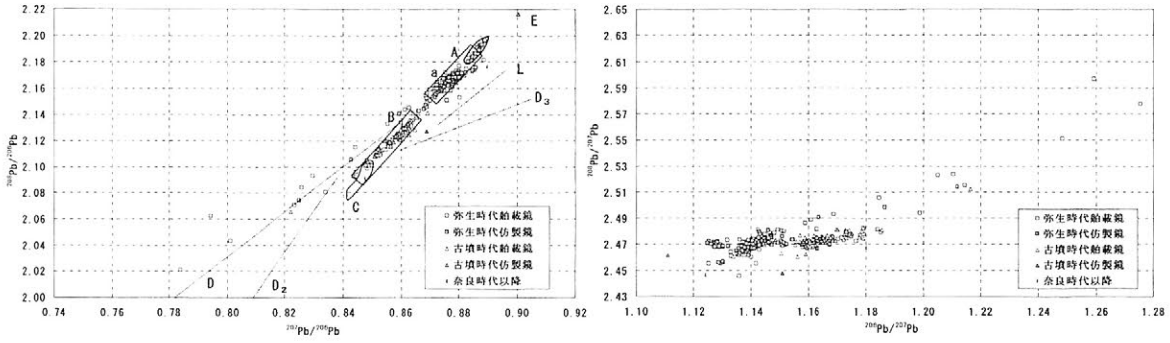
次に 1,432 点の主成分得点を算出し、第 1 主成分得点を横軸、第 2 主成分得点を縦軸とした平面で算出データを示すと第 1 図のようになる。これが各データのばらつきが最大になる図であるが、この図で考察を行うのは分かりにくい。そこでこれに近い図を考える。まず第 1 表から、第 1・2 主成分で共通して主成分係数の大きい ^{207}Pb を分母、^{206}Pb、^{208}Pb を分子とする比を利用することにした。そして、$^{206}Pb/^{207}Pb$ を横軸、$^{208}Pb/^{207}Pb$ を縦軸とし、既存図のように右上がりグラフとする。この図は、A 式図と同じ種類の同位体を使用しているので、以後、仮に A′ 式図と呼ぶことにする。ここで、銅鏡のデータを利用して双方の図を比較すると、第 2 図のように A′ 式図の方がデータのばらつきが大きいことが分かる。この A′ 式図を利用して集めた各資料を検討すると、一部資料で A 式図の A・B 領域内で小グループがある可能性が分かった。



第 1 図　ばらつきが最大となる平面での散布図

銅鏡の中の弥生・古墳時代の仿製鏡について A′ 式図を作成してみると第 3 図のようになる。この図を見ると弥生時代仿製鏡（106 点）では 3 グループ（Ⅰ、$Ⅱ_1$、$Ⅱ_2$）、古墳時代仿製鏡（28 点）では 2 グループ（$Ⅲ_1$、$Ⅲ_2$）があるように見える。ちなみにⅡは A 式図の A 領域、Ⅲは A 式図の B 領域に対応する。

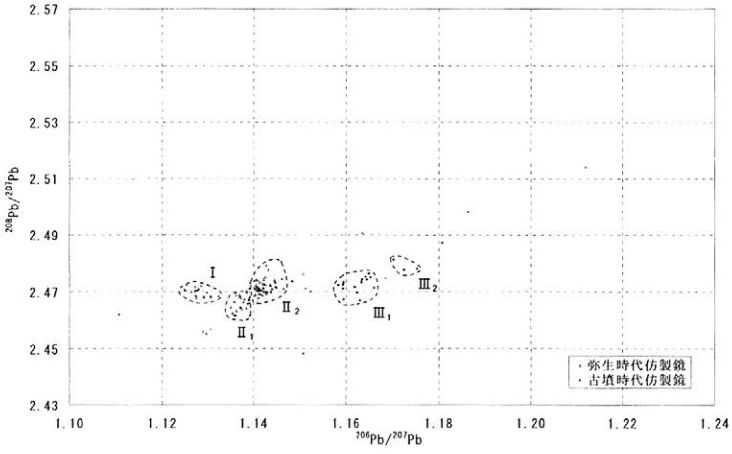
まずⅠであるが、このデータは A 式図（第 2 図左）でも分類でき（A 領域右端丸印）、A 領域の 1 つのグル



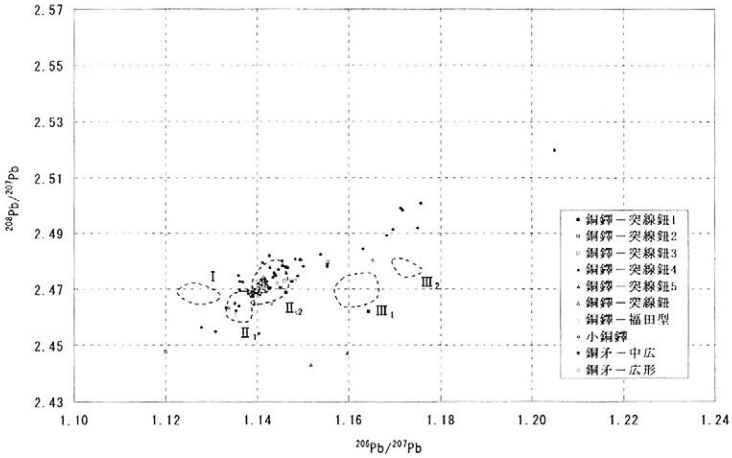
第2図　銅鏡データを利用したA式図とA′式図の比較（左：A式図、右：A′式図）

ープといえる。しかし第3図で見るとⅡとは分布のあり方が違い、別グループの可能性が考えられる。ちなみにこのⅠは、すべて福岡県前原市平原遺跡出土鏡で構成され、今のところ他の資料はほとんど分布しない部分である。

次にⅡは、$Ⅱ_1$と$Ⅱ_2$に分けられそうである。この$Ⅱ_2$には弥生小形仿製鏡の多く（57点中47点）が分布する。また$^{206}Pb/^{207}Pb$が1.14、$^{208}Pb/^{207}Pb$が2.47のあたりにデータが集中する。この部分は第4図で見ると銅鐸の突線鈕式・福田型・小銅鐸や銅矛の中広・広形の集中する部分でもある。これらの資料は、A式図領域A内のa領域に集中することが知られている。このことからA′式図のこの部分は、A式図a領域に対応する部分といえる。



第3図　弥生・古墳時代仿製鏡の鉛同位体比（A′式図）



第4図　$Ⅱ_2$に属する銅鐸、銅矛の鉛同位体比（A′式図）

最後に古墳時代仿製鏡であるが$Ⅲ_1$、$Ⅲ_2$に分けられそうである。しかし、全体数が少なく鏡種の傾向ははっきりしない。あと、弥生・古墳時代舶載鏡についても調べてみると、仿製鏡ほどはっきりしないが、近い部分でデータのまとまりが見られた。このまとまりは、銅鐸・銅剣・銅矛・銅戈の一部型式でも数値に少し差はあるが確認できた。だが、銅鐸の扁平鈕式や銅剣の中細形などは$Ⅱ_1$と$Ⅱ_2$に細長く分布し、小グループが判別できないものもあった。今後は、これら小グループの意味や、今回検討した以外の遺物、鉱山資料のデータについても既存の図に併せてこの図を利用し、詳しく検討していくつもりである。

主要参考文献（五十音順）

新井　宏2000「鉛同位体比による青銅器の鉛産地推定をめぐって」『考古学雑誌』第85巻第2号　日本考古学会：pp. 1-30

岩永省三2004「考古学者からみた青銅器の科学分析」『科学が解き明かす古代の歴史　新世紀の考古科学』クバプロ：pp. 110-119

金　明哲2007『Rによるデータサイエンス』森北出版株式会社

平尾良光2003「青銅器の鉛同位体比－分析データをどう読むか－」『考古資料大観』6　小学館：pp. 346-368

P—71

九州出土経筒の鉛同位体比が語るもの

○石川ゆかり・平尾良光（別府大学大学院）

1　はじめに

埋経とは経典を金属製あるいは陶製の容器に入れ、塚を設けて埋納することである。経典を納めていた容器を「経筒」、塚を「経塚」という。経塚の造営は12世紀の半ばにピークを迎えたとされる。これまで経筒が埋納された歴史的背景についての研究は出土地、出土形態、経筒に記された銘文、経筒の形態、文献などを対象としておこなわれてきた。

本研究では銅製経筒の材料という観点から自然科学的な調査をおこなった。そして自然科学的な調査の結果と先行研究をもとに経筒の製作地、経塚造営の拠点について考察した。

2　自然科学的な調査

・化学組成

資料の化学組成の測定には蛍光X線分析法を利用した。

・鉛同位体比法を用いた青銅材料の産地推定

経筒の材料である銅あるいは銅合金の産地を推定するために鉛同位体比法を利用した。

3　先行研究

経塚・経筒に関しては多くの先行研究の成果がある。本研究では特に、経筒の型式分類の成果を応用した。

4　自然科学的な調査の結果

今回調査した資料は

・福岡県宗像郡玄海町（現　宗像市）出土経筒破片　1点

・大分県宇佐市妙楽寺出土経筒　2本　・湖州鏡破片　1点

・大分県杵築市東光寺出土経筒　5本

・大分県立歴史博物館所蔵経筒　8本

である。

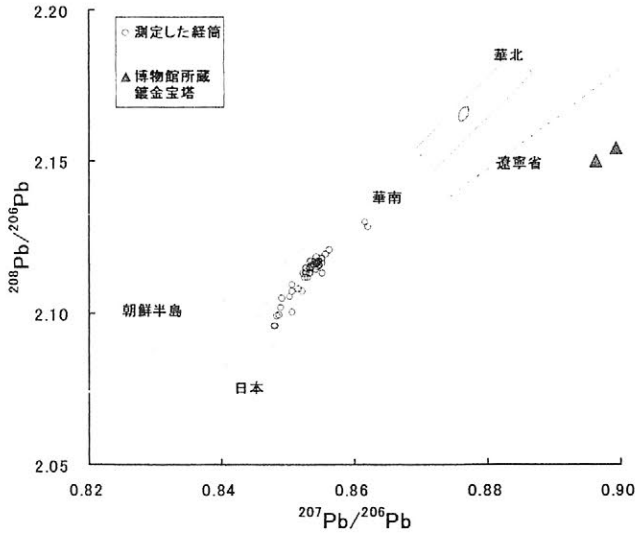


図1　全資料の鉛同位体比

蛍光X線分析と鉛同位体比法をおこなうとともに経筒の型式分類をおこなったが、あくまで私見によるものであり、確定的ではない。全体的な傾向として、中国華南産領域と日本産領域に多くの経筒の鉛同位体比が分布していた。紀年銘をもつ経筒を調査した先行研究によると、12世紀前葉末に二段、三段積上式の経筒が現れ、12世紀中葉になって四段積上式へ移行したとされる[2)]。さらに12世紀前葉末から中葉にかけて求菩提型があらわれ、12世紀中葉には国東型が現れる。ここで、銅の材料産地の推移について考えてみると1100年を過ぎたしばらくの間は日本産材料が使用されていたが、次第に

混合材料が多くなり1150年以降は中国産材料が主となるとされている[1]。本研究で分析した経筒では、求菩提型と国東型の経筒には華南産と日本産の混合材料が用いられており、二段積上式と四段積上式の経筒には華南産の材料が用いられていた。測定した資料数が少ないため確定的なことは言えないが、経筒の型式の時代による変遷と、銅製品の産地が日本産材料から華南産材料へ移行していることについて対応して考えることができるようになるかもしれない。

表1　鉛同位体比法によって推定された銅製経筒の材料の産地と経筒の型式

出土地	名称	材料産地（推定）	型式（推定）
福岡県玄海町	経筒破片	華南	破片のため不明
大分県宇佐市妙楽寺	1番経筒	（蓋・筒）華南・日本の混合	
		（底）華南	求菩提型
	2番経筒	華南	不明
	湖州鏡	華南	
大分県杵築市東光寺	NO10経筒	（蓋・筒）華南・日本の混合	
		（底）日本	国東型
	NO11経筒	華南・日本の混合	銅板鋲留め
	NO3経筒	華南	四段積上式
	NO7経筒	華南	二段積上式
	NO8経筒	華南	銅板鋲留め
大分県立歴史博物館所蔵経筒			
伝北部九州	第1号経筒	華南	四段積上式
伝北部九州	第2号経筒	華南	二段積上式
伝大分市九六位山	第3号経筒	（蓋・筒）日本？華南・日本の混合	
		（底）華南・日本の混合	求菩提型
伝宇佐市御許山	第4番経筒	日本	銅板鋲留め
伝宇佐市御許山	第5号経筒	不明	鍍金宝塔
伝宇佐市御許山	第6号経筒	華南	銅板鋲留め
伝国東	第7番経筒	（蓋・底）華南	
		（筒）華南・日本の混合	国東型
伝宇佐市御許山	第8号経筒	（筒）華南・日本の混合	
		（底）日本	蓋を欠くため判断できず

5　参考文献

1）原田一敏・平尾良光：東京国立博物館所蔵経筒の科学的研究；東京国立博物館紀要41号（2006）

2）村木二郎：九州の経塚造営体制；古文化談叢第40集（1998）

P－72

韓国益山市王宮里遺跡から出土したガラス製品に関する鉛同位体比調査

○魯 禔玹（ジヒョン）・平尾良光（別府大学大学院　文学研究科）・金奎虎・金那瑛（韓国、公州大学文化財保存科学科）・田庸昊・韓松伊（韓国、国立扶餘文化財研究所）

1．はじめに

韓国の全羅北道益山市に位置する王宮里遺跡(史跡 408 号)は 1989 年から今まで発掘調査が行っており、その結果、宮城および寺と関係があることがわかった。この遺跡からは百済時代～高麗時代までの約 5,000 の遺物が出土した。また、ガラスの生産と関係がある工房遺構も確認されており、そこからはガラス坩堝、ガラス鎔滓、ガラス製品、送風管片、窯片などが出土し、王宮里遺跡ではガラス原料の加工だけではなく、精錬・溶解を含んだガラス生産が行われたことがわかった。

2005 年には王宮里遺跡の生産遺構の性格究明と原料・製品に関する具体的な研究のために科学的な分析が行われた。今回はその続きとして、王宮里遺跡出土のガラスと坩堝に関して鉛同位体比測定を行い、それらの連関性や百済地域のガラス原料の受給および流通を考えてみた。

2.　資料と測定方法

本研究では王宮里遺跡から出土したガラス 19 点と坩堝 11 点の 30 点を分析対象とした。これらに関して韓国で行った蛍光 X 線分析の結果から、測定資料のガラスおよび坩堝は鉛ガラス(PbO-SiO_2)系であることがわかった。

各資料から鉛同位体比測定用の試料として約 0.1 g を採取し、フッ化水素酸で分解した後、直流 2V で電気分解した。析出した二酸化鉛にリン酸とシリカゲルを加え、レニウムフィラメント上に乗せた。準備したフィラメントを質量分析計(別府大学に設置されているサーモフィッシャーサイエンティフィック社：表面電離型質量分析計 MAT262)の中にセットし、1,200℃で測定した。同一条件で標準鉛試料 NBS－SRM981 を測定し、測定結果を規格化した。

3.　分析結果と考察

30 点のガラス試料の測定結果、すべての試料は設定された東アジア産材料の領域から外れたところにある一定の直線上に分布する傾向が現れた。これは王宮里遺跡出土ガラスおよび坩堝付着のガラスは同一の材料を利用しており、この材料には二つ以上の材料を混ぜたことを意味する。

この研究の比較資料として同じ時期の遺跡である弥勒寺址出土のガラスと坩堝がある。王宮里遺跡と弥勒寺址は武王によって建てられ、これら遺跡から出土したガラスは武王時代の百済を理解することに良い資料になる。弥勒寺址出土のガラスと坩堝 21 点に関して鉛同位体比の測定を行った結果、王宮里遺跡の場合と同じように直線上に分布した。

この結果が 7 世紀に百済地域で使われた鉛ガラス原料の特徴になるかどうかにはまだわからないが、少なくともこれら遺跡が位置する益山地域から出土した鉛ガラスのほとんどは同一の原料を利用していたと考えられる。そして、百済地域出土のガラスのほとんどが直線上に分布することから、その直線の領域は百済のガラス生産と製作に関係があると考えられる。今後、百済地域出土のガラスに関するより深い研究を進め、ガラス工房の運営と役割に関する研究が行われる必要がある。今後、考古学的な研究と科学的な研究が共同で進むことで、百済地域のガラスの生産と流通が把握できることを期待する。

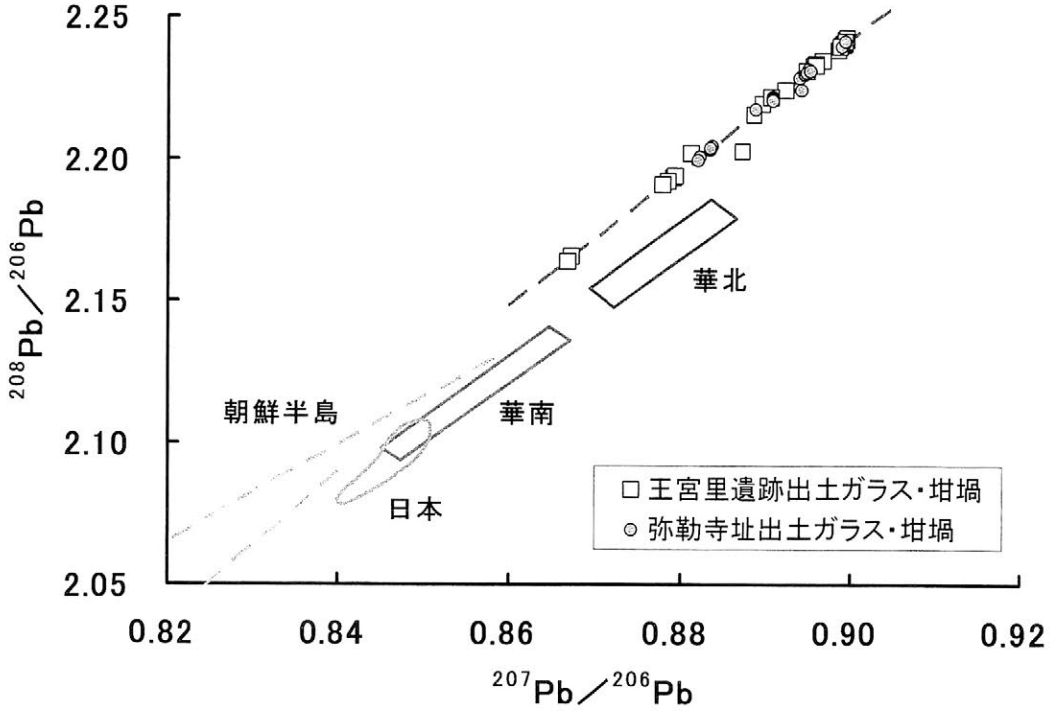


図1　王宮里遺跡・弥勒寺址出土のガラス・坩堝の鉛同位体比($^{207}Pb/^{206}Pb-^{208}Pb/^{206}Pb$)

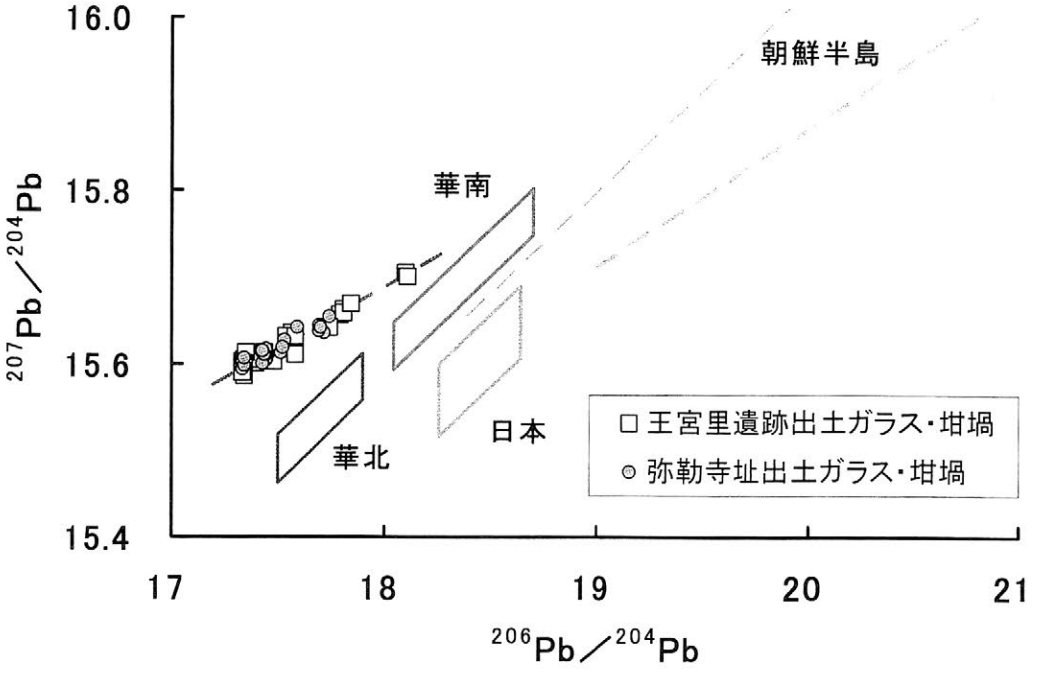


図2　王宮里遺跡・弥勒寺址出土のガラス・坩堝の鉛同位体比($^{206}Pb/^{204}Pb-^{207}Pb/^{204}Pb$)

P－73

韓国武寧王陵から出土したガラスに関する鉛同位体比調査

○魯　禔玹（ジヒョン）・平尾良光（別府大学大学院　文学研究科）・金奎虎・金那瑛（韓国、公州大学文化財保存科学科）・李允姫（韓国、国立公州博物館）・姜炯台（韓国、国立中央博物棺）

1.　はじめに

韓国の忠清南道公州市にある武寧王陵は三国時代の王陵の中で被葬者が確認できる唯一の墓で、1971 年宋山里 6 号墳の湿気除去のための排水路工事中に偶然発見された。武寧王陵は当時、中国梁(502～567)の支配階層の墓型式を模倣して築造され、中からは中国、日本、東南アジア、インドなどとの交流を示す遺物が数多く出土した。

韓国の三国時代に確認できる一般的なガラスはほとんどが青色系であることに対して、武寧王陵出土のガラスは色や形態が多様で、これは他地域出土のガラスとその生産地・原産地が異なるためであると推測されている。武寧王陵出土の遺物は東アジアと関連があることから、武寧王陵ガラスの一部は百済の対外交流から得られた交流品である可能性も考えられる。

この研究では武寧王陵から出土したガラスの中で、鉛が含まれているガラスの一部に関して鉛同位体比測定を行い、その結果から当時の交流の実体を少しでも把握しようとした。

2.　資料と測定方法

本研究では武寧王陵から出土した黄色ガラス 6 点と緑色ガラス 6 点を研究対象とした。これらに関して韓国で行った研究によると、12 点のガラスはソーダガラスであり、化学組成はそれぞれが誤差範囲内で一致していることから、使われた原料が類似である可能性が示された。

各資料から鉛同位体比測定用の試料として約 0.1 g を採取し、フッ化水素酸で分解した後、直流 2V で電気分解した。析出した二酸化鉛にリン酸とシリカゲルを加え、レニウムフィラメント上に乗せた。準備したフィラメントを質量分析計(別府大学に設置されているサーモフィッシャーサイエンティフィック社：表面電離型質量分析計 MAT262)の中にセットし、1,200℃で測定した。同一条件で標準鉛試料 NBS－SRM981 を測定し、測定結果を規格化した。

3.　分析結果と考察

12 点のガラスに関して鉛同位体比分析を行った結果、すべての試料は設定されている領域から離れたところに分布することがわかった。これらのガラスは誤差範囲内に重なって分布し、同一材料で作られた可能性が高く考えられる。ただし、誤差範囲内に分布しても、ガラスの色によって分布域が異なっており、これはガラスの微量成分あるいは着色剤による結果だと思われる。実際に 2005 年に出版された報告書によると、緑色ガラスと黄色ガラスでは化学組成に系統的な違いがあるという。

武寧王陵出土の緑色ガラスと黄色ガラスは東アジアの設定領域から離れたところに位置するため、産地推定をするのには無理があるが、武寧王陵からは東アジアと共に東南アジア、インドなどの遺物も数多く出土したことから、これらのガラスも対外交流を示している遺物の可能性がある。

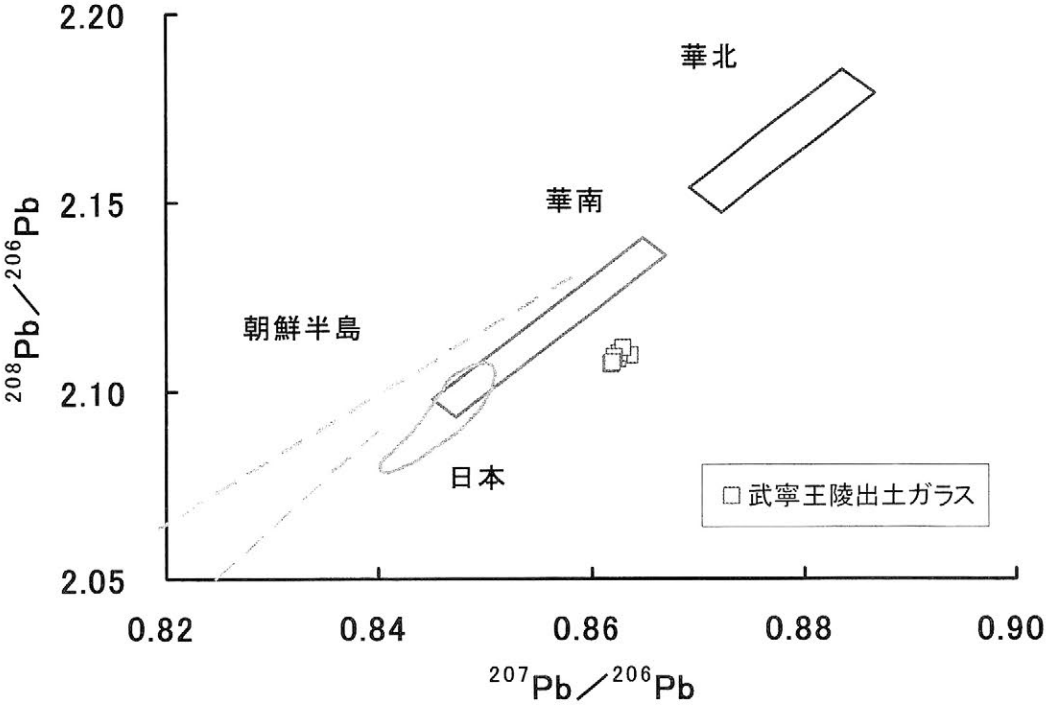


図1　韓国武寧王陵から出土したガラスの鉛同位体比($^{207}Pb/^{206}Pb-^{208}Pb/^{206}Pb$)

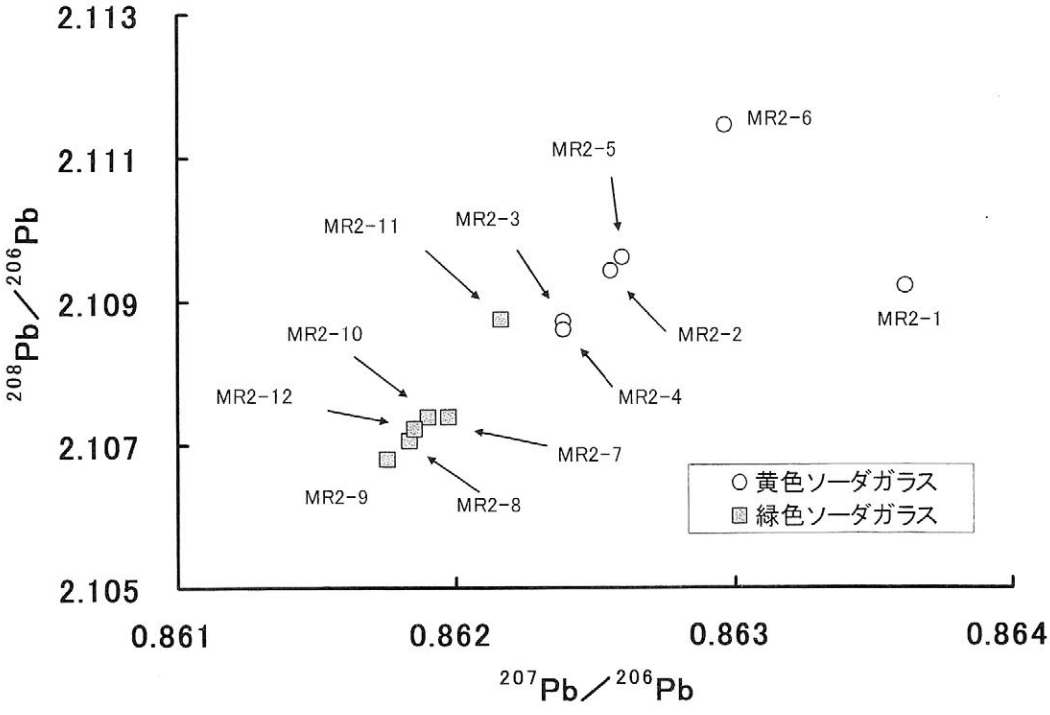


図2　図1の拡大図($^{207}Pb/^{206}Pb-^{208}Pb/^{206}Pb$)

P−74

長崎県原城跡から出土した鉛製弾丸の鉛同位体比

○西田京平※ 角元友美※※ 平尾良光※ 松本慎二※※※
※別府大学大学院 ※※別府大学 ※南島原市教育委員会

はじめに

長崎県南島原市に所在する原城は、1496 年に有馬氏によって築かれ、有馬氏が 1616 年に転封されると破却された。1637 年、島原の乱の際に一揆側が廃城となった原城に立てこもり、九州諸藩や幕府から派遣された派遣軍による包囲と攻撃で落城した。近年発掘調査が行なわれ、本資料である鉛製の弾丸やキリスト教関係の金属製品、陶磁器類など様々な遺物が出土している。この時代は、徳川幕府が鎖国体制を成立させる過程にあり、鉛材料の産地と流通に影響があったと考えられる。それらの影響について鉛同位体比法による産地推定から考える。

測定方法

資料から微量の錆を採取し、測定用のサンプルとした。採取したサンプルを石英製のビーカーに入れ、硝酸を加えて溶解した。この溶液を白金電極を用いて直流 2V で電気分解し、鉛を二酸化鉛として陽極に集めた。集めた鉛を硝酸と過酸化水素水で溶解させ鉛溶液とした。鉛溶液から 0.2μg の鉛を取り出し、リン酸シリカゲル法でレニウムフィラメント上に塗布し、別府大学に設置されている表面電離型質量分析計 MAT-262 に装着した。測定条件を、昇温時間 20 分でフィラメントの温度を 1200℃に到達させ、鉛同位体比を測定した。得られた測定値を、同一条件で測定した標準鉛 NBS-SRM-981 で規格化し測定値とした。

結果と考察

測定結果と他の鉄砲玉資料の鉛同位体比をプロットし、図1と図2に示した。他の鉄砲玉資料とは、群馬県、福井県、奈良県、熊本県から出土した鉄砲玉と、以前に測定された原城跡出土の鉛製弾丸である。図によると、原城跡出土資料は、日本、華南、朝鮮半島、N 領域に広く分布している。特に、日本領域とN領域に大半の資料が分布した。他に、朝鮮半島領域や、日本の神岡鉱山が分布する部分に分布した資料も数点みられた。この分布は他の鉄砲玉資料にも見られる傾向である。

日本領域に分布した資料のうち 24 点の資料が密集して分布した。この鉛同位体比は宮崎県土呂久、兵庫県明述鉱山の鉛同位体比と近い。いずれかの鉛材料を使用したと推測されるが、包囲には主に九州の諸大名が参加していることから、宮崎県土呂久の材料を使用した可能性がある。N領域はインド・東南アジア由来のガラス資料が分布する事から、それら地域との関係が考えられている。原城跡出土鉛製弾丸がN領域に分布した割合は、他地域から出土した鉄砲玉がN領域に分布した割合に比して減少したように判断される。

幕府による鎖国政策により海外（特にインド・東南アジアを中心とした南蛮）貿易が難しくなり、鉛材料の流通についても影響を与えた事が鉛同位体比法による産地推定から伺えた。今後、より多くの資料の分析が行なわれ、当時の鉛材料の産地と流通について文化財科学の視点から研究が進む事を期待したい。

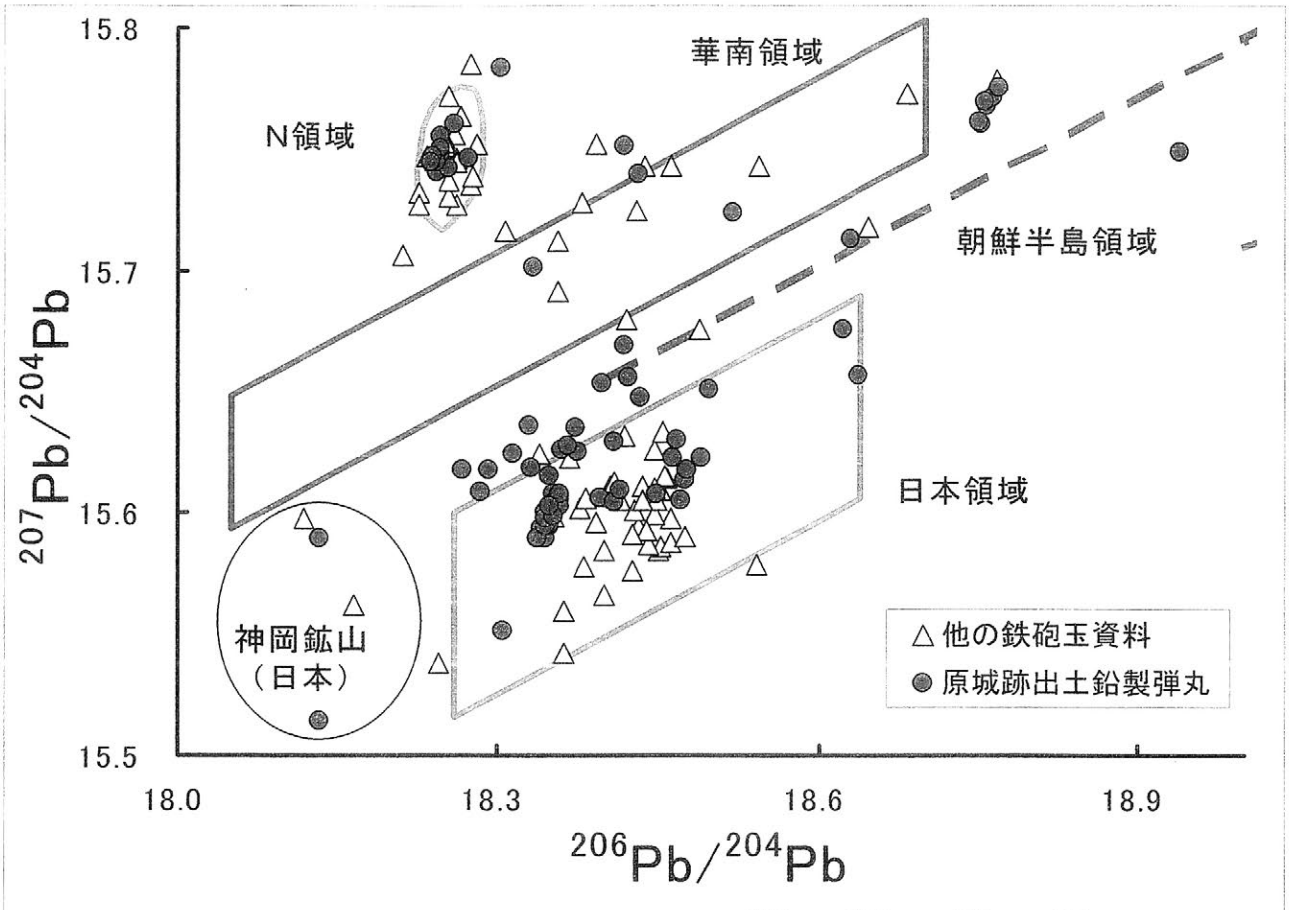


図1．原城跡出土鉛製弾丸の鉛同位体比（$^{206}Pb/^{204}Pb$・$^{207}Pb/^{204}Pb$）

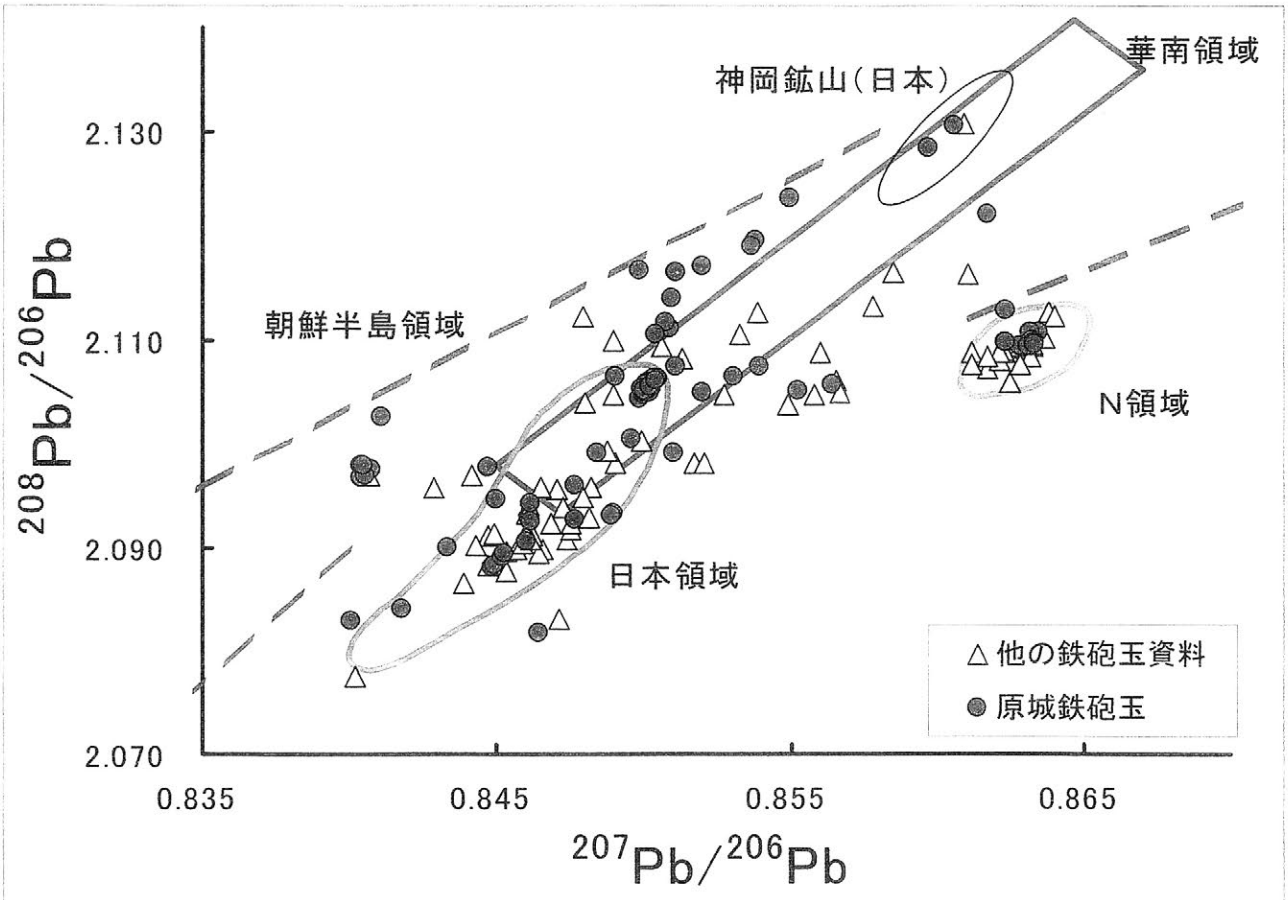


図2．原城跡出土鉛製弾丸の鉛同位体比（$^{207}Pb/^{206}Pb$・$^{208}Pb/^{206}Pb$）

P−75

カンボジア王国プンスナイ遺跡から出土した青銅器に関する鉛同位体比

○角川茂、平尾良光(別府大学大学院)、宮塚義人(宮塚文化財研究所)
安田喜憲(国際日本文化研究センター)

1. はじめに

カンボジア王国プンスナイ遺跡(AD1～4世紀)はカンボジア北西部に位置する。丘陵の周囲には環濠の跡があり、大きな集落であったと推定されている。これらの遺跡から多数の墓が検出され、大量の青銅器やガラスビーズ等が出土した。これら資料に関して鉛同位体比法を用いて、青銅材料の産地を推定した。本発表で報告する資料は青銅器 68 点、ガラスビーズ等 12 点である。分析した青銅器が検出された人骨は4体である。

東南アジア地域の文化は中国やインド南部など様々な地域の影響を受けたといわれている。本研究において、青銅材料の産地を推定することで周辺地域とのつながりを考える一つの視点となりうると思われる。

2. 鉛同位体比の測定

各資料から錆を微量採取し、試料とした。採取した試料から鉛を分離・精製し、本学に設置されているサーモフィッシャーサイエンティフィック社製の表面電離型質量分析計 MAT262 にて測定した。

測定値は同一条件で測定した標準鉛 NBS-SRM-981 で規格化し、測定値とした。

3. 結果と考察

測定された鉛同位体比を図1、2に示した。図から本測定資料の大半に中国華南産材料が用いられていた。一部資料にはN領域産の材料が用いられていた。AD1～4世紀頃のカンボジア地域が中国華南の影響を強く受けていたことを示唆する。また、N領域の材料は東南アジア産の材料である可能性を示唆している。

検出された4体の人骨にはそれぞれの腕に多数の青銅製腕輪が装着されていた。これらの腕輪をいくつか測定した。鉛同位体比の結果、一人の腕に装着されている腕輪にはすべて同じ材料が用いられていることがわかった。

出土人骨の一部には青銅製頭部装飾品と青銅製腕輪とではそれぞれ材料産地が異なっており、これと同時に埋葬された次の一体の両腕輪は前者とは異なる材料で作られていた。材料産地の違う腕輪がきちんと分けられているのには特別な意味があったのではないかと思わせる。これは腕輪の製作がランダムに行われていたのではなく、ある程度管理されて製作された可能性を示唆する。ただし、材料で、あるいは製品で管理したのかは判断できない。

青銅器に付着していたガラスビーズ等は付着していた青銅器とは異なる分布を示した。これは同時期に埋納された青銅器、ガラスビーズ等に用いられた材料は異なることを示唆しているため、青銅器とガラスビーズ等では用いられた材料の主な産地は異なると判断した。

今回の分析の結果から紀元前後のカンボジア地域と周辺地域とのつながりを示す結果が得られたことは東南アジアの考古学、歴史学に一つの事実をもたらし、今後、東南アジアの歴史を解明していく一つの手がかりとなるであろう。

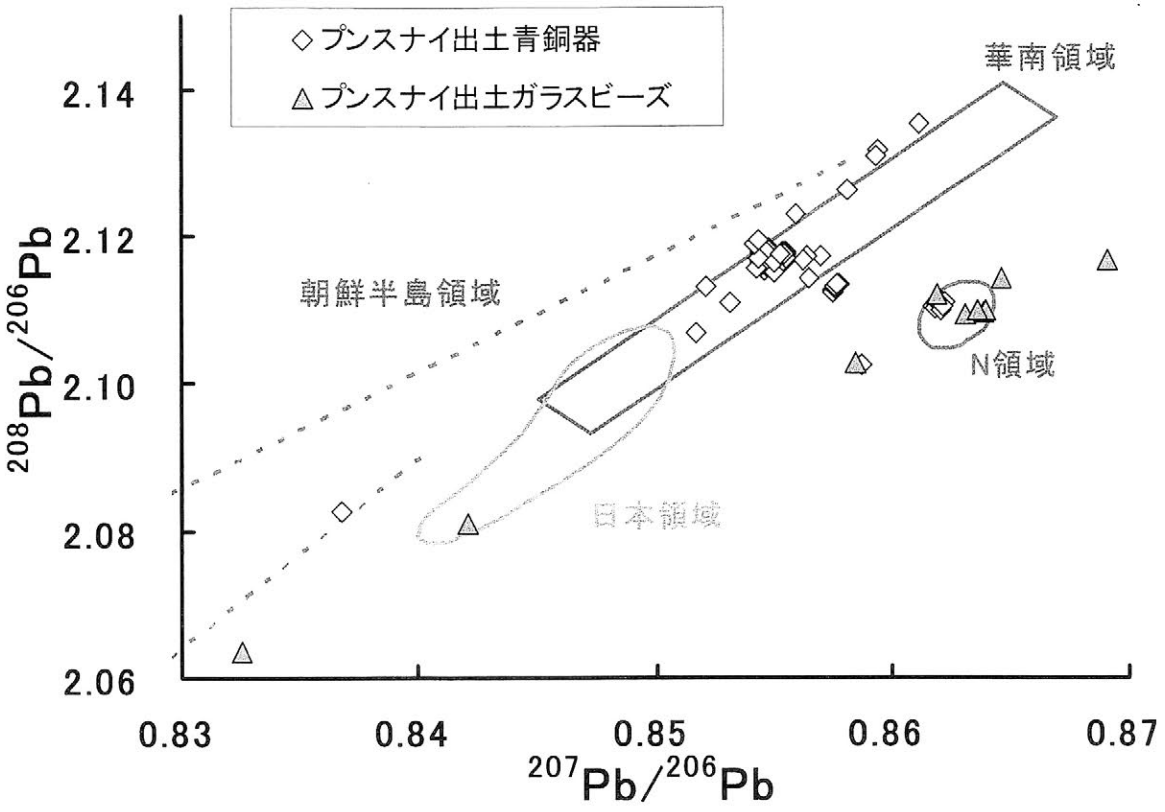


図1　カンボジア王国プンスナイ遺跡出土青銅器・ガラス等が示す鉛同位体比

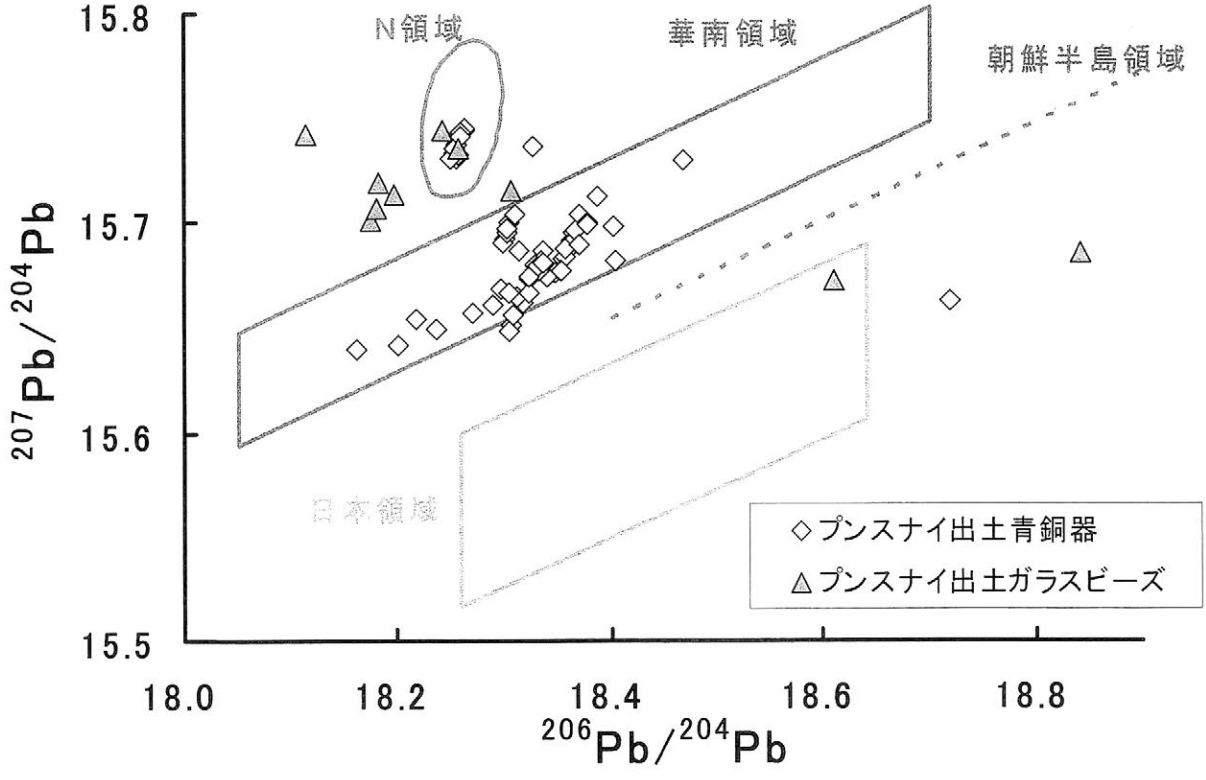


図2　カンボジア王国プンスナイ遺跡出土青銅器・ガラス等が示す鉛同位体比

P−76

石器・玉類の原材産地分析（２４）

○藁科哲男（遺物材料研究所）・丹羽祐一（香川大学）
出原恵三（高知県埋蔵文化財センター）
中村大介（高麗大學校考古環境研究所）

はじめに

産地分析では『遺物原材とある産地の原石が一致し、必要条件を満たしても、岩石学では他の産地の原石に一致しないと言う理論がないため、他の産地に一致する可能性が残っているから、一致した産地のものと言い切れない。しかし、一致しなかった場合そこの産地のものでないと言い切れ、一致しなかった産地との交流がなかったと言い切れる。』を大原則としている。一致しなかった結果でも、考古学資料として非常に有用と思われる。

香川県金山産地の産出地点別サヌカイト原石の組成分類について

金山産地にはゴローと呼ばれているサヌカイト破片の集積地点が何カ所か存在している。これらゴローの破片観察から加工痕を持つ剥片、石器を調査すると同時に蛍光Ｘ線分析法で組成分析を行った。金山西部地区のサヌカイト原石で、金山西群を作り、この原石群は城山産地サヌカイト原石と組成は近似し区別できない。また、東部地区のサヌカイト原石で、金山東群を作っている。今回分析した金山東麓南部地区採取の原石・遺物のサヌカイト原石・遺物１２個の K/Ca、Ti/K、Mn/Sr、Fe/Sr、Rb/Sr、Y/Sr、Zr/Sr、Nb/Sr の従来元素比によるホテリングのＴ２乗検定で、調査を終えた 179 個の原石群・遺物群と比較した結果、金山東群、金山東南群、松ノ木遺物群、城山などに信頼限界の 0.1% 以上の確率で同定される遺物が多数あり、これら同じ複数の群に同定された原石・遺物をさらに詳細に特定するために、表１に示すように新元素比の K/Ca、Ca/K、Ti/K、Rb/Fe、Fe/Zr、Sr/Zr、Sr/Zr、Si/Fe でホテリングのＴ２乗検定を行うと、分析番号 99839、99841 ～ 99843、99845 ～ 99847、99849 番は金山東南群に、99844 番は金山東群にのみ同定された。また分析番号 99838、99840、99848 番は金山東南群に高確率で同定され、同じに低確率で金山東群に同定されるが、その差は３０倍以上離れているため金山東南産と判定した。この研究は、平成１９年度科学研究費基盤研究（Ｂ）「香川県金山産サヌカイト製石

表1　金山 東麓南部地区採取原石・遺物の産地分析結果

分析番号	層位	従来元素比によるホテリングのT2乗検定（確率）	新元素比によるホテリングのT2乗検定（確率）	判定
99838	4石目層	金山東(99%),金山東南(78%),松ノ木遺物群(1%),城山(0.1%)	金山東南(75%),金山東(0.1%)	金山東南
99839	4石目層	金山東南(80%),金山東(59%),城山(16%),松ノ木遺物群(0.2%)	金山東南(78%)	金山東南
99840	3石目層	金山東(93%),金山東南(19%)	金山東南(47%),金山東(1%)	金山東南
99841	3石目層	金山東(61%),金山東南(1%),松ノ木遺物群(0.3%)	金山東南(31%)	金山東南
99842	3石目層	金山東(72%),金山東南(5%),松ノ木遺物群(1%),城山(0.2%)	金山東南(31%)	金山東南
99843	8石目層	金山東(99.5%),金山東南(80%),城山(0.5%),松ノ木遺物群(1%)	金山西(45%)	金山東南
99844	8石目層	金山東(94%),金山東南(58%),城山(2%),金山西(0.8%)	金山東(25%)	金山東
99845	8石目層	金山東(89%),金山東南(85%),城山(0.9%),松ノ木遺物群(0.4%)	金山東南(44%)	金山東南
99846	12石目層	金山東(99%),金山東南(66%),城山(0.1%),松ノ木遺物群(0.4%)	金山東南(73%)	金山東南
99847	12石目層	金山東(99%),金山東南(65%),松ノ木遺物群(2%)	金山東南(16%)	金山東南
99848	10石目層	金山東(92%),金山東南(81%),城山(0.2%),松ノ木遺物群(0.7%)	金山東南(35%),金山東(0.9%)	金山東南
99849	1石目層	金山東(96%),金山東南(90%),城山(1%),松ノ木遺物群(0.4%)	金山東南(50%)	金山東南

器の広域流通システムの復元と先史経済の特質の検討」(研究代表丹羽佑一)の成果である。

韓半島遺跡出土玉類の産地分析

韓半島、比來洞、黄石里、麻田里、寛倉里、大泉洞、大鳳洞、時至洞の各遺跡から出土した管玉の合計１６３個の中で、日本国内で使用されている未定Ｃ遺物群の管玉と同じ元素比組成のものは、７９％（128 個）で、未定Ｃ遺物群が韓国で多用されている。

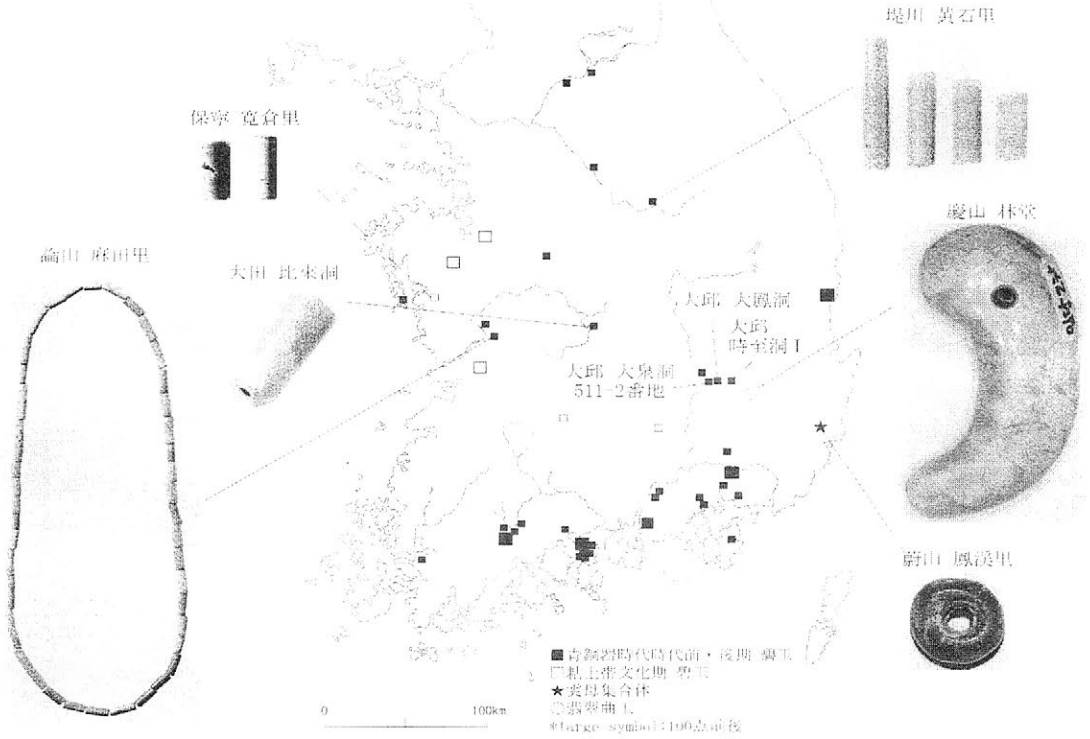


図１　韓半島調査遺跡及び碧玉製管玉・ヒスイ製勾玉・結晶片岩様緑色岩（fuchsite）製丸玉の分布

日本では、未定Ｃ遺物群に一致する剥片は見られず管玉の製品のみで、朝日遺跡で孔の開いていない管玉が１個出土しているが、剥片は見られなかった。韓半島内で未定Ｃ遺物群が多量に使用されているこのことから、未定Ｃ遺物群の管玉製品が日本に伝播していると推測しても産地分析の結果と矛盾しない。また、この未定Ｃ遺物群の使用量の多さからみても、原石産地が韓半島の何処かに存在する可能性が高いと思われる。慶州出土の三国時代の碧玉製勾玉は、花仙山碧玉産地周辺の遺跡で使用されている花仙山遺物群と同定されたことから、日本から韓半島に伝播したと推測した。また、高知県南国市田村遺跡出土の弥生前期最古の管玉は未定Ｃ遺物群でＥＳＲ分析は菜畑形で、また、土坑(SK6)の管玉のＥＳＲ分析が紫金山形（古墳初期）である例は弥生時代前期最古では初めてである。慶北大學校博物館所蔵および林堂遺跡のヒスイ製勾玉は糸魚川製ヒスイが使用されている可能性が非常に高い。また、鳳溪里遺跡出土丸玉は九州南部の玉作遺跡で使用されている俗称、結晶片岩様緑色岩(fuchsite)であった。また、高知県土佐市上ノ村遺跡の縄文時代晩期勾玉も結晶片岩様緑色岩(fuchsite)であった。

参考文献

李弘鍾、朴淳發、朴天秀、朴升圭、李在煥、金大煥、藁科哲男、中村大介、「韓半島における玉類の理化學的分析と流通」第17回湖西考古學會学術大会発表要旨、96-137(2008.4.26)

P－77

蛍光X線分析による産地推定における遠隔産地、不明産地の黒曜石について

○成島　優、　　望月　明彦　　沼津工業高等専門学校応用物質工学専攻

1）はじめに

本研究室では、エネルギー分散型蛍光X線分析により日本全国の黒曜石産地の原石を測定し、原石のデータベースを作成し、遺跡から出土する黒曜石の測定データをデータベースと比較することにより、黒曜石の産地推定を行ってきた。本研究室では、遺跡から出土する黒曜石を測定が可能な限り、測定する全点分析を基本としてきた。分析した試料数は膨大であり、場合によっては 1 遺跡で 8000 を越える測定を行った。その成果として、遺跡内における各産地黒曜石の遺跡内における分布状況、文化層による産地組成の違いなど、わずかの試料を抽出する従来の産地推定では得られない情報を得ることができた。全点分析の一つの成果として、試料中にはわずかの数しか含まれないであろうことが予想される遺跡から遠く離れた遠隔産地の黒曜石が確認されていることが挙げられる。また、遺跡から出土する黒曜石の産地はほとんどが既知の産地のものであるが、時に、産地のわからない黒曜石が検出されることもある。ここでは、これら、遠隔産地、不明産地についてまとめて報告する。

2）分析法と産地推定法

測定結果より各元素の蛍光X線強度から次のような産地推定のための指標を計算する。判別図法ではZr分率を除く指標を用いてグラフ化する。

※判別図指標：※A＝(Rb 強度+Sr 強度+Y 強度+Zr 強度)とする。

Rb 分率＝Rb 強度×100/A　　Sr 分率＝Sr 強度×100/A　　Zr 分率＝Zr 強度×100/A

Mn 強度×100/Fe 強度　　Log(Fe 強度／K 強度)

また、これらすべての指標を用いて判別分析により判別群とのマハラノビス距離と帰属確率を産出し、判別図と併用することによって最終的に産地を推定した。しかし、判別分析では、不明産地の場合も既知のいずれかの産地を判別してしまうことが問題点である。従って不明産地の場合は、判別図とマハラノビス距離によって不明産地と判断した。

3）遠隔産地、不明産地について

遠隔産地とは通常その遺跡に搬入される比較的近隣の黒曜石産地以外の黒曜石産地をさすが、明確な定義はない。長野などの大きな産地はその広がりが広く、規模の小さな産地はその産地近くの出土にとどまることが多い。従って、小さな産地の場合は大きな産地に比べ、距離が近くても遠隔産地とする場合もある。不明産地は、現在の原石データベースにない産地ということで、定義ははっきりしている。これからの原石産地調査で明らかになることも考えられる。同じエリア内の産地組成は類似する場合が多いので、産地エリアを推測できる不明産地も存在する。

4）遺跡から出土した遠隔産地

①　長野県矢出川遺跡：神津島…細石刃 891 点中 236 点、細石刃核 449 点中 157 点が神津島産であった。近くに長野県の大産地が存在する中で注目される結果である。矢出川遺跡群、または近隣の遺跡からは畑宿、天城の黒曜石も検出されている。

②　長野県野尻湖遺跡群：1 万点を超える多数の遺物のうち、わずかに 16 点のみが遠隔産地のものであった。深浦、男鹿、木造、神津島、高原山。東北の黒曜石中には製作技法も東北的なものが見られる。

③　茨城県内遺跡：茨城県は高原山をのぞいてほとんどが遠隔産地の黒曜石である。和田、諏訪、蓼科、男鹿、箱根、北上川産黒曜石。細石刃の時期に東北の黒曜石が見られる。

④　静岡県内遺跡：高原山の黒曜石が第2東名遺跡群や三島市山中城三の丸遺跡から検出されている。

5)　遺跡から出土した不明産地

図中の◆が不明産地を示す。

①　長野県野辺山：数箇所の遺跡からNK群が出土している。NK群は静岡県第2東名遺跡群からも少数が検出されている。

②　山梨県丘の公園：249点中NK群29点、XO群92点。NK群と類似している。

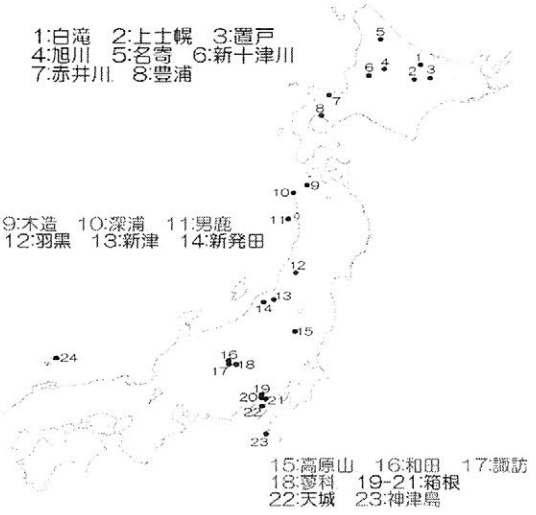


図1　黒曜石産地分布図

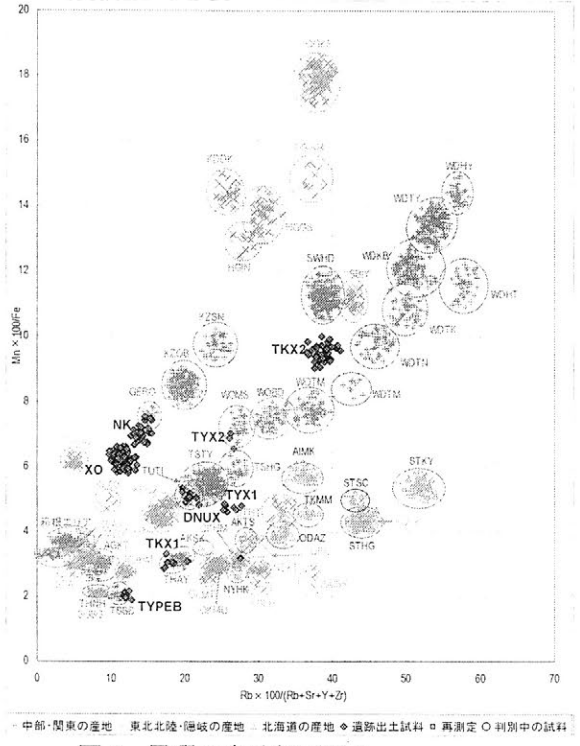


図2　黒曜石産地判別図1

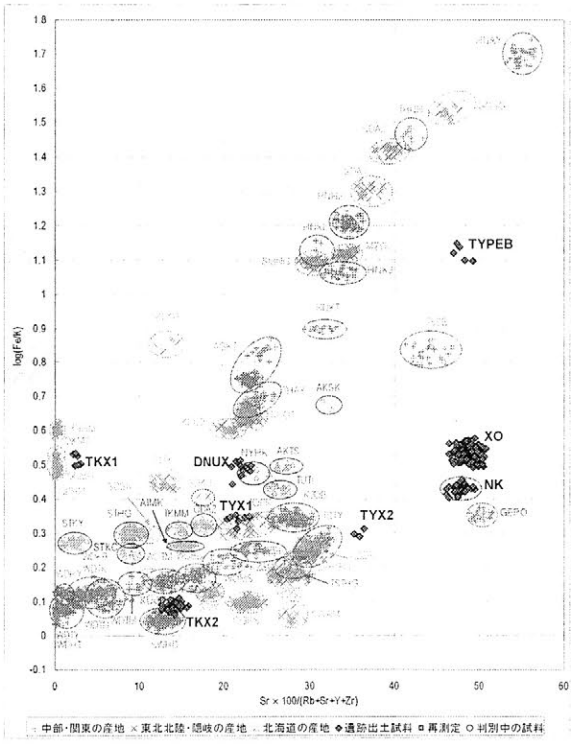


図3　黒曜石産地判別図2

③　月見野遺跡：TKX1群、TKX2群。TKX2群はプロット位置、蛍光X線プロファイルともに諏訪と類似している。

④　富山県開ヶ丘中山Ⅲ：TYX1群、TYX2群。TYX1群は魚津エリアと類似。

⑤　三重県多度町：TYPEBとした1群。近くの本川遺跡からも出土。

⑥　山形県台ノ上：DUNX群。米沢市赤浜の産地原石を入手したが、異なる。北上川エリアは産地図中に位置が示されていないが、DUNX群は北上川エリアのKK02群と類似する。

⑦　その他、山形県高瀬山、静岡県京見塚などでも不明産地の黒曜石が出土している。

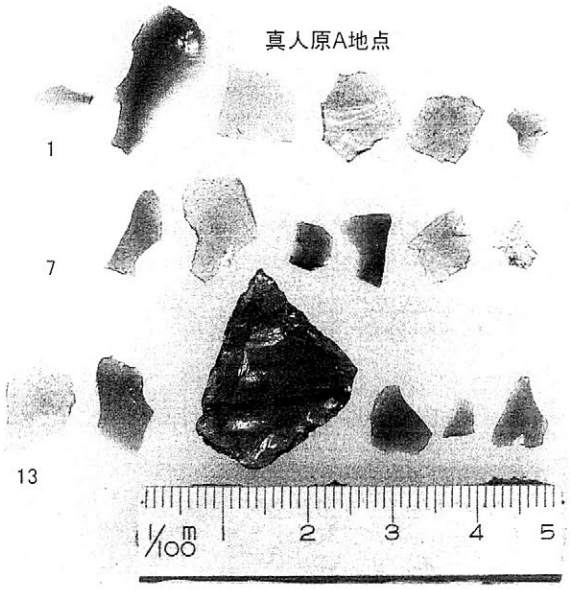
不明産地の黒曜石はNK群を除いて、ほとんどが単独の遺跡、または、ごく限られた地域での検出である。詳細を明らかにするにはさらに多くの検出例が必要である。

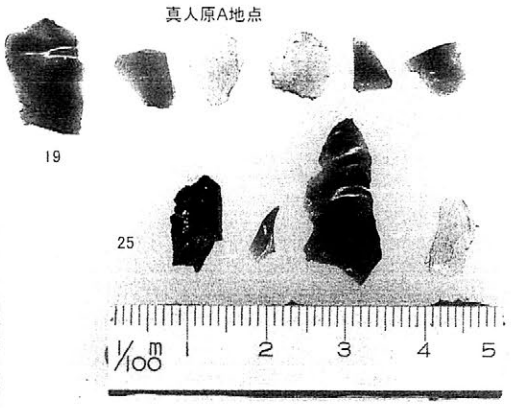
新潟県小千谷市真人原遺跡出土黒曜石の産地推定

○梧桐　翔大、　　望月　明彦　　沼津工業高等専門学校応用物質工学専攻

1　はじめに

真人原遺跡は新潟県小千谷市真人原町にあり、信濃川中流域の左岸の河岸段丘上に位置し、海抜標高は144mである。1991年の予備調査以来、首都大学東京考古学研究室によって発掘調査が継続されている。後期旧石器時代後半期に位置付けられ、ナイフ形石器群よりも新しく細石刃石器群よりも古い尖頭器石器群である。テフラとの層位的な関係から、約15,000～14,000年前頃の遺跡と推定される。予備調査、A, B, C地点の調査報告書は刊行済みで、昨年度新たにD地点の調査（16次）が開始された。A, C, D各地点から出土した黒曜石を蛍光X線分析により産地推定を行い、地点による産地組成の違いを検討した。





2　産地推定法

遺跡から出土した黒曜石を蛍光X線分析により測定を行った。11元素(Al、Si、K、Ca、Ti、Mn、Fe、Rb、Sr、Y、Zr)の蛍光X線強度から次のような指標を算出し、判別図法と判別分析により産地推定を行った。

A=(Rb強度＋Sr強度＋Y強度＋Zr強度)としたとき

Rb分率＝Rb強度×100/A

Mn/Fe＝Mn強度×100/Fe強度

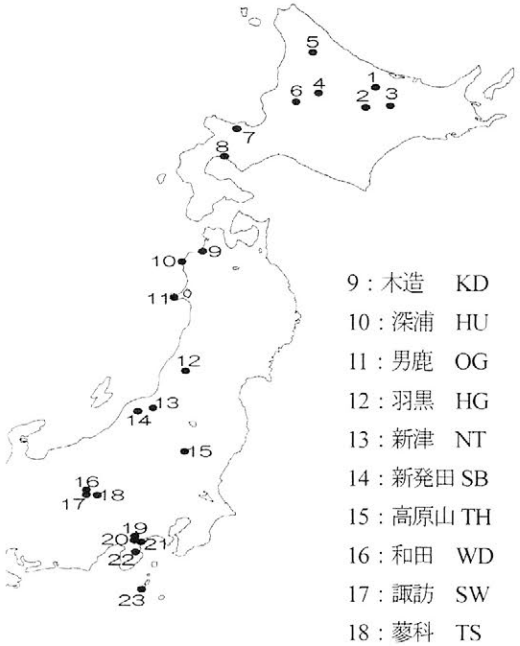
Sr分率＝Sr強度×100/A

Zr分率＝Zr強度×100/A

log(Fe/K)

3　産地推定結果

表1に真人原遺跡各地点の産地推定結果を示す。図2と図3で＋のプロットは中部・関東地方の黒曜石産地、×のプロットは東北・北陸・隠岐の産地、△のプロットは北海道の産地、◆のプロットは真人



9：木造　KD
10：深浦　HU
11：男鹿　OG
12：羽黒　HG
13：新津　NT
14：新発田 SB
15：高原山 TH
16：和田　WD
17：諏訪　SW
18：蓼科　TS

図1　黒曜石産地分布図

原A, C, D各地点のプロットを示している。

表1　真人原遺跡の黒曜石産地推定結果

エリア	判別群	記号	A地点	C地点	D地点
和田	芙蓉ライト	WDHY	-	3	3
	鷹山	WDTY	-	1	3
諏訪	星ヶ台	SWHD	-	2	2
蓼科	冷山	TSTY	1	-	-
深浦	八森山	HUHM	15	-	-
木造	出来島	KDDK	-	-	-
男鹿	金ヶ崎	OGKS	9	-	-
	脇本	OGWM	-	-	-
合計			25	6	8
不可など			4	1	0
総計			29	7	8

この判別図と判別分析の結果から、C地点とD地点では予測どおり長野県の和田エリア、諏訪エリアの黒曜石のみが検出された。しかし、A地点では1点の蓼科エリアを除いてすべてが東北の黒曜石であり、予測とは異なる結果であった。

4　考察

C地点、D地点で和田エリア、諏訪エリアの黒曜石が検出されたことはこれらの産地が比較的近く、大きな産地であることから予測されたことである。A地点では、C地点出土の石器と接合関係があり、A地点でも当然長野県の産地が予測されたが、結果は青森の深浦エリア、秋田の男鹿エリアの黒曜石が主体となるという結果となった。A地点では、尖頭器、ナイフ形石器、彫器などが出土しているが、黒曜石では蓼科エリアと確認された尖頭器以外は、すべて砕片、剥片である。他の石器群との関連について検討する必要がある。

真人原遺跡は信濃川中流域にあるが、信濃川をさかのぼった千曲川流域の野尻湖遺跡群からも東北の黒曜石が検出されている。
深浦：　大久保南、貫ノ木、日向林A
男鹿：上ノ原、東浦、日向林A
木造：大平B

新潟県の旧石器時代遺跡へ搬入された東北の黒曜石産地は海岸沿いのものが多く、出土する遺跡は信濃川沿いで検出されている。船などによる運搬の可能性があるのかもしれない。

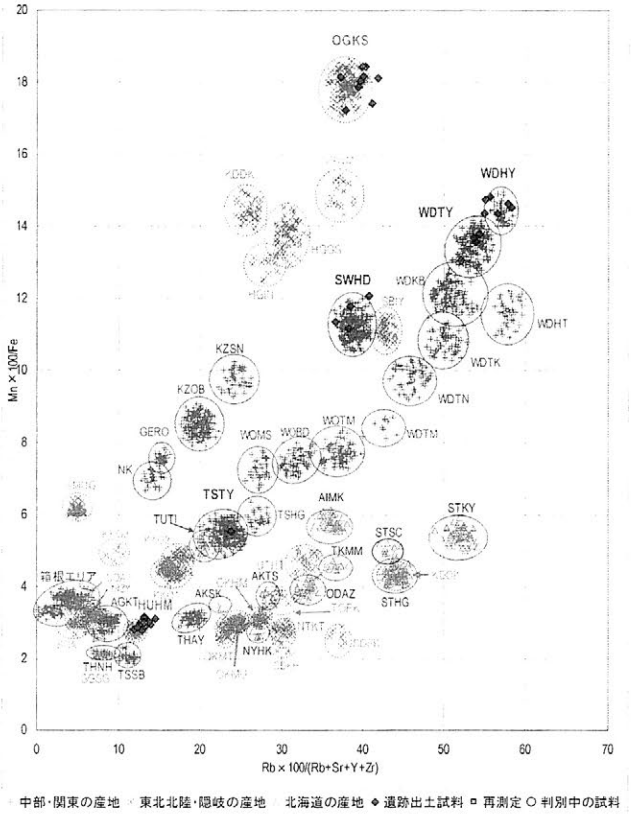


図2　真人原遺跡出土黒曜石判別図1

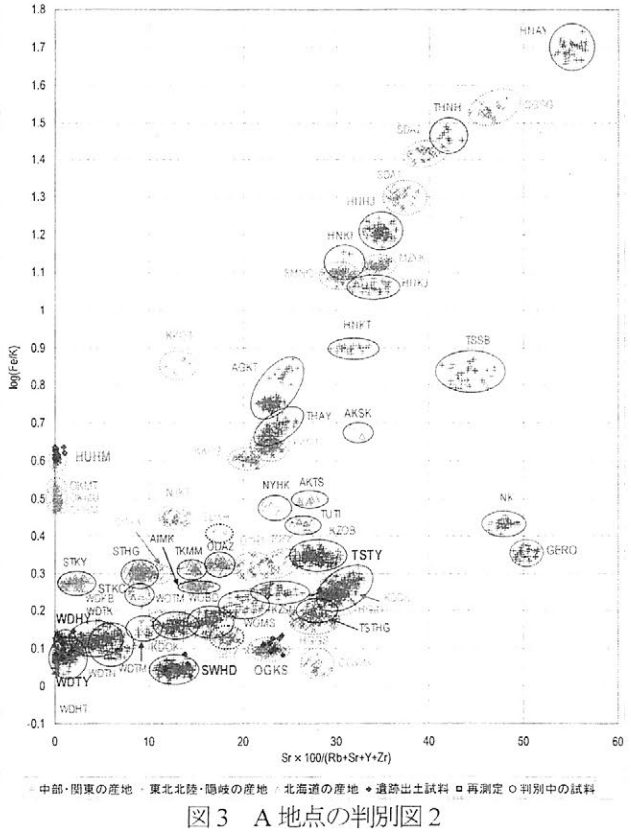


図3　A地点の判別図2

P−79

霧島火山北麓の縄文遺跡出土黒曜石の産地同定

○高橋　豊（富士常葉大学環境防災研究所）

はじめに

黒曜石石器の原石産地同定に当たっては、石器のもつ特性を損なわないように、非破壊で、エネルギー分散型蛍光X線分析装置等による、半定量化学組成分析を行ってきた。この測定で得たX線強度は、分析装置ごとに変化し、また、黒曜石試料の表面の形状・厚み、大きさや、試料表層の風化の程度などに左右される。遺物表面に水和層が発達し、風化が進んでいる場合などは、原石群の持つ化学組成からのずれが大きい。本文では、分析値の比較、判別には、従来用いてきた原石試料の非破壊定性分析値に対する定量分析値の裏づけがいかに必要かを検討した。

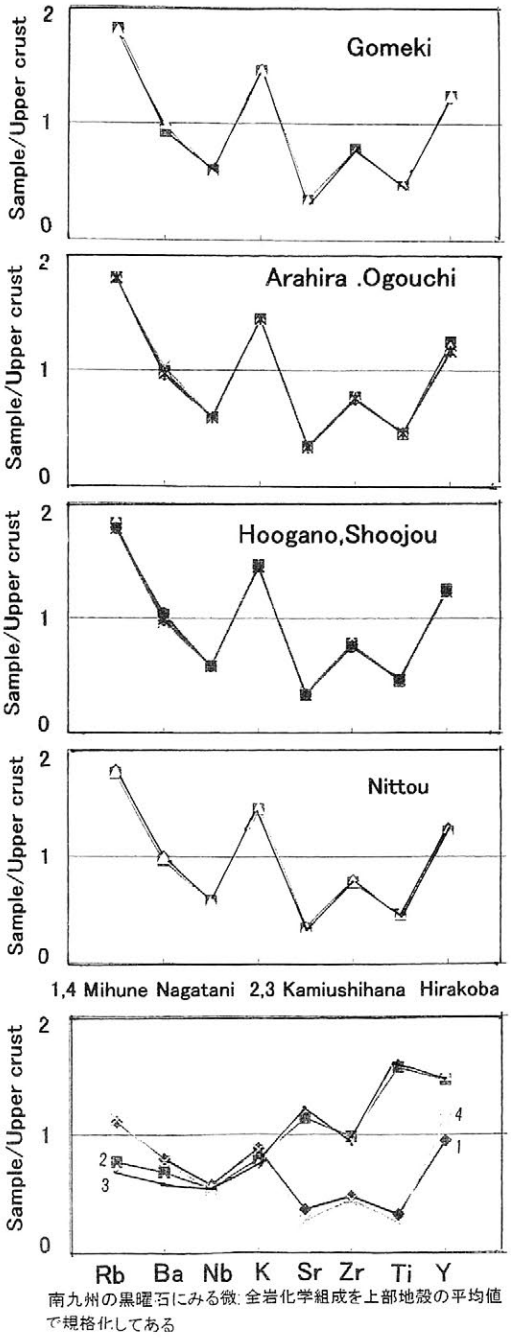
分析方法

分析方法, 波長分散型蛍光X線分析（XRF）方法は佐野（2001）に従った。まず、粉末試料および融剤（四ほう酸リチウム：和光純薬工業、無水、タイプII、蛍光X線分析用）を110℃のオーブン内で12時間乾燥させた後デシケーターの中でそれぞれ室温になるまで冷ました。次ぎに粉末試料0.8000(±0.0004) gに対して融剤4.000((±0.0004)gを加え、めのう乳鉢の中で均質になるまで混合した。これを東京科学製CS-2 型白金るつぼに入れ同社製ビードサンプラー装置TK- 4200型を用いて1100℃の温度で直径30mmのガラス円盤を作製した。その際、るつぼからのガラス円盤の剥離を容易にするために、ヨウ化リチウム水溶液（ヨウ化リチウム0.4g に対して水10g）をI滴（約10mg)加えた。このガラス円盤をXRF （株式会社リガク製RIX2100)にかけ安山岩質サヌキトイド主成分組成(Si, Ti,Al,Fe,Mn,Mg,Ca, Na, K, P ）および微量成分組成（ Rb,Ba,Nb,Sr,Zr, Y,Cr ,Ni, V）を決定した。

結果

南九州の黒曜石原石産地、A「桑ノ木津留。白浜、上青木」、B「 五女木、荒平、小川内、芳ケ野、猩猩、日東」、C「三船,大根占長谷」とD「平木場、上牛鼻」の黒曜石原石について分析した。

図2は全岩化学組成を上部地殻の平均値を((Wedepohl 1995)で規格化した組成を、地域ごとに分けて示したものである。規格化に上部地殻の平均組成を用いた理由は、島孤に産出する流紋岩は上部地殻が溶けたものであると主張されているからである(Huppert &



南九州の黒曜石にみる微: 全岩化学組成を上部地殻の平均値で規格化してある

Sparks 1988)..。

図１より、原石産地Ａ、Ｂに属する各地原石の規格化組成は互いに同じで、原石産地Ｃ、及びＤに属する各地原石の規格化組成は互いに近似することがわかる。

議論

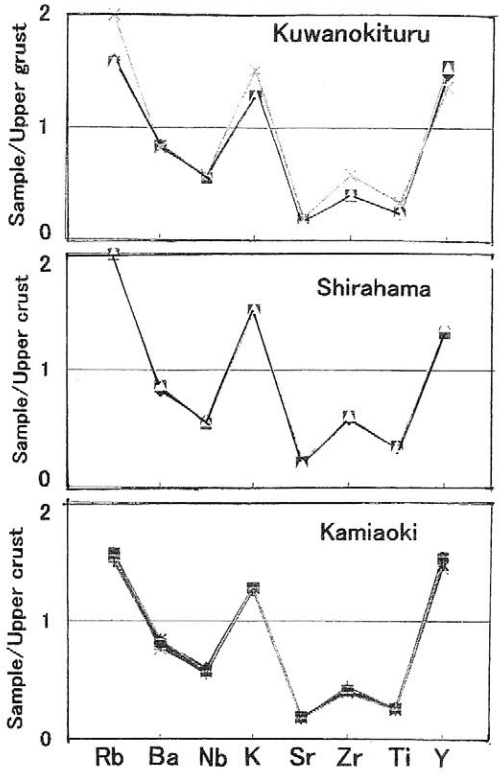
原石産地A,B, C,Dに属する各地の黒曜石はRb,K,Yに富み、Ba,Sr,Tiに枯渇している。

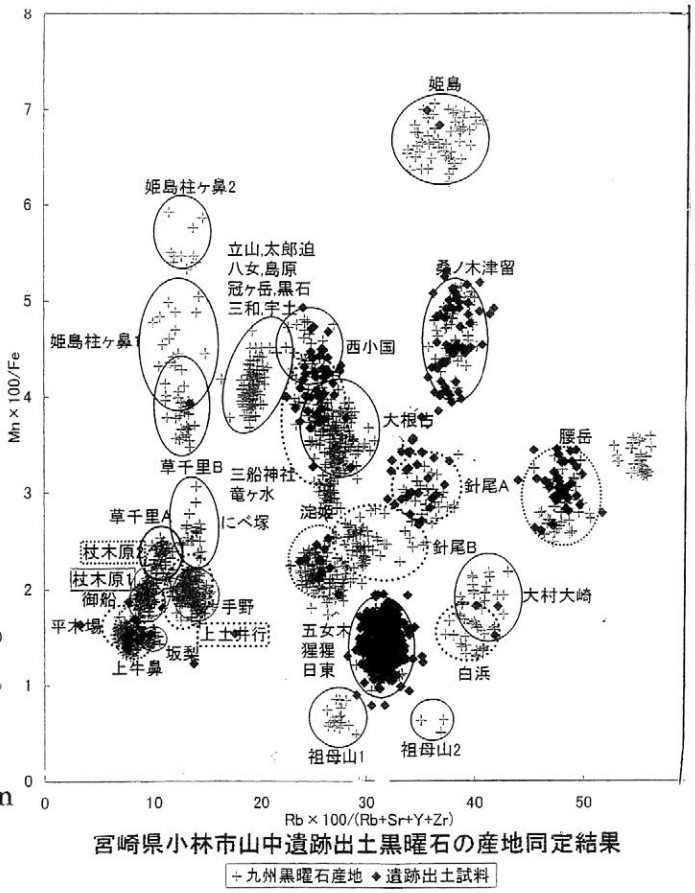
マグマの化学組成を変化させる機構の中で最も重要なものは溶融作用及び分別結晶作用である。

マグマ溜りで分別結晶作用が起こった後のマグマ組成は、分別結晶作用が起こった前のマグマ組成とは異なる。

これらの機構がおこる際、Rb,Ba,Nbの３元素はどれも鉱物を構成することはなく溶融作用及び分別結晶作用が起こると、３元素は同じようにマグマに濃集する。従ってこれら３元素の比を取れば溶融作用および分別結晶作用の効果を取り除いた議論が可能となる。つまり、マグマが溶ける前の物質、マグマソースの化学組成条件をみることができる。またSr,Zr、YはRb,Ba,Nbとは異なり、わずかに鉱物を構成するものの、マグマと鉱物が共存した際の鉱物への濃集の割合はほぼ同じであるため、これらの比を取ることによっても、マグマソースの化学組成条件を見積もることができる。

この点については別図を示し、霧島火山北麓の小林市の山中遺跡（縄文後期）の遺跡断面にみる「アカホヤAh」より少し上位の層準から出土した黒曜石の産地同定に用いた「判別図」の一部加え議論する。





宮崎県小林市山中遺跡出土黒曜石の産地同定結果

＋九州黒曜石産地 ◆遺跡出土試料

謝辞

富士常葉大學の嶋野岳人氏には、波長分散型蛍光Ｘ線分析（XRF）機器の操作、測定方法につて教授いただいた。感謝申し上げる。

引用文献

Wedepohl,K.H.(1995) The composition of the continental crust, Geochim Cosmochim. Acta 59, 7,1271-1232.

P－80

黒曜石水和層の産地間比較

○渡辺圭太[1]，比屋根肇[2]，鈴木正男[1]
[1]立教大学，[2]東京大学

１．はじめに

黒曜石は，遺跡で石器を製作するときに破砕された表面から水が内部に拡散して，埋存期間（地質または遺跡の年代）・地温・湿度等に応じた厚さの水和層が形成される。従来は，水和によって屈折率が変化することを利用して，光学顕微鏡で，屈折率の異なるガラス質の境界面に生じるベッケ線を指標として水和層の厚さを測定してきた。しかし，光学的計測に付随する精度の問題があるため，表面分析の手法の中では最も高感度で，深さ方向の分析に最適な方法である，SIMS を用いた。これにより顕微鏡下の光学的な測定よりも正確に黒曜石表面に形成された水和層中の化学組成プロファイルを知ることができる。

本研究では，異なる産地（化学組成）の黒曜石の水和層プロトンプロファイルを比較して，プロファイルの産地特異性を究明する。

２．試料

白滝（北海道），星ヶ塔（長野県；中部地方）より採取した原産地黒曜石を用いた。

３．分析方法

３－１．促進水和実験

促進水和実験は，保温器を用いて高温で短期間に水和層を人工的に作成する実験である。一定の時間ごとに水和温度を変えることで様々な温度経歴を経た水和層を作成することが出来る。本研究において水蒸気温を 90 ℃に設定した。短期間においての黒曜石表面に形成された水和層を調べるため，実験開始後１日後保温器を止め，試料を取り出し，水和層分析のため，薄片の一部を切り出した。さらに反応を続けるため，残りの試料をリアクター内に入れ，実験を続けた。

３－２．二次イオン質量分析法－（SIMS：Secondary Ion Mass Spectrometry）

SIMS は，表面分析の手法の中では最も高感度で，深さ方向の分析に最適な方法である。真空中で高速のイオンビーム（一次イオン）を試料表面に照射すると，スパッタリング現象によって試料中の粒子がはじき飛ばされる。このとき発生する正または負の電荷を帯びたイオン（二次イオン）を電場によって一方向に飛ばし，検出装置で測定する。水素イオンの検出感度が高く，数十 nm ～数 μm スケールでの詳細な深さ方向分析が可能である。

４．結果

黒曜石表面を研磨したのみの試料（t=0），促進水和実験により水和層を形成した試料（t=1day および t=1week）を得た。

SIMS 分析によって，各試料 75μm × 75μm の範囲について走査（raster）し，黒曜石水和層中の $^{1}H^{+}$, $^{23}Na^{+}$, $^{24}Mg^{+}$, $^{27}Al^{+}$, $^{28}Si^{+}$, $^{39}K^{+}$, $^{40}Ca^{+}$, $^{56}Fe^{+}$の二次イオン強度を測定した。各測定元素については主要元素である $^{23}Si^{+}$の二次イオン強度により規格化し，表面からの濃度変化を得た。

図 1 に黒曜石水和層中の H^{+}濃度変化（H^{+}／ Si^{+}）を示した。縦軸に H^{+}／ Si^{+}，横軸に深さ（μm）をとった。時間の経過とともに H^{+}濃度（水の量）が増加していることが読み取れた。また，産地間での H^{+}量の差（白滝よりも星ヶ塔の方が含水量が多い）が分かった。

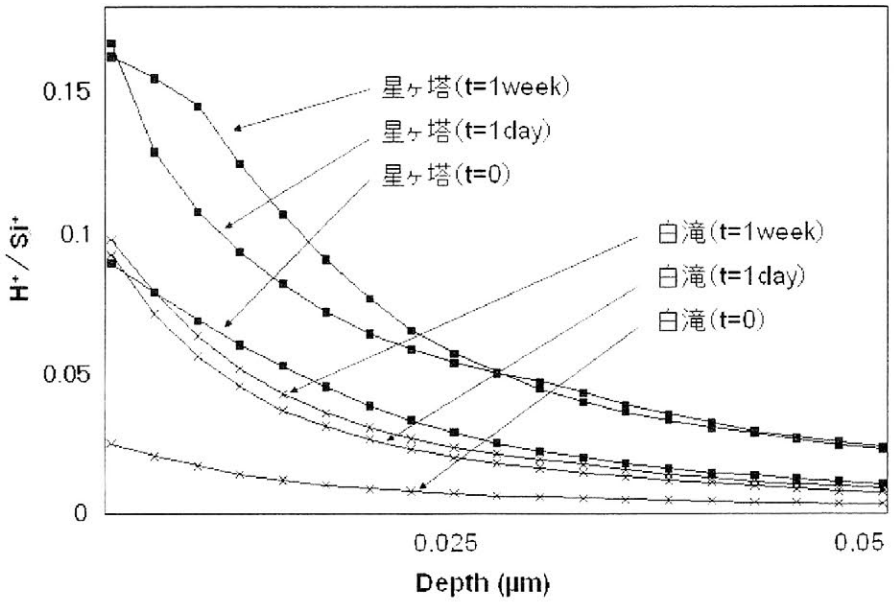


図 1　黒曜石水和層中の H^{+}濃度変化

各産地とも，水和させていない試料（t=0）においても表面付近の H^{+}濃度が高くなっている。これは SIMS 測定の際の一次イオンビームによるものであると考えられる。ビームを照射しスパッタリングしていく時に，表面に付着した H^{+}または極表面付近の H^{+}がビームによって実際の位置よりも奥へ押され，それを検出しているためである。この結果については水和した試料についても同様の現象が起きている可能性があるため，黒曜石表面に極めて近い水和層を扱う上では考慮しなければならない問題である。

$^{1}H^{+}$以外の元素について，$^{23}Na^{+}$，$^{39}K^{+}$の濃度について，黒曜石内部のある深さから表面にかけて減少する傾向がみられた。これは水和層中の $^{23}Na^{+}$，$^{39}K^{+}$ が時間の経過と共に水和層外へ抜け出る現象が起こったと考えられる。

本研究の一部は，公益信託吉田学記念文化財科学研究助成基金の助成金によって遂行された。

P−81

鹿児島県内遺跡における黒曜石原産地推定の試み

−大口市小原野遺跡・出水市上場遺跡について−

○杉原重夫[*1]・金成太郎[*2]・中村守男[*3]・岩﨑新輔[*4]・長井雅史[*2]・柴田　徹[*2]

［*1：明治大学地理学研究室，*2：明治大学文化財研究施設，*3：大口市教育委員会，*4：出水市教育委員会］

1. はじめに

蛍光X線分析装置を用いた黒曜石製遺物の原産地推定においては，前処理による遺物の破壊を避けるため，遺物にX線を直接照射して定性・半定量化学組成分析が多く行われている（望月,1996：藁科・東村,1988など）。しかし，X線強度が遺物の状態や装置によって変化するため，測定分解能が悪い。また，他分析機関との比較も出来ない。したがって，遺物についてはやむを得ないとしても，少なくとも原産地における原岩の定量分析値を提示しておき，非破壊試料の定性分析においても同様な結果が得られることを確認しておく必要がある。本報告では隠岐・九州地方の黒曜石原産地採集試料について原石試料の定量分析を行い定性分析結果と比較した。また，黒曜石産出地（日東）に近接している大口市小原野遺跡・出水市上場遺跡から出土した黒曜石製遺物の原産地推定を行った。

2. 蛍光X線分析

試料は隠岐・九州地方の黒曜石原産地（図1）で採集した。定量分析は波長分散型蛍光X線分析装置（リガク製,RIX1000）を用いてガラスビード法で行った。ガラスビードは岩石試料を岩石圧砕機，鉄乳鉢，めのうボールミルを用いて粉末化し，試料：融剤（$Li_2B_4O_7$）比＝1：5に希釈して作製した。検量線作成条件は長井ほか（2008）に準じた。定性分析は原岩を打ち割るか，岩石カッターで切断してスラブ状試料を10〜20個以上作成し，エネルギー分散型蛍光X線分析装置（JEOL製,JSX3201）を用いて分析した。

3. 定量・定性分析結果

定量分析の結果：原産地試料のSiO_2量は60〜77.5wt%で，ハーカー図上ではTi，Mn，Ca，K，Rb，Sr，Ba，Zrで原産地ごとに異なる領域にプロットされる。日本海に位置する隠岐・壱岐は際立った特徴があり，K，Rb，Zr，Y，Nb，Thに富み，P，Sr，Baに乏しい。そのほかの原産地においてもK，Rbなどで大きな違いが認められ，九州中央部（熊本県〜鹿児島県北部：阿蘇・亀浦・白浜・日東）では富み，西部（星鹿・腰岳・西小国・淀姫・針尾島・嬉野・大崎半島）及び鹿児島県北部の桑木津留では中程度，東部の姫島と南部（鹿児島県中〜南部：上牛鼻・三船・小浜・長谷）では乏しい傾向がある（図2）。

定性分析の結果：Rb分率とSr分率の判別図（図3）・判別分析を用いることで原産地推定が可能。

4. 鹿児島県内遺跡出土黒曜石製遺物の原産地推定

ここでは鹿児島県内にける後期旧石器時代〜縄文早期の大口市小原野遺跡（測定数；345点）と出水市上場遺跡（測定数；849点）の黒曜石製遺物について原産地推定を試みた。なお，今回分析対象とした遺跡は，いずれも大口市西部にあたる日東地域の黒曜石原産地に近接した遺跡であるため，遺跡の立地条件と原産地との関係を捉えるうえで重要な遺跡であると考える。原産地推定の結果（図4）は，両遺跡とも日東産が中心であり，このほか北九州や鹿児島県内の各原産地の黒曜石が推定された。だが，両遺跡とも時期が新しくなるにつれて日東産の割合が低下する傾向が認められた。特に，上場遺跡の細石刃石器群では，細石刃などは腰岳産や桑木津留産であり，そのほかの石器は日東産であった。これは，原産地に立地しながらも石器に適する石質の選択をしていた可能性を示唆している。

＜謝辞＞分析資料の提供にあたり上場遺跡報告書刊行会の諸氏にはご協力頂いた。また，黒曜石原産地の調査には関係機関に多くの御配慮を頂いた。文末であるが厚くお礼申し上げる。

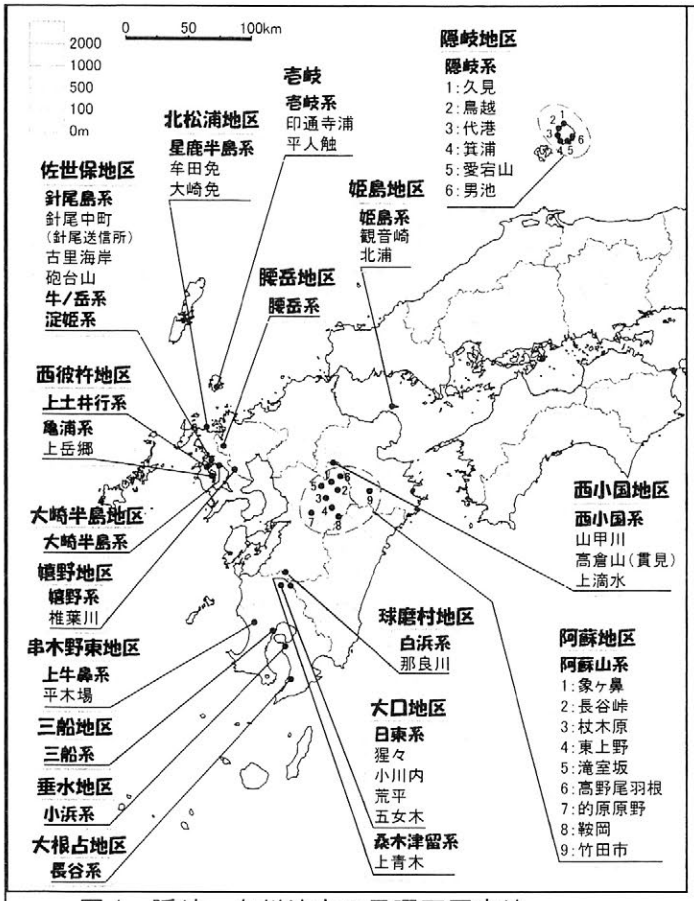


図1　隠岐・九州地方の黒曜石原産地

地区(area)	系(series)	産出地(district)
隠岐地区	隠岐系	久見, 鳥越トンネル, 代港, 箕浦, 愛宕山, 男池
壱岐地区	壱岐系	印通寺浦, 平人触
姫島地区	姫島系	観音崎, 北浦, (同瀬, 稲積)
北松浦地区	星鹿半島系	牟田免, 大崎免
腰岳地区	腰岳系	腰岳
佐世保地区	針尾島系	針尾中町(電波塔), 古里海岸, 砲台山
	牛ノ岳系	牛ノ岳, 飯盛山
	淀姫系	淀姫神社
西彼杵地区	亀浦系	上岳郷
	上土井行系	上土井行
大崎半島地区	大崎半島系	大崎半島
嬉野地区	嬉野系	椎葉川
西小国地区	西小国系	山甲川, 高倉山(貫見), 上滴水
阿蘇地区	阿蘇山系	象ヶ鼻, 長谷峠, 杖木原, 東上野, 滝室坂, 高野尾羽根溶岩, 的石原野, 鞍岡, 竹田市
球磨村地区	白浜系	那良川, 白浜林道(第二白浜橋)
大口地区	日東系	日東, 猩々, 小川内, 荒平, 五女木
	桑木津留系	桑木津留, 上青木, 大塚林道
串木野東地区	上牛鼻系	上牛鼻, 平木場
三船地区	三船系	老人ホーム裏, 三船海岸
垂水地区	小浜系	小浜
大根占地区	長谷系	長谷

表1　隠岐・九州地方における黒曜石原産地の区分

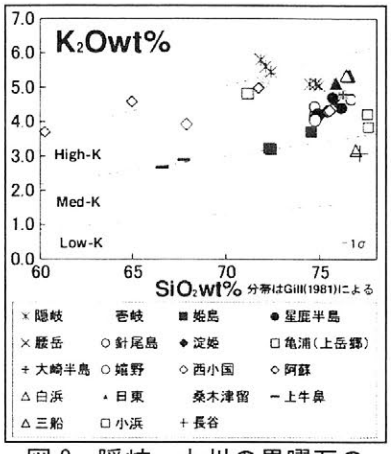


図2　隠岐・九州の黒曜石の全岩化学組成；SiO_2-K_2O 図

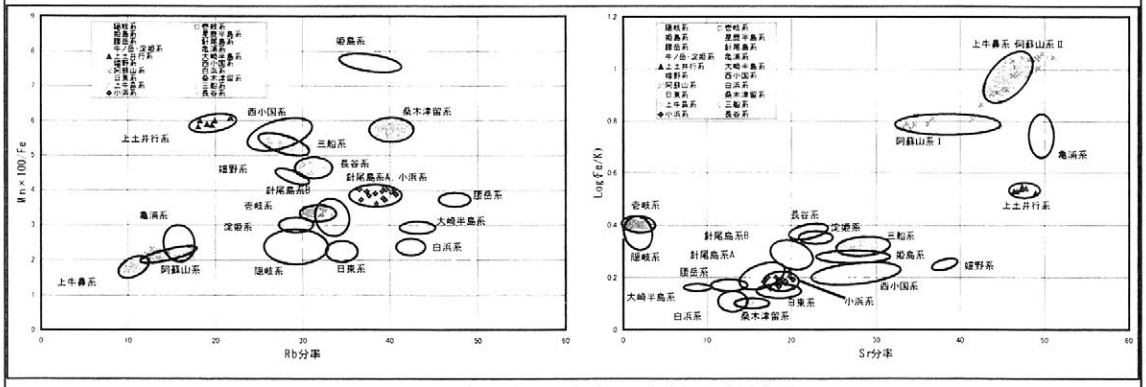


図3　隠岐・九州地方の定性分析結果
(左：Rb 分率図，右：Sr 分率図)

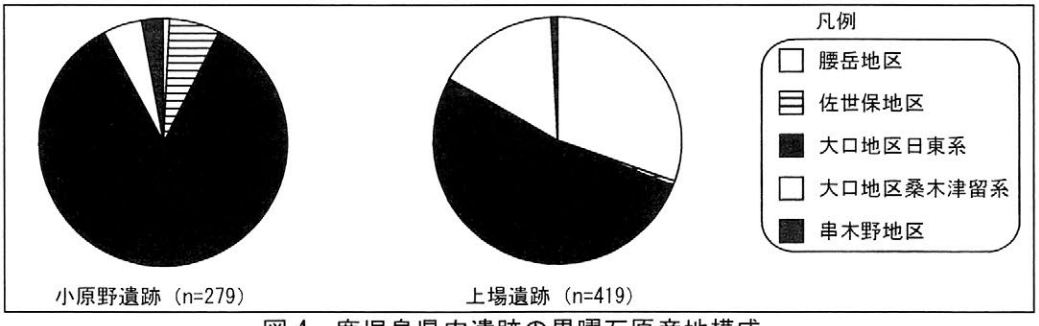


図4　鹿児島県内遺跡の黒曜石原産地構成

P－82

中性子回折法、蛍光X線分析法、および岩石学的手法による縄文土器胎土分析の比較

○河西学（帝京大学山梨文化財研究所）、小林謙一（国立歴史民俗博物館）、神山崇、池田進（高エネルギー加速器研究機構）、新免歳靖（総合研究大学院大学）、坂上恵梨、二宮修治（東京学芸大）、永嶋正春（国立歴史民俗博物館）

1. はじめに

この研究は、中性子回折の考古学への適用により、縄文土器から胎土情報を取り出すことを目的としている。小林謙一ほか（2007）では、縄文土器胎土中の結晶相の中性子回折パターンから鉱物モデルを構築し、それに基づいて結晶の定量解析を試み、同一試料に対して岩石学的な胎土分析を行なって両者を比較した。その結果、鉱物モデルを構築には、鉱物組成や元素組成などの胎土組成解明が必要であることがわかった。そのため、ここでは蛍光X線分析および岩石学的手法による胎土分析結果を報告する。

2. 試料と分析方法

蛍光X線分析の試料は、小林ほか(2007)で中性子回折と岩石学的手法で分析済みの関東・中部の縄文土器（縄文前期～晩期）15点である。これとは別に関東・中部・東北の縄文土器（縄文中期～後期）を中心に35点を岩石学的手法で分析した。

蛍光X線分析は、エネルギー分散型蛍光X線分析装置(JEOL製JSX-3201M)を用いた。分析条件は、電圧30ｋV、コリメーター径7mm、測定時間600秒、試料室雰囲気真空である。測定元素は、ケイ酸塩物質の主成分元素であるSi・Ti・Al・Fe・Mn・Mg・Ca・Na・Kの９元素、微量成分元素のZr・Sr・Rbの３元素、合計12元素で、岩石学の慣例から酸化物として示した。定量分析は、ファンダメンタルパラメーター方式によって行い、地質調査所配布の岩石標準試料(JA-2・JA-3・JB-3・JG-2・JG-3・JR-1の６種類)を標準試料として分析値の補正を行った。１試料につき３～４箇所測定し、その平均値を求めた。岩石学的分析は、土器薄片を作製し、ポイントカウント法で0.05mm以上の岩石鉱物粒とマトリクスを2000ポイント計数した。

3. 分析結果

蛍光X線分析よる元素組成は、散布図(図１)において地域や遺跡ごとに限定された領域を占有する傾向がある。これらの試料は、岩石鉱物組成の特徴から出土遺跡周辺の地域地質との関連性が高い試料が多いことから、元素組成も胎土原料の地域的特徴を反映しているものと考えられる。千葉県木之内明神貝塚・白井雷貝塚の中期土器と岩井貝塚の後晩期土器とは、岩石組成に基づくクラスタ樹形図などでほとんど区別されないのに対し、Ca,Sr組成で明瞭に両者は区別された。花崗岩類と黒雲母を主体とする土器は、領家帯花崗岩類周辺の茨城県宮平貝塚・長野県上の山遺跡出土土器の多くで白雲母を伴う傾向があるのに対し、甲府花崗岩体周辺の山梨県内出土土器は角閃石を伴う傾向がある。花崗岩類・黒雲母主体土器のK_2Oは、宮平貝塚(KEK014)・木之内明神貝塚(KEK004)が2%を超え、山梨県下向山遺跡（KEK009)は1.3%である。K組成は、花崗岩類・黒雲母主体土器の区別に有効と思われる。福島県井出上ノ原遺跡の土器胎土には放散虫・骨針化石などが特徴的に含まれる。八王子市小比企向原遺跡土器は、堆積岩・玄武岩・カンラン石・ホルンフェルスを多く含み、地元周辺に原料産地が推定される。

4. おわりに

岩石・鉱物組成と蛍光X線分析による元素組成とは、相互補完的関係をなし、両者の組み合わせは土器の産地推定に極めて有効であることが明らかになった。これらの結果をふまえ、中性子回折による鉱物モデルの構築と鉱物の定量解析が今後の課題である。

本研究は、科学研究費補助金・学術創成研究（課題番号16GS0417）の成果の一部である。

表１　蛍光Ｘ線分析による分析結果（%）

No.	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Rb_2O	SrO	ZrO_2
KEK001	67.6	1.4	20.4	4.9	nd	1.9	2.4	0.5	1.2	0.005	0.027	0.025
KEK002	65.9	0.9	21.5	6.2	nd	1.8	2.3	0.6	1.0	0.006	0.022	0.023
KEK003	67.4	1.0	21.4	3.9	nd	1.7	2.6	0.8	1.2	0.005	0.029	0.023
KEK004	60.9	1.2	24.0	5.2	0.03	3.4	2.5	0.6	2.1	0.012	0.031	0.024
KEK005	54.1	1.2	25.4	11.3	0.08	4.2	2.4	nd	1.1	0.007	0.014	0.019
KEK007	52.3	1.3	26.6	12.0	0.07	4.6	2.1	nd	0.8	0.007	0.013	0.012
KEK008	56.3	1.1	27.1	7.4	0.01	3.0	2.7	1.4	1.0	0.004	0.053	0.021
KEK009	56.6	1.0	29.0	8.5	nd	2.7	0.6	0.3	1.3	0.006	0.008	0.018
KEK010	64.6	1.1	22.1	5.4	nd	2.0	2.4	0.9	1.5	0.006	0.027	0.027
KEK011	66.7	1.1	22.1	4.0	nd	2.0	2.1	0.7	1.2	0.006	0.025	0.021
KEK014	53.1	1.5	24.6	9.7	0.17	4.4	3.6	0.6	2.2	0.019	0.042	0.035
KEK015	58.6	1.0	23.0	7.1	0.04	4.0	3.1	1.6	1.5	0.007	0.028	0.012
KEK027	63.2	0.9	24.6	6.5	nd	2.3	0.6	0.8	0.8	0.005	0.008	0.020
KEK028	62.6	1.4	28.0	4.5	nd	2.1	0.5	0.4	0.7	0.004	0.008	0.017
KEK029	66.2	0.8	22.2	6.7	0.03	1.8	0.5	0.8	1.0	0.006	0.007	0.022

nd：検出限界以下

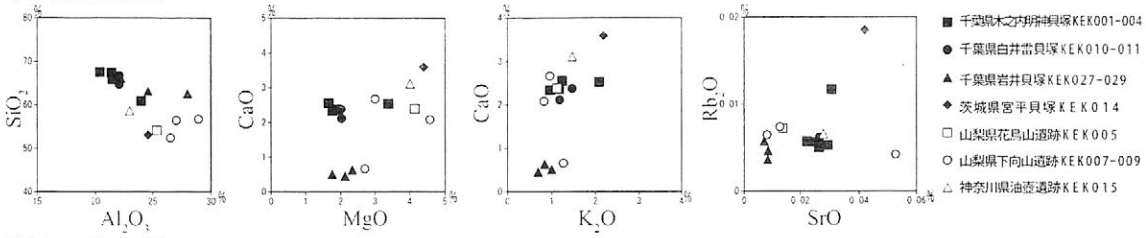


図１　散布図

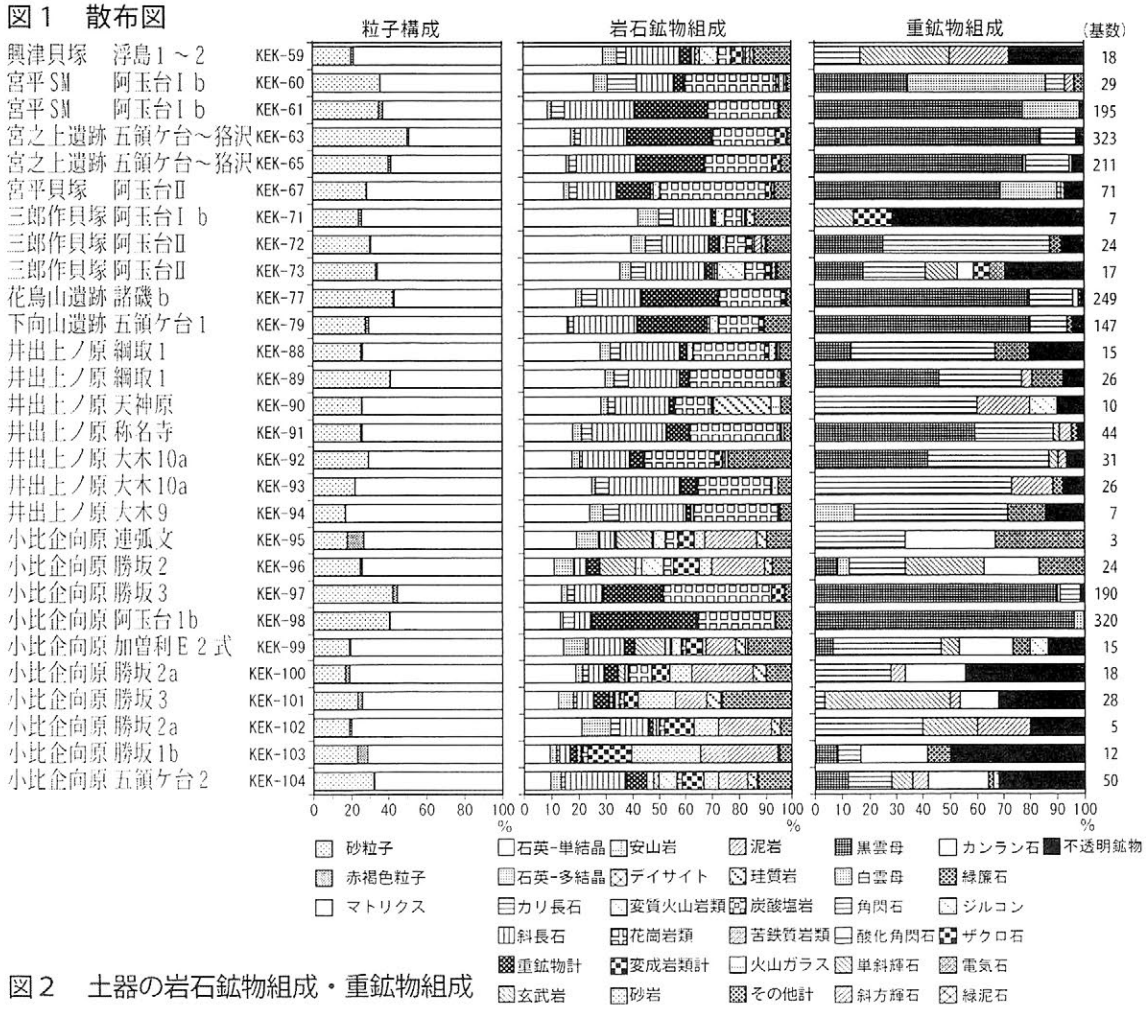


図２　土器の岩石鉱物組成・重鉱物組成

P−83

万之瀬川下流域遺跡の古墳時代及び古代の出土須恵器と布目瓦の蛍光X線分析

○上床　真，黒川忠広（鹿児島県立埋蔵文化財センター），三辻利一（大阪大谷大学）

（1）はじめに

近年，万之瀬川下流域の上水流遺跡，芝原遺跡，渡畑遺跡，持躰松遺跡の４つの遺跡の発掘調査成果が注目を集めている。今回は，この万之瀬川下流域遺跡群出土遺物の中で特に古墳時代・古代の須恵器及び布目瓦について産地推定を行う。なお，比較する窯跡として今回は全国的にも著名な「陶邑古窯跡群」と、地元の古代須恵器の生産地である「中岳山麓古窯跡群」と菱刈町に存在する「岡野窯跡」の３つに特に注目した。また，考古学的な検討を行うために報告書掲載遺物について分析を行う。この際に検出遺構についても示すこととした。

（2）試料処理法と分析法

採取された試料は，表面を研磨して付着汚物を除去したのち，タングステンカーバイド製乳鉢で100メッシュ以下に一旦粉砕した。さらに，粉末試料を塩化ビニル製リングを枠にして，10トンの圧力をかけてプレスし，内径20mm，厚さ5mmの錠剤試料を作成した。X線管の使用条件は50kV，50mAであった。また，本報告ではデータ解析にK-Ca，Rb-Srの両分布図を使用した。

（3）分析結果

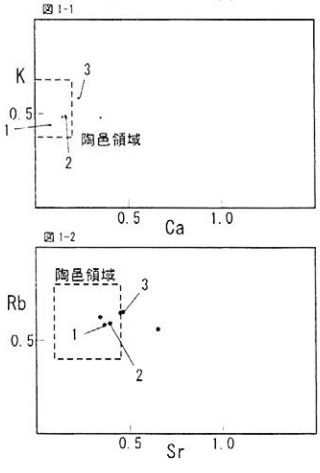
以下にデータ解析した結果を説明する。全分析値はJG-1による標準化値である。

図１には，上水流遺跡出土の古墳時代須恵器の両分布図を示す。実測図でも陶邑産の古式須恵器であることがおおよそ想定されるが、分析の結果でもほぼ陶邑領域に属することがわかる。ただし、陶邑産須恵器か陶質土器かの判断が必要なものもあるが，陶邑領域と伽耶領域が重複する領域に分布したので判断を保留した。

図２には上水流遺跡・芝原遺跡・持躰松遺跡出土の古代の須恵器の両分布図を示す。この図には比較対照のため，中岳山麓窯跡群と岡野窯跡の須恵器の両領域を示す。ほとんどの試料は両分布図で中岳領域に分布しており，近くの生産地の製品が供給されていたことを示している。

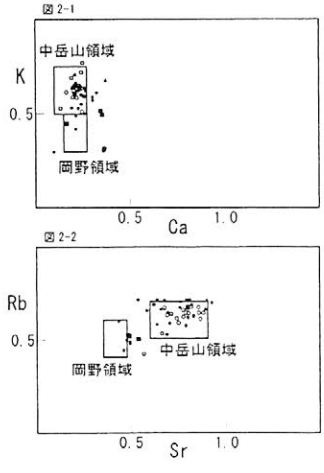
図３には渡畑遺跡出土の瓦と芝原遺跡出土瓦、及び薩摩国分寺出土瓦の両分布図を示す。６点の芝原遺跡出土瓦は渡畑領域に分布しており，渡畑遺跡の布目瓦と同じ生産地の製品の可能性がある。また、薩摩国分寺出土の瓦とは生産地が異なる可能性が示された。

須恵器（古墳）



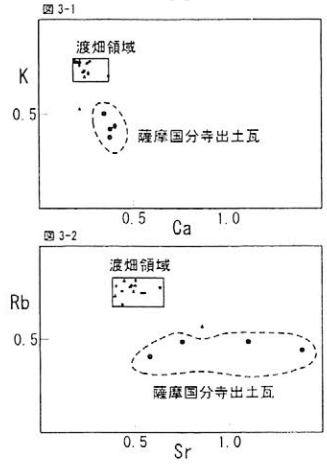
※　数字１～３は次ページの数字と対応

須恵器（古代）

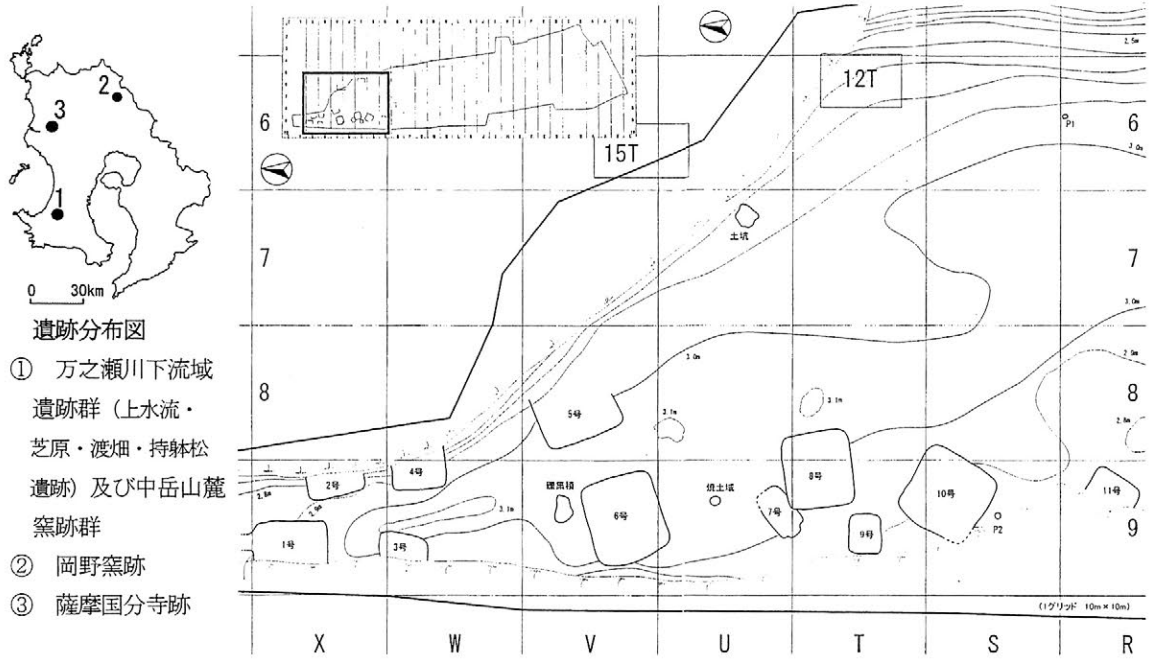


※　●は上水流、▲は芝原、■は持躰松、○は中岳山麓窯跡群の各遺跡出土須恵器を示す

瓦



※　●は渡畑、▲は芝原の各遺跡出土瓦を示す



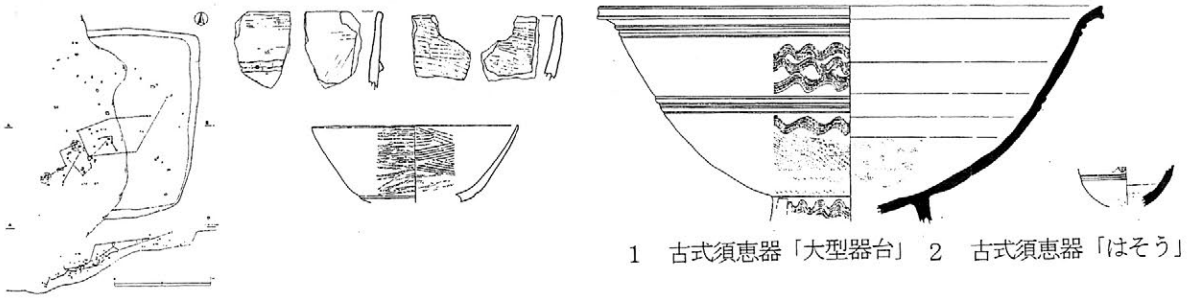
遺跡分布図

① 万之瀬川下流域遺跡群（上水流・芝原・渡畑・持躰松遺跡）及び中岳山麓窯跡群

② 岡野窯跡

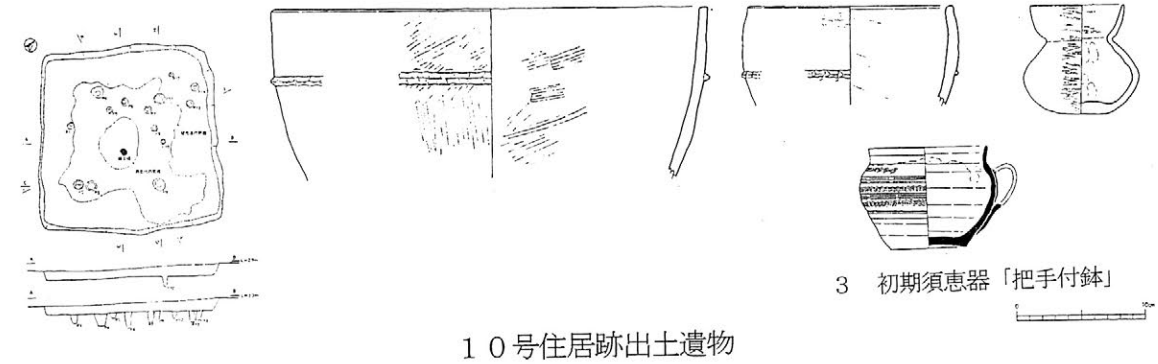
③ 薩摩国分寺跡

上水流遺跡における竪穴住居跡分布状況



1 古式須恵器「大型器台」 2 古式須恵器「はそう」

3号住居跡出土遺物



3 初期須恵器「把手付鉢」

１０号住居跡出土遺物

P−84

鹿児島県内遺跡出土の平安時代の須恵器の産地問題

池畑耕一・堂込秀人・O森　雄二・黒川忠広・上床　真（鹿児島県埋蔵文化財センター）・三辻利一（鹿児島国際大学）

1）はじめに

須恵器は古代最大の窯業生産の産物であり、全国各地の古代の遺跡からは大量に出土している。しかし、須恵器は縄文土器、弥生土器、土師器などの軟質土器ほど土器型式にみられる地域色は鮮明ではなく、形式論を主体とする考古学にとって、須恵器の生産と供給問題は今後に残された重要な研究課題の一つであるといえよう。他方、優れた機能をもつ完全自動式の蛍光X線分析装置が市販されるようになり、従来の常識を破る大量の須恵器片試料の分析が可能になり、全国各地の窯跡出土須恵器が大量に分析された。その結果、母岩を構成する主成分鉱物の長石類に由来するとみられるK、Ca、Rb、Sr の４元素が有効に地域差を示すことが見つけ出され、須恵器産地推定法が開発された。

古墳時代には地方に比べて、和泉陶邑に発見されている窯跡数は圧倒的に多く、陶邑は全国的な須恵器生産センター的な性格をもつと考えられる。したがって、古墳時代の須恵器の産地問題の研究は陶邑産須恵器の伝播、流通に視点が置かれる。これに対して、平安時代（８～９世紀代）には、須恵器生産は地方に拡散し、各地に数 10 基以上の窯跡が集中する大規模窯跡群が発見されている。大規模窯群は外部地域に製品を供給する目的をもって生産活動をおこなったと見られる。鹿児島県内には２ヶ所に大規模窯跡群がある。一つは徳之島で発見された中世陶器のカムイヤキ窯跡群であり、100 基を越える窯跡が発見されている。他方、本土側の鹿児島県内には 20~30 基程度はあるといわれる中岳山麓窯跡群がある。中岳山麓窯群の須恵器は何処へ供給されていたのかについてはこれまでの研究では殆ど明らかにされていない。本研究では中岳山麓窯群の須恵器の化学特性を求め、その産地推定法を開発しておくとともに、中岳山麓窯群の製品がどこまで広がって伝播しているかを試験的に追跡した結果を報告するとともに、今後の研究の基礎データとしたい。

2）分析結果

今回は鹿児島県内にある中岳山麓窯群と小規模な窯群である岡野窯群間の相互識別を中心にデータ解析を行った。

両群間の判別分析の結果を図１に示す。両軸にとったＤ２（中岳）、Ｄ２（岡野）はそれぞれ、中岳群、岡野群の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値であり、K、Ca、Rb、Sr の４元素の分析値を使って計算された。各群への帰属条件を求めるため、各試料は５％危険率をかけたホテリングのＴ２検定にかけられた。この程度の試料数ではこの検定に合格する条件はＤ２（母集団）＜ 10 以下である。そのため、Ｄ２（中岳）＝ 10、Ｄ２（岡野）＝ 10 のところに線を引いてある。両群のほとんどの試料がこの条件を満足していることが分かる。さらに、たがいに、相手群の重心からのＤ２（相手群）値を使って、十分条件を経験的に求めることもできる。その結果、中岳領域はＤ２（中岳）＜１０、Ｄ２（岡野）＝ 200 ～ 1050、岡野領域はＤ２（岡野）＜ 10、Ｄ２（中岳）＝ 15 ～ 60 であることが図３から分かる。この図を活用すると、消費地遺跡から出土した須恵器の中に中岳窯群の製

品があれば、中岳領域に分布するはずである。一例として、上水流遺跡から出土した須恵器の産地推定の結果を図２に示す。中岳領域に分布する須恵器が７点あることがわかる。しかし、多くの須恵器は産地不明となった。この方法を使って、種子島の大園遺跡、喜界島の城久遺跡、徳之島の川嶺辻遺跡から中岳窯群産と推定された須恵器が検出されており、中岳山麓窯群の製品は本土側の県内の遺跡のみならず、海を渡って奄美諸島にまで供給されていた可能性が出てきた。今後、さらにデータを集積して中岳山麓窯群の広がりを追跡するとともに、土器型式からの対応も必要になる。

図１　中岳群と岡野群の相互識別（K、Ca、Rb、Sr）

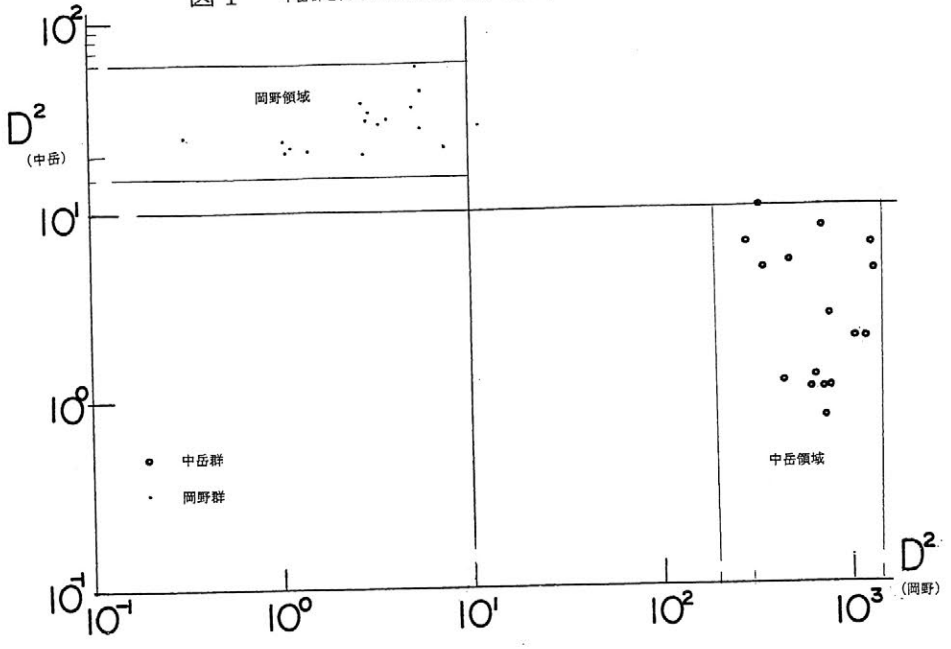
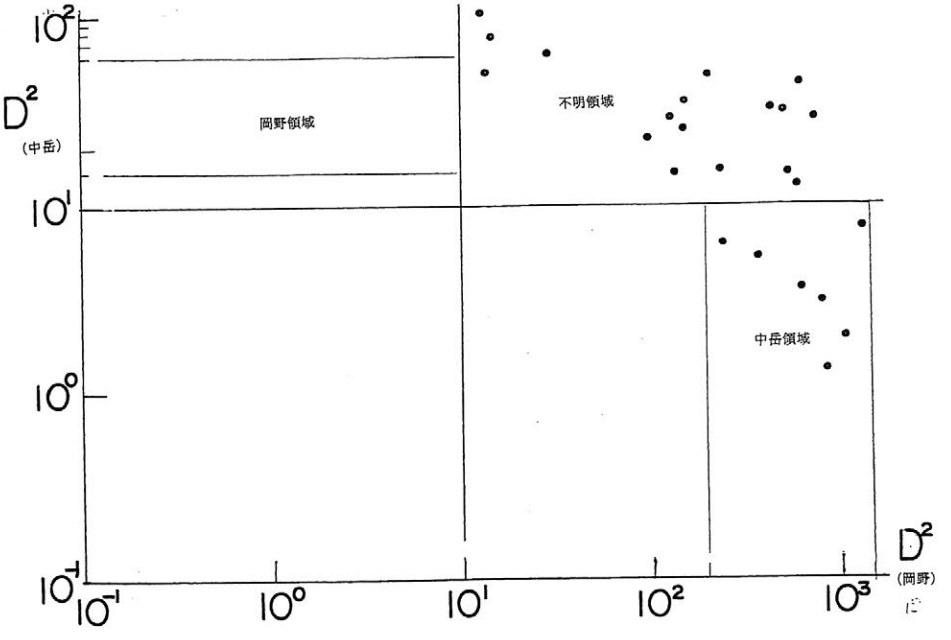


図２　上水流遺跡出土須恵器の産地推定（K、Ca、Rb、Sr）



P−85

宮崎県内出土古墳時代の須恵器の産地問題

北郷泰道・橘本英俊（西都原考古博物館）・O 三辻利一（大阪大谷大学）

1）はじめに

全国各地の窯跡出土須恵器の蛍光X線分析のデータから、K-Ca、Rb-Sr の両分布図が須恵器の地域差を有効に表すことが見つけられた。ただ、素材の粘土には自然物特有の不均質性があるため、各母集団は両分布図上である程度の広がりをもって分布する。したがって、両分布図では各母集団は広がりをもったままで、地域差が定性的に比較されるに過ぎない訳である。しかし、古墳出土の須恵器の産地を推定するためには、特定の母集団へ帰属するための必要条件を求めることが必要である。そのために、２群間判別分析法が採用された。ただ、各母集団はある程度の広がりをもっているので、選択された特定の二つの母集団の相互識別はこの広がりをもったままの形で行われる。それが５％の危険率をかけたホテリングのＴ２検定を受けた２群間判別分析法である。

５世紀代後半以降、各地の古墳からは須恵器が出土する場合が多い。これらの須恵器の産地問題の研究に、この方法が適用された。二つの母集団は地元産の須恵器か、外部地域から搬入された須恵器かをとう形で選択された。この時期には、地方では限られた地域に数基程度の少数の窯跡しか発見されていないが、和泉陶邑では 100 基を越える窯跡が発見されている。陶邑は須恵器の全国的な生産センター的存在であった可能性がある。したがって、外部地域の母集団として、陶邑群が選択されることになった。陶邑窯群から出土した 1000 点を越える須恵器片が分析されており、その化学特性はすでに明らかにされている。

蛍光X線分析法の利点は小片試料（5~10mm 四方程度）の分析で胎土の化学特性の情報が得られること、大量の試料処理ができることが挙げられる。とくに、産地問題の研究では大量の試料の産地に関する情報が必要なことから、須恵器の産地問題の研究には不可欠の方法であると考えられる。このような考え方から、宮崎県内の古墳時代の遺跡出土須恵器片の蛍光X線分析が行われた。

2）分析結果

今回分析されたのは臆中古墳、赤江遺跡、久見迫地下式横穴、光音寺１、２号墳、瓜生野遺跡、土器田横穴、蓮ヶ池古墳、新富町日置遺跡、小木原地下式、新富町源六原遺跡、YMT、小林市平木場、内小野遺跡、池内横穴、曽和田遺跡、上城遺跡、狐塚古墳、影平遺跡、大園遺跡、新田原 92 号墳などの古墳時代の遺跡から出土した合計 112 点の須恵器片試料である。これらの試料の両分布図を図１に示す。この図には比較対照のために陶邑領域を描いてある。陶邑内の栂、大野池、光明池、高蔵寺、陶器山地区の多数の窯跡から出土した 1000 点を越える須恵器片試料の分析値を殆ど包含するようにして描かれた。この領域は定性的な領域しか示さないが、比較対照には十分役に立つ。図１をみると、今回分析した宮崎県内の古墳時代の遺跡出土須恵器の殆どは陶邑領域内に分布しており、陶邑産の可能性があることを示している。

次ぎに、これらの須恵器が陶邑群への帰属条件を満足するかどうか検討した。一例とし

て、陶邑群と市場群（愛媛県松山市）間の判別分析の結果を図２に示す。両軸にとったＤ２（陶邑）、Ｄ２（市場）はそれぞれ、陶邑群、市場群の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値である。５％危険率をかけたホテリングのＴ２検定に合格する条件から、母集団の試料数が30~100程度の場合、Ｄ２（母集団）＜10が母集団に帰属するための必要条件となる。そのため、図２ではＤ２（陶邑）＝10、Ｄ２（市場）＝10のところに線を引いてある。不明領域に分布する試料が10点程度あるが、他の試料は陶邑領域に分布し、図１の定性的な対応の結果とほぼ一致することがわかる。

このように、小破片ではあっても、多数の試料の分析データから、宮崎県内の古墳時代の多数の遺跡から陶邑産の可能性がある須恵器が多数検出された訳である。しかし、この結果について、考古学側と共通の理解をもとうとすると、土器型式が明確にわかる須恵器の小破片を分析することが必要となる。この点については目下、検討中である。このような方法で陶邑産と推定される須恵器が北は岩手県水沢市の中半入遺跡から、南は鹿児島県指宿市の橋牟礼川遺跡に至るまで、全国各地の古墳時代の遺跡から多数出土している。この結果は５～６世紀代、陶邑には100基を越える窯跡があったこと、陶邑に匹敵するほどの大規模な窯群はこの時期に他の地域には発見されていないことからも理解できる。

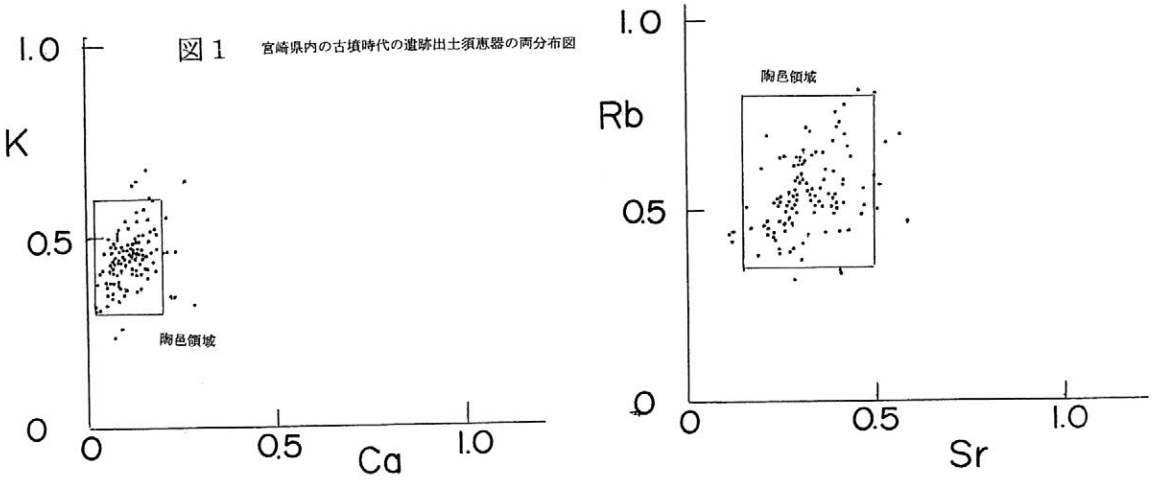


図１　宮崎県内の古墳時代の遺跡出土須恵器の両分布図

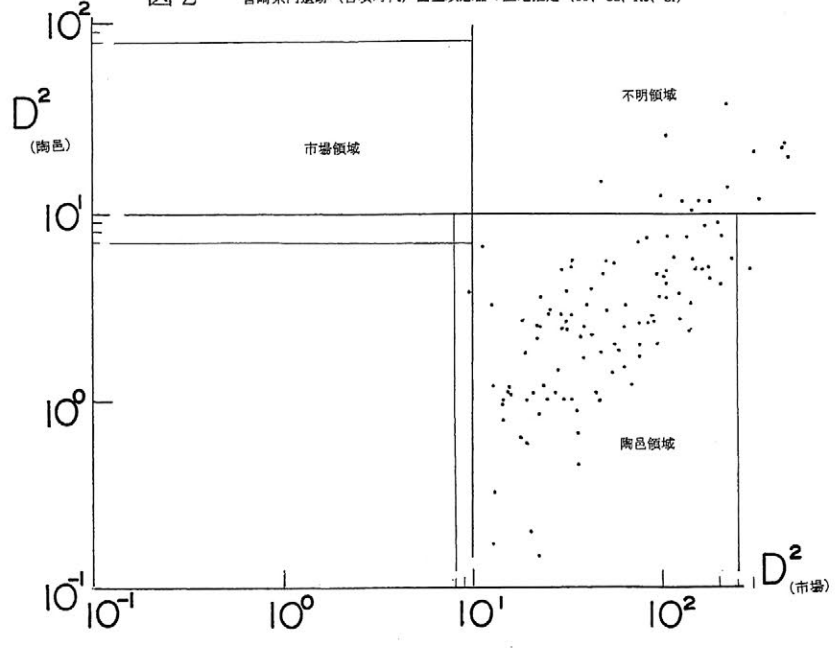


図２　宮崎県内遺跡（古墳時代）出土須恵器の産地推定（K、Ca、Rb、Sr）

P−86

西都原古墳群周辺の粘土の蛍光Ｘ線分析

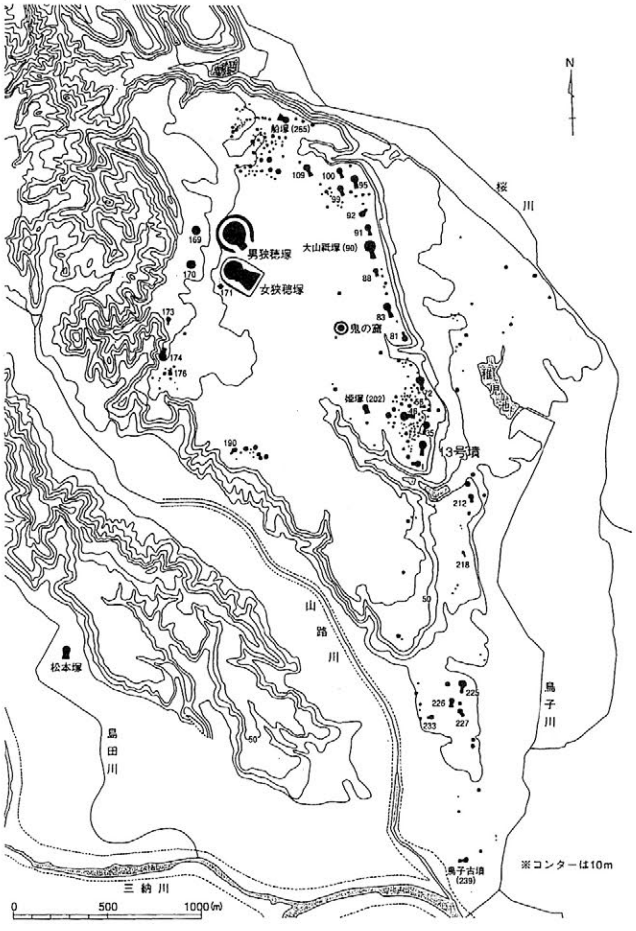
O 北郷泰道・橋本英俊（西都原考古博物館）・有馬義人（新富町教育委員会）・犬木　努・三辻利一（大阪大谷大学）

１）はじめに

西都原古墳群は東西 2.6km、南北 4.2km の台地上に 300 余基の大小の古墳が分布する九州最大規模の古墳群である。その中には埴輪をもつ古墳は少ないが、多数の古墳からは大量の土師器が出土している。これらの埴輪と土師器の生産と供給の問題は西都原古墳群の成り立ちを考える上で重要な情報を提供するものと考えられる。本研究の中心課題は古墳から出土する埴輪と土師器の胎土を蛍光Ｘ線分析で分析し、その結果を整理するとともに、それに対応する化学特性をもつ素材粘土の産出地を探ることである。この問題を解くことによって、西都原古墳群の埴輪と土師器の生産と供給の問題を考える糸口が掴めると考えるからである。この研究には大量の小片試料（5mm 四方）の採集と分析の作業が必要なので、長期計画をたてて、研究を推進する予定である。

２）これまでの成果と研究計画

図１には西都原古墳群の分布図を示す。台地の上に古墳群が分布していることが分かる。殆どの古墳は台地の東側の縁に沿って並んで分布する。これらの古墳から大量の土師器が出土しているが、埴輪をもつ古墳は少ない。一方、西側の縁には 169 号墳や 170 号墳など少数の古墳が分布するが、埴輪をもつ古墳が多い。そして、台地の中央部にこの古墳群最大級の男狭穂塚古墳と女狭穂塚古墳が近接して並んで築造されている。すでに、169 号墳、170 号墳、171 号墳、212 号墳と男狭穂塚古墳、女狭穂塚古墳の埴輪、46 号墳出土の土師器の分析データが出されている。それらは例外なく、K-Ca、Rb-Sr の両分布図で西都原基準領域に分布し、化学特性が類似することが明らかにされている。図２、３、４には 171 号墳、101、212 号墳の埴輪、46 号墳出土土師器の両分布図を示す。例外なく、基準領域に分布していることが分かる。このことは台地周辺のどこかで粘土を採取し、埴輪と土師器を製作したことを示唆している。図１をみると、粘土が出土しそうな場所は台地の東側で台地と桜川に挟まれた低地に稚児池がある。粘土の産出地は稚児池周辺にある可能性が高いと推察した。また、台地の東側の傾斜は緩く、仮に、稚児池周辺で大量の土師器を製作しても、台地上の古墳群へ運びやすい。しかし、埴輪は台地上の古墳周辺で製作された可能性もあるといわれる。もしそうなら、埴輪と土師器の生産と供給のあり方に違いあることになる。他方、台地の西側にも山路川が流れており、粘土が出土する可能性もあるが、西側の傾斜は東側に比べて急で、製品を台地上へ運ぶ上でも条件は不利である。これらのことから、粘土の産出地の第一候補として、稚児池周辺が考えられた。粘土の化学特性にも自然物特有の不均質性があることが予想されるので、多数の粘土試料の採集が必要である。長期計画で多数の粘土試料を採集し、分析する予定である。その作業は目下進行中であるが、ポースターでは粘土試料の分析結果についても報告する。



第1図　西都原古墳群分布図（1／20,000）

図2　西都原 171 号墳出土円筒埴輪(2)の両分布図

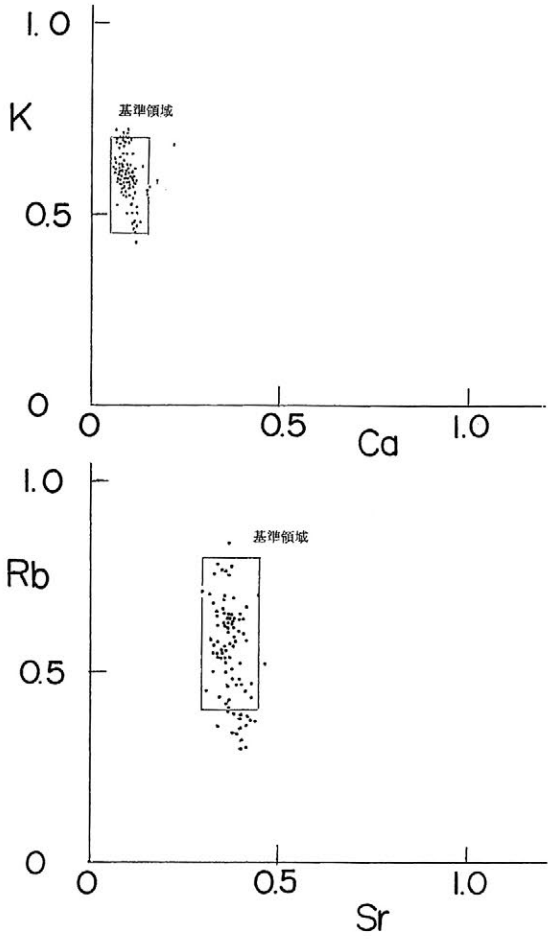
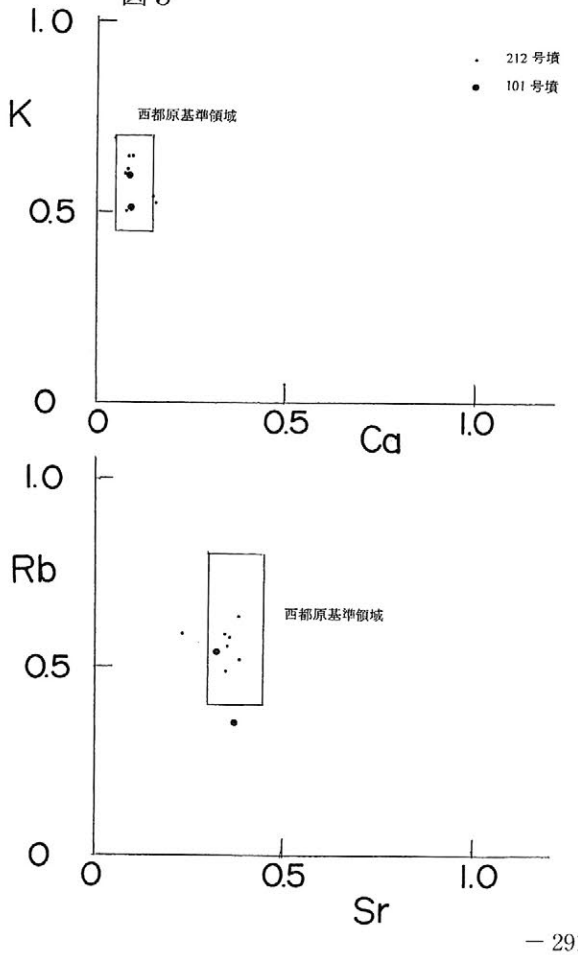


図3　西都原 101、212 号墳出土埴輪の両分布図



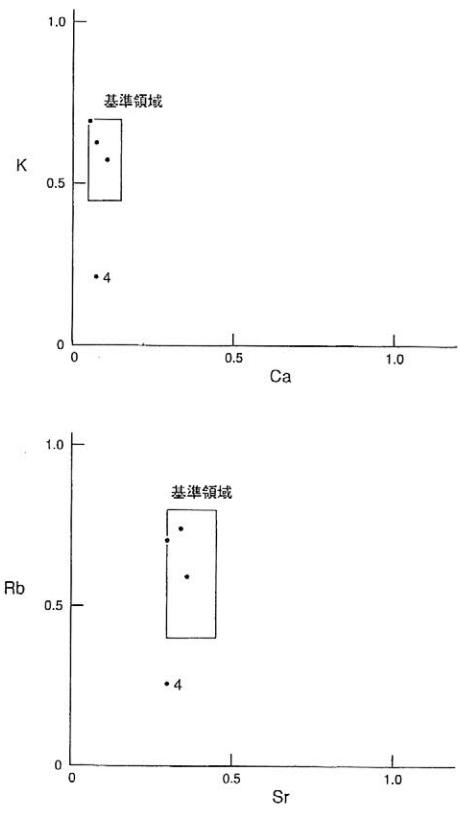


図4　出土土師器の両分分析

P−87

西都原 169、170 号墳出土埴輪、土師器の考古科学的研究

O 犬木　努（大阪大谷大学）・北郷泰道・橋本英俊（西都原考古博物館）・近藤麻美・三辻利一（大阪大谷大学）

1）はじめに

西都原 169 号墳は 2000 ～ 2003 年度にかけて、また、170 号墳は 2004~2005 年度にかけて、犬木が調査担当して発掘調査した古墳である。両古墳発掘調査報告書（遺構編）は 2008 年３月に刊行され、各埴輪列に並ぶ個々の埴輪の製作技法については犬木による詳細な観察データが 2008 年度中に刊行予定の遺物編に掲載の予定である。本研究では個々の埴輪から採取した小破片（5mm 四方程度）を蛍光Ｘ線分析法で分析し、その胎土の特徴を把握して、埴輪の製作技法による分類結果と対応させて理解する、考古学と自然科学の方法を融合させた新しい研究である。

2）分析結果

埴輪小片は犬木および近藤が採取した。蛍光Ｘ線分析は大阪大谷大学に設置されている完全自動式の分析装置（理学電機、RIX2100、波長分散型）で行った。

図１，２には 169 号墳出土円筒埴輪と形象埴輪の両分布図を示す。比較対照の基準として描いてある基準領域は 169 号墳、171 号墳出土の 200 点を越える試料の分析値を包含するようにして描かれている。図１、２の主成分元素の K-Ca 分布図では円筒埴輪、形象埴輪とも基準領域の左下部分にまとまって分布しており、同じ胎土であることを示している。しかし、微量元素の Rb-Sr 分布図では両者の分布位置が異なり、素材粘土は必ずしも同じではないことを示している。このことは両者は同じところで、同じ粘土を素材として同時に作られたものではない可能性があることを示している。

他方、図３には 170 号墳の円筒埴輪の両分布図を示す。K-Ca 分布図では２点を除いて、基準領域の右側にかたよって分布しており、169 号墳の埴輪の分布とは異なることが分かる。このことは 169 墳の埴輪と 170 号墳の埴輪は同じ地域内であっても、別場所の粘土を採取して作った埴輪であることを示している。自然界の粘土には自然物特有の不均質性があり、粘土の採取場所によって、両分布図上では微妙な地域差があるものと思われる。169 号墳の埴輪胎土は女狭穂古墳の埴輪の胎土に類似しており、また、170 号墳の埴輪の胎土は男狭穂古墳の埴輪の胎土に類似していることが分かった。このことは系列化された古墳どとによる埴輪製作に関連があるのであろうか？　考古学的観察の結果と併せて報告する。

図1　西都原169号墳頂位置出土円筒埴輪の両分布図

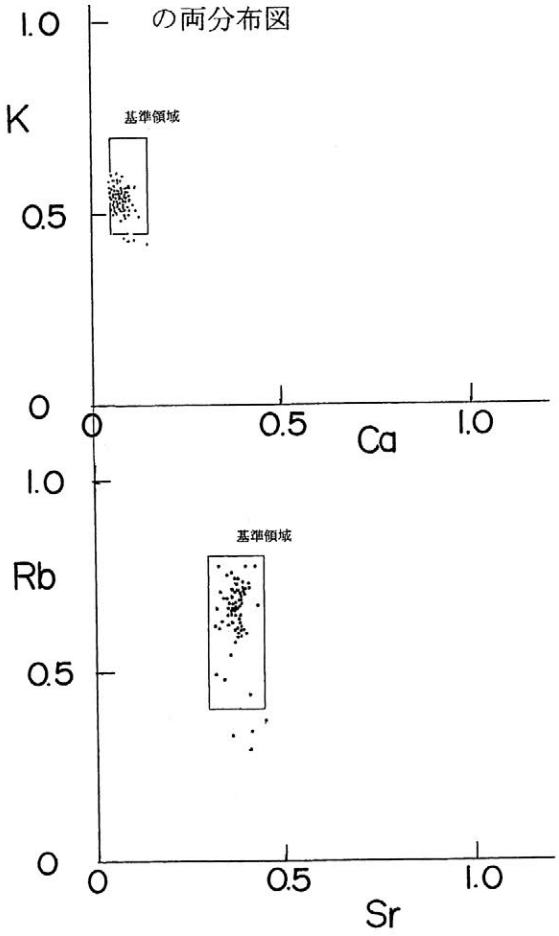
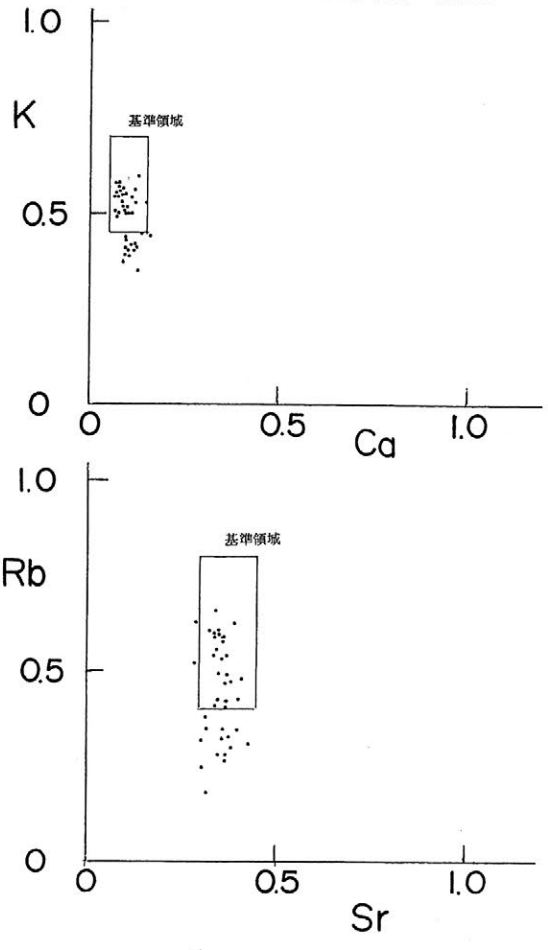
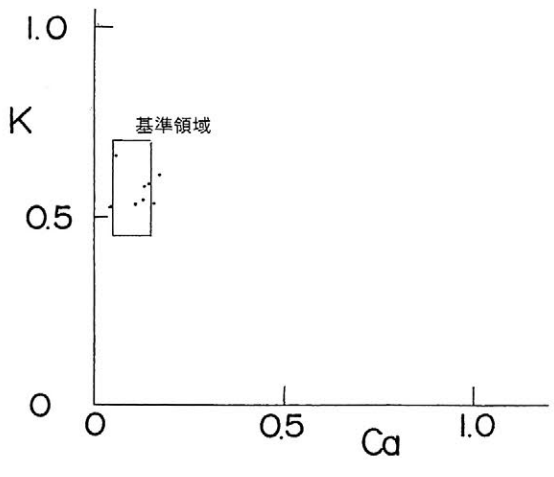


図2　西都原169号墳出土形象埴輪（蓋型）の両分布図





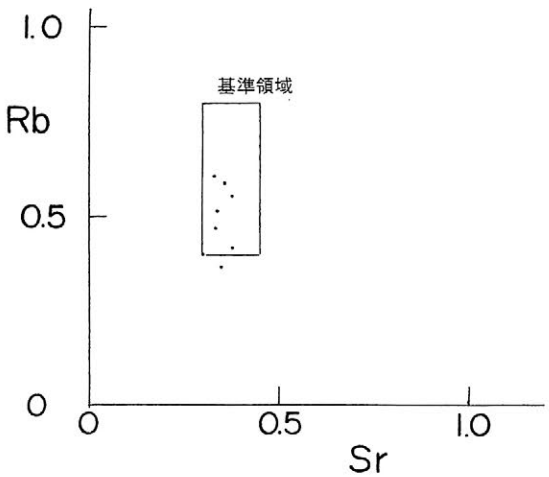


図3　170号墳出土埴輪の両分布図

P−88

男狭穂塚古墳、女狭穂塚古墳出土埴輪の考古科学的研究

O 犬木　努（大阪大谷大学）・福尾正彦・清喜祐二（宮内庁書陵部）・北郷泰道・橋本英俊（西都原考古博物館）・近藤麻美・三辻利一（大阪大谷大学）

1）はじめに

特別史跡西都原古墳群は通称西都原台地を中心に、東西 2.6km、南北 4.2km の広範囲に広がる九州最大規模の古墳群で、311 基の高塚古墳の他に、横穴墓や南九州独自の地下式横穴墓も混在している。男狭穂塚古墳、女狭穂塚古墳はその中の最大級の前方後円墳であり、5 世紀前半に築造された古墳であると推定されている。今回、宮内庁書陵部を通して、埴輪の小破片（5mm 四方程度）試料が得られ、分析をする機会を与えられた。

男狭穂塚古墳の埴輪の胎土は女狭穂塚古墳の埴輪胎土と同じであるのか、それとも、微妙に異なるのかという視点から分析データは解読された。

2）分析結果

図１には男狭穂塚古墳出土埴輪の、また、図２には女狭穂塚古墳出土埴輪の両分布図を示す。両図には共通して、比較対照のための基準領域を描いてある。これまでに分析されている西都原古墳群出土の数百点の埴輪試料を殆ど包含するようにして描かれている。図１、２の K-Ca 分布図を比較すると、男狭穂塚古墳の埴輪は２点を除いて基準領域の右側に偏って分布するのに対して、図２の女狭穂塚古墳の埴輪は基準領域のほぼ中央に分布し、男狭穂塚古墳の埴輪の分布位置とは微妙に異なることがわかる。他方、図１、２の Rb-Sr 分布図を比較すると、男狭穂塚古墳の埴輪は基準領域のほぼ中央に分布するのに対して、図２の女狭穂塚古墳の埴輪は基準領域の右側に偏って分布し、両者の分布位置には微妙な差違があることがわかる。このように、男狭穂塚古墳と女狭穂塚古墳の埴輪の胎土は長石系因子からは同じではないことが分かった。

図３には Fe 因子を比較してある。Fe は母岩の雲母、角閃石などの Fe 化合物に由来する元素である。図３から、男狭穂塚古墳の埴輪には女狭穂塚古墳の埴輪に比べて Fe が多いことがわかる。このため、外見上、男狭穂塚古墳の埴輪はやや赤色味を帯びている。両者には Fe 因子でも、明らかに差違があることが分かった。したがって、両者の埴輪の胎土は類似するものの、同じではないことが分かった。素材粘土が異なるということは同じ地域内でも別場所でつくられた埴輪であることを意味する。埴輪製作技法との違いとも関連させて分析データを解読する。

図1　男狭穂塚古墳出土円筒埴輪の両分布図

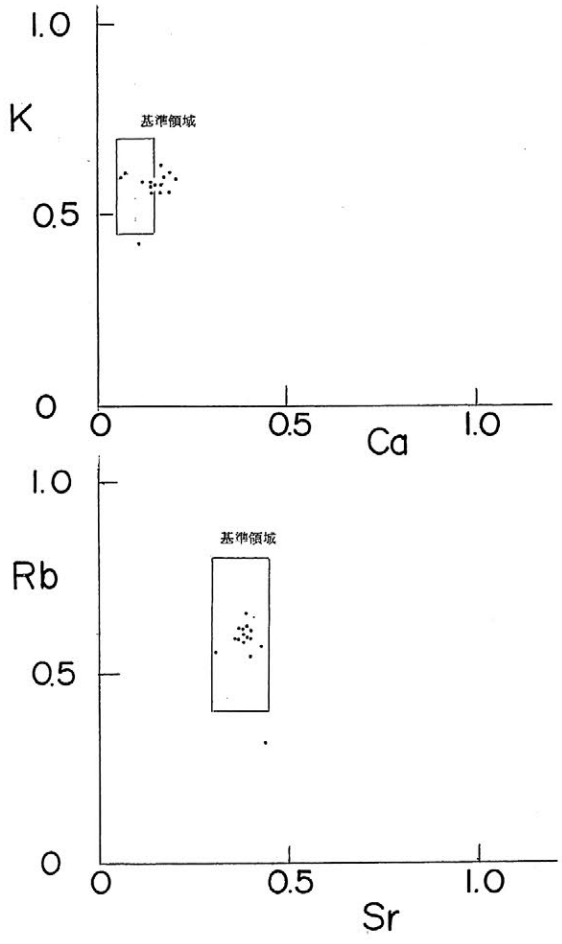
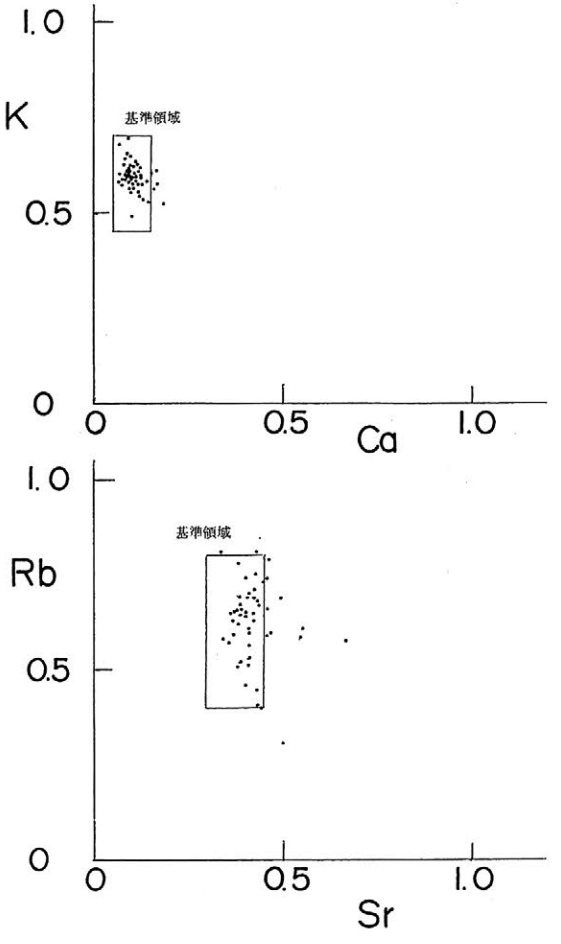


図2　女狭穂塚古墳出土円筒埴輪、形象埴輪（朝顔、家、盾、冑、短甲、鳥など）の両分布図



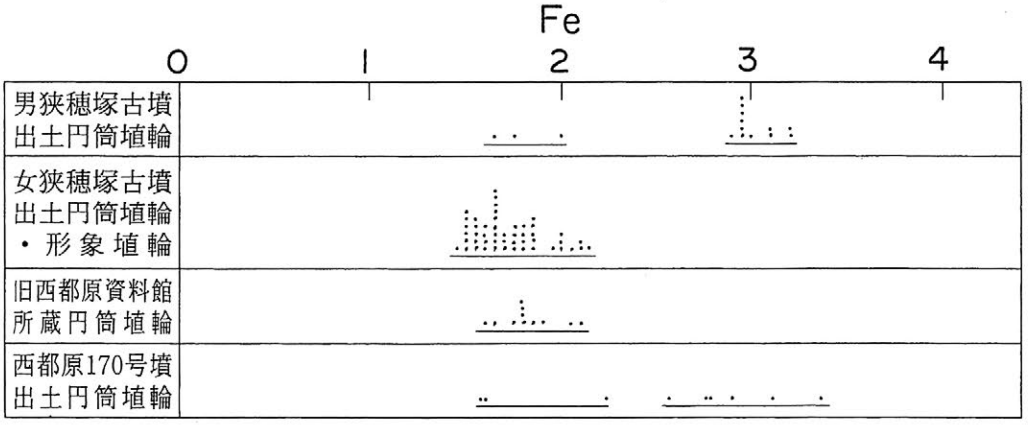


図3　西都原古墳群出土埴輪のFe因子の比較

宮崎県内の古墳出土埴輪、土師器の考古科学的研究

O 北郷泰道・橋本英俊（西都原考古博物館）・有馬義人（新富町教育委員会）・犬木　努・
三辻利一（大阪大谷大学）

1）はじめに

宮崎県内には九州地域最大級の古墳群である西都原古墳群（一ツ瀬川流域古墳群）があるが、その他にも、大淀川流域古墳群、大隅半島志布志湾沿岸地域古墳群、小丸川流域・五ヶ瀬川、塩見川流域古墳群などに多数の首長墓がある。これらの古墳の変遷表「北郷泰道著　日本の遺跡１　西都原古墳群（同成社）による」を図１に示しておく。

これらの古墳からは大量の土師器、埴輪が出土している。これらの土製品の小破片（5~10mm 四方程度）の蛍光Ｘ線分析による情報をその製作技法と絡めて理解し、須恵器とともに、宮崎県の古墳時代を考える基礎データの一つにしたいというのが、本研究の目的である。

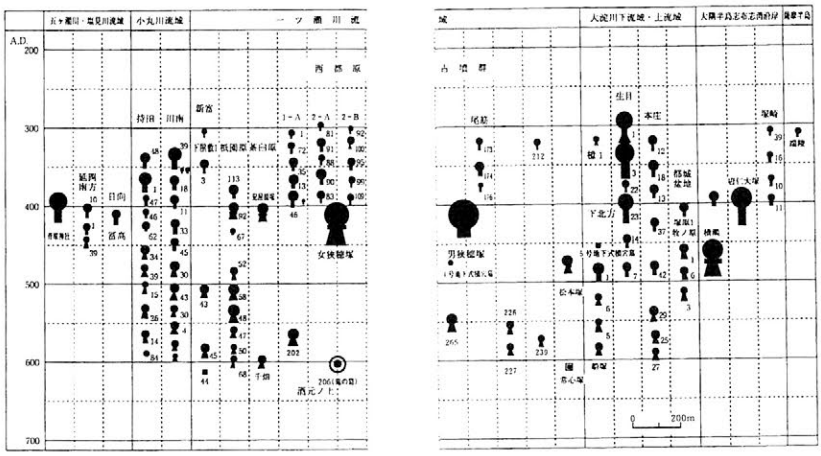


表１　日向における首長墓の変遷

2）分析結果

宮崎県内のいくつかの古墳出土埴輪の胎土の化学特性をつぎに示す。図１には西都原古墳群の古墳でも台地上にはなく、その周辺にある古墳の埴輪の両分布図を図１に示す。K-Ca 分布図では西都原基準領域内に分布し、台地上の埴輪胎土との類似性を示すが、Rb-Sr 分布図では基準領域をずれ、宮崎領域内に分布することがわかる。台地上の古墳出土埴輪胎土とは微妙な差違があることがわかる。このことはこれらの古墳出土埴輪は台地上の古墳出土埴輪とは別の素材粘土を使用したことを示す。

図２には宮崎市内の古墳出土埴輪の両分布図を示す。これらの殆どの埴輪を包含するようにして宮崎領域を描いてある。両分布図で西都原基準領域とは明らかにずれており、胎土は全く異なることを示している。西都原古墳群でも、古墳ごとに胎土の長石系因子には微妙な地域があったが、宮崎市内の古墳についても、宮崎領域内で微妙な地域差がある。しかし、その小地域差を示そうとすると、各古墳ごとにさらに多くの破片試料を分析しなければならない。図２の Rb-Sr 分布図をみると、No.38、39、40、41 の４点の埴輪は同じ生目古墳群内の他の古墳出土埴輪とは少しずれて分布しており、生目古墳群内の埴輪にも

小地域差がある可能性を示している。

図３には新富町と国富町の古墳出土埴輪の両分布図を示す。西都原台地に近い新富町の新田原古墳の埴輪は K-Ca 分布図では西都原基準領域に分布し、胎土の類似性を示すが、国富町の本庄古墳群の埴輪は宮崎領域に分布し、近接する宮崎市内の古墳出土埴輪の胎土との類似性を示す。それぞれ、後背地の地質の類似性を反映しているもとの解釈される。このようなデータを集積することによって、宮崎県内の埴輪の生産と供給問題をその製作技法と絡めて理解してくことができる。

図１　西都市の古墳出土埴輪の両分布図

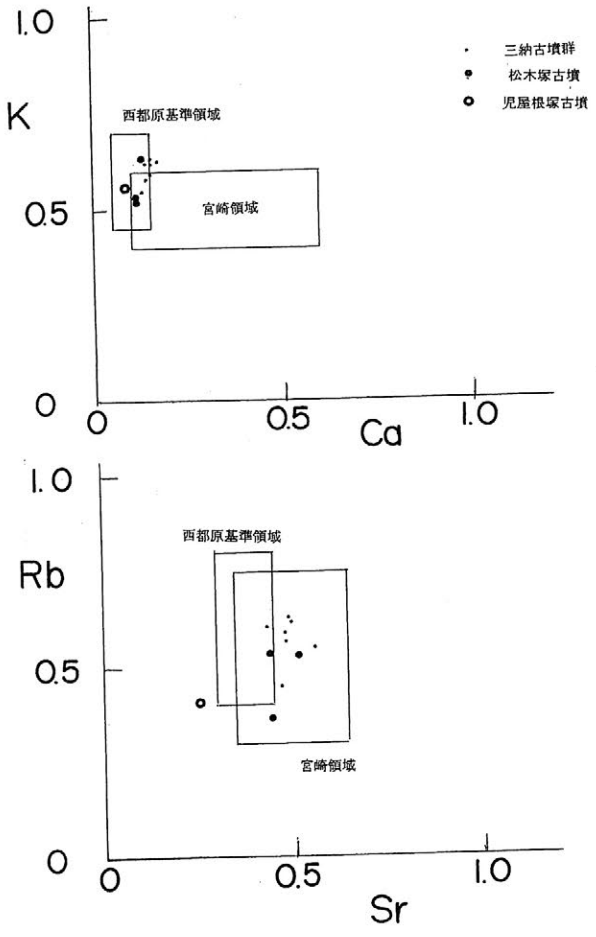


図２　宮崎市の古墳出土埴輪の両分布図

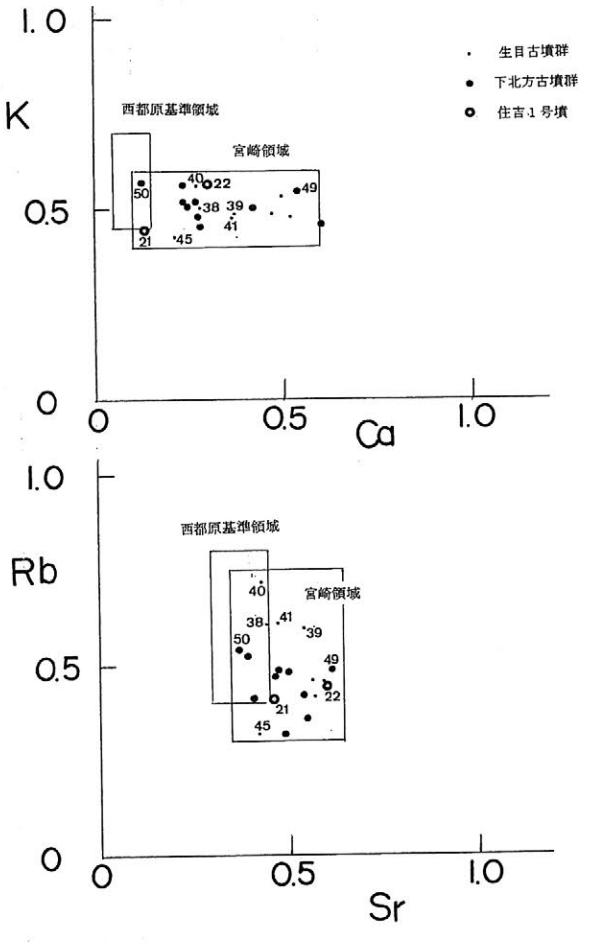
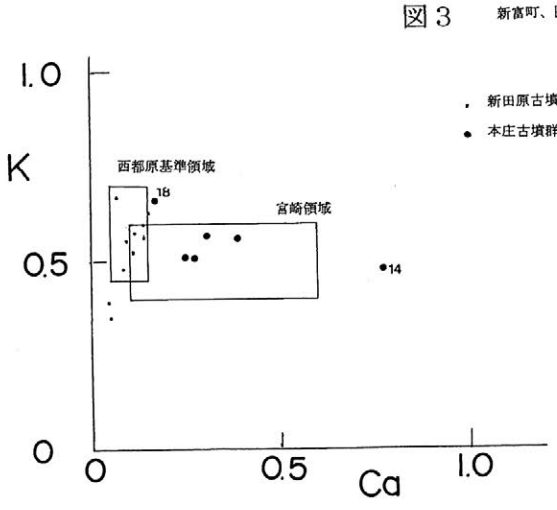
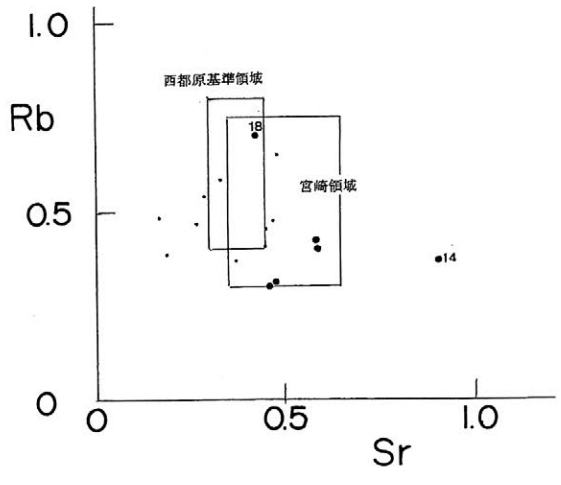


図３　新富町、国富町の古墳出土埴輪の両分布図





P—90

徳之島、カムイヤキ窯群出土陶器、粘土、岩石の蛍光X線分析

O 新里亮人（伊仙町歴史民俗資料館）・三辻利一（鹿児島国際大学）

1）はじめに

優れた機能をもつ完全自動式の蛍光X線分析装置が市販されるようになり、大量の土器小破片試料の分析が可能になった。この装置を使って全国各地の窯跡出土須恵器が大量に分析され、K-Ca、Rb-Sr の両分布図上で、須恵器に地域差があることが実証された。全国各地の花崗岩類の分析データから、これら４元素は母岩を構成する主成分鉱物である長石類に起因することが分かった。長石類が母岩や母岩が風化して生成した粘土の地域差を支配している訳である。この結果、これら４因子を使った２群間判別分析法で各窯群に帰属するための必要条件が求めることができ、須恵器産地推定法が開発されることになった。

徳之島のカムイヤキ窯跡群は 100 基を越える窯を擁する大規模窯跡群である。外部地域に製品を供給するために生産活動を行ったと考えられる。土器類の伝播流通を追跡しようとすると、大量の土器試料の産地推定のデータが必要である。この点で蛍光X線分析法はきわめて有効である。カムイヤキ陶器の伝播流通を追跡する方法を開発するためにはまず、カムイヤキ陶器の化学特性を求めておくことが必要である。本研究ではカムイヤキ陶器の化学特性を求めるとともに、カムイヤキ陶器の産地推定法を使って徳之島内の消費地遺跡である川嶺辻遺跡から出土したカムイヤキ陶器および、島外から搬入されたと推定される陶器の産地を推定した結果について報告する。また、粘土、岩石の分析データも併せて報告する。

2）分析結果

カムイヤキ窯群の陶器の両分布図の例を図１、２に示しておく。両図に描かれているカムイヤキ領域は今回分析した 200 点を越える窯跡出土陶器の分析値を殆ど包含するようにして描かれた。Rb-Sr 分布図では殆どの試料はカムイヤキ領域に分布した。しかし、K-Ca 分布図では少数の試料がカムイヤキ領域をずれた。通常、火成岩の分析データではKとRb、CaとSrは正の相関性をもつ。カムイヤキ領域をずれた試料はCaとSrの間には正の相関性が崩れていることになる。そのため、「Ca 異常」と名ずけられた。粘土生成の過程で Ca が混入したためとみられる。「Ca 異常」を示す陶器は阿三亀焼、阿三柳田（北）（南）支群に集中しており、他の地区の窯跡出土陶器には「Ca 異常」を示した陶器は殆どなかった。この結果、判別分析では Ca 因子を除外することにした。その代わり、カムイヤキ陶器には Fe 因子が異常に多いという特徴があり、K、Fe、Rb、Sr の４因子をつかった判別分析法が適用されることになった。

つぎに、島内の消費地遺跡とみられる川嶺辻遺跡から出土した陶器の両分布図の例を図３、４に示す。図３では「Ca 異常」を示す試料が含まれているが、すべての試料は Rb-Sr 分布図ではカムイヤキ領域に分布しており、すべて、カムイヤキ陶器と推定される。阿三地区の製品とみられる。また、図４の島外からの搬入品とみられる陶器の中に、鹿児島県の本土側の中岳山麓窯群の製品とみられる試料が３点含まれており、中岳山麓窯群の製品が奄美諸島にまで供給されていた可能性がでてきた。

図1　第4支群第1地点出土試料の両分布図

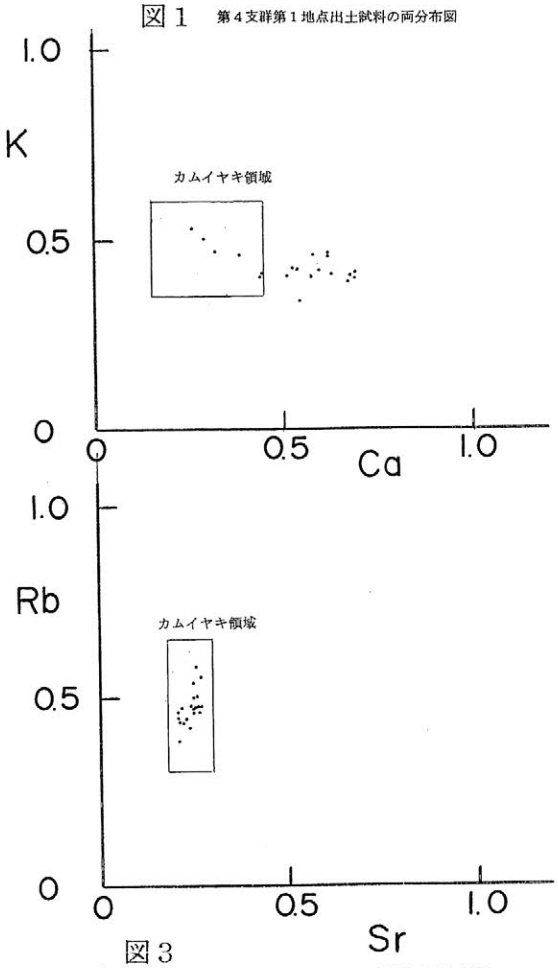


図2　第5支群第3地点出土試料の両分布図

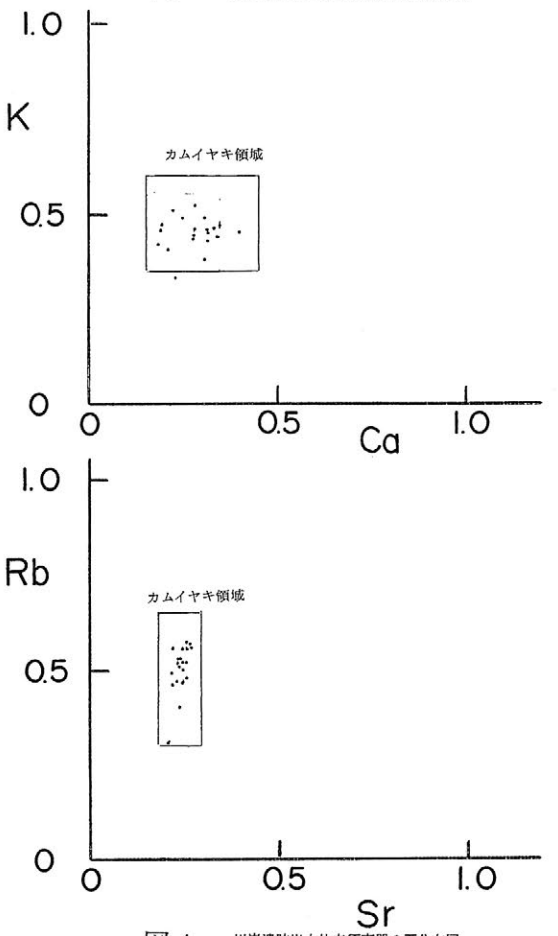


図3　川嶺辻遺跡（伊仙町）出土陶器片の両分布図

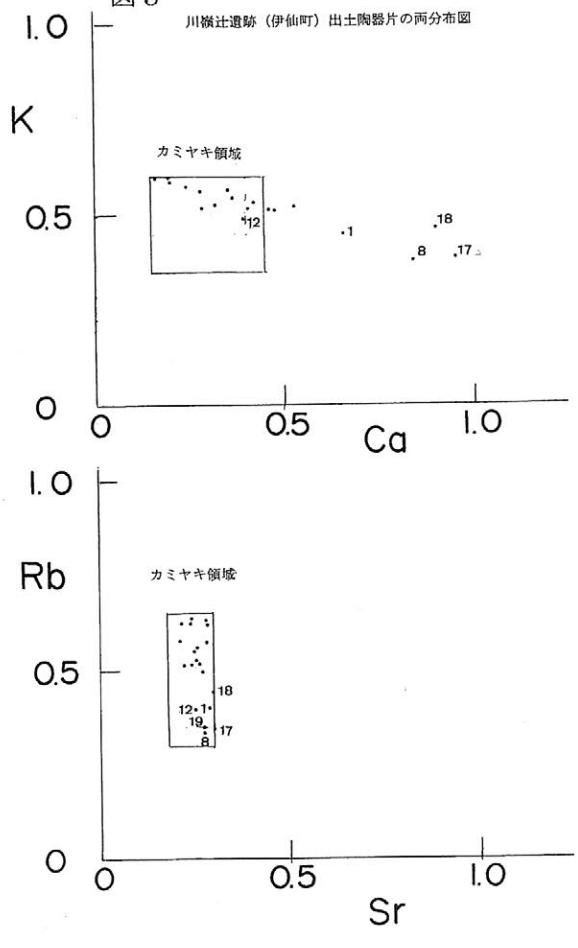
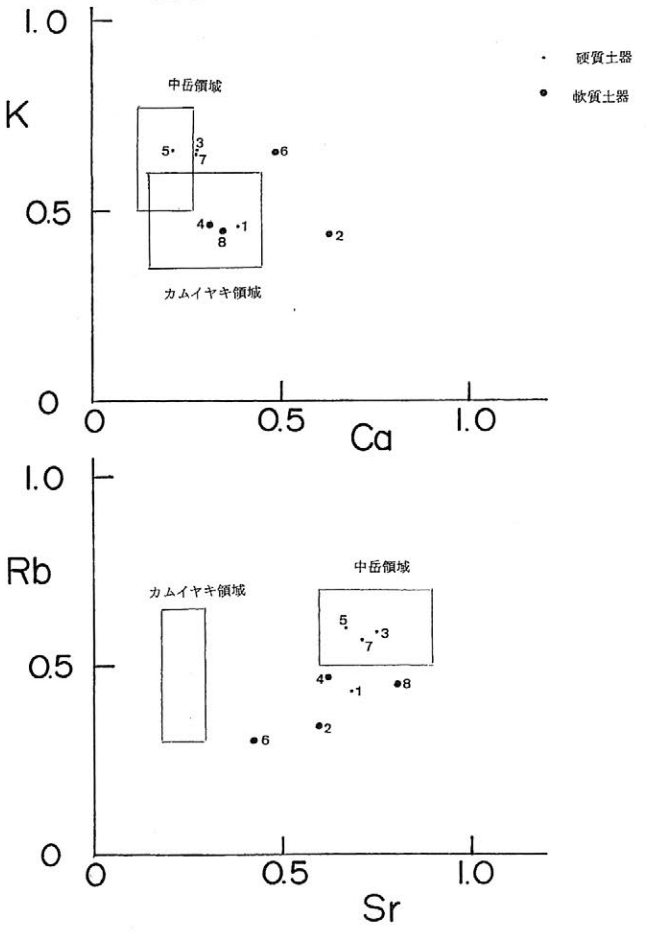


図4　川嶺遺跡出土外来須恵器の両分布図



P−91

徳之島の遺跡出土軟質土器の考古科学的研究

O新里亮人（伊仙町歴史民俗資料館）・三辻利一（鹿児島国際大学）

1）はじめに

徳之島伊仙町にはカムイヤキ陶器を大量に生産した大規模窯群が発見されており、そこから出土した陶器小破片の分析データから、その化学特性も求められている。他方、島内の遺跡からは軟質土器も大量に出土しているが、その胎土の化学特性は出されていない。したがって、蛍光X線分析法による軟質土器の伝播、流通の研究への道は閉ざされた状況にある。本研究では、川嶺辻遺跡から出土した在地産と推定される軟質土器胎土の化学特性を求めるとともに、軟質土器の胎土とカムイヤキ陶器の胎土との比較も行った。また、在地産軟質土器のかめと鍋の器種による胎土の違いも見つけられたので併せて報告する。

2）分析結果

図1には在地産軟質土器の K-Ca 分布図を示す。比較対照の領域としてカムイヤキ領域を描いてあるが、カムイヤキ窯群の多数の陶器片の分析値を包含するようにして描かれたものである。在地産軟質土器にはKが少なく、Ca が異常に多いという共通の特徴があることがわかる。カムイヤキ領域に分布する試料は1点もないことも注目される。このことは在地産軟質土器の素材粘土はカムイヤキ陶器の素材粘土とは異なることを明確に示す。さらに注目されることは「かめ」は比較的まとまって分布するのに対して、鍋は Ca が大きくばらつくことがわかる。このことは「かめ」は同じ粘土を素材として使っているのに対して、鍋は異なる粘土を素材としているか、それとも、Ca に富む混和剤のようなものを添加しているかのどちらかである。このことを考慮に入れると、「かめ」と鍋は同一場所では作ったものではなく、別場所で作られた可能性が高いことを示している。さらに、図1にはカムイヤキ陶器の窯の窯体壁もプロットしてある。窯体壁粘土はカムイヤキ陶器本体の素材粘土とは全くことなる粘土であることは明白である。窯体壁粘土はむしろ、在地産軟質土器の鍋の素材粘土に類似することが分かる。

図2には Rb-Sr 分布図を示す。この図でも在地産軟質土器はカムイヤキ領域には1点も分布しない。また、軟質土器のうち、「かめ」はもとまって分布し、同じ素材粘土を使って作られた土器であることを示している。一方、鍋とカムイヤキ窯の窯体壁は図の左下部分にまとまって分布しており、鍋の素材粘土とカムイヤキ窯の窯体壁の粘土とは類似することを示している。

図3には Na 因子を比較してある。この図でも、大部分の「かめ」は鍋、窯体壁とは異なることが分かる。「かめ」の内、No.23、24、31、35 の4点は K-Ca、Rb-Sr の両分布図でも大部分の「かめ」とは離れて分布しており、胎土が異なることが明らかになった。他方、No.20、27 の鍋は鍋集団から離れて分布しており、このうち、No.27 は両分布図でも「かめ」集団とともに分布し、「かめ」と同じ粘土を素材とした鍋であることを示している。また、カムイヤキ陶器集団はよくまとまって分布しており、在地産の土器集団や窯体壁の粘土とはことなることは明白である。よくまとまって分布するということは素材粘土は選択された粘土であることを示している。カムイヤキ陶器も在地産軟質土器も Fe が異

常に多いという共通の特徴をもっており、徳之島内の粘土を素材として使用したことは間違いないが、硬い「やきもの」を作るにはある程度のKを含むことが必要であったと推察される。島内で粘土を探している内に、硬い「やきもの」に適した粘土が豊富にあることを発見され、カムイヤキ陶器の生産活動に入ったことが推察される。

図1　川嶺辻遺跡出土在地産軟質土器の K-Ca 分布図

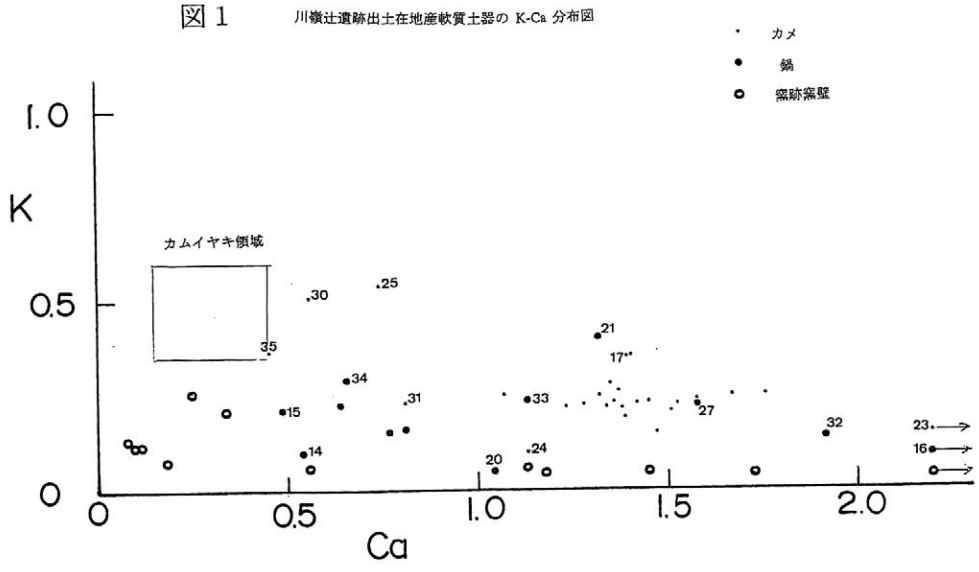


図2　川嶺辻遺跡出土在地産軟質土器の Rb-Sr 分布図

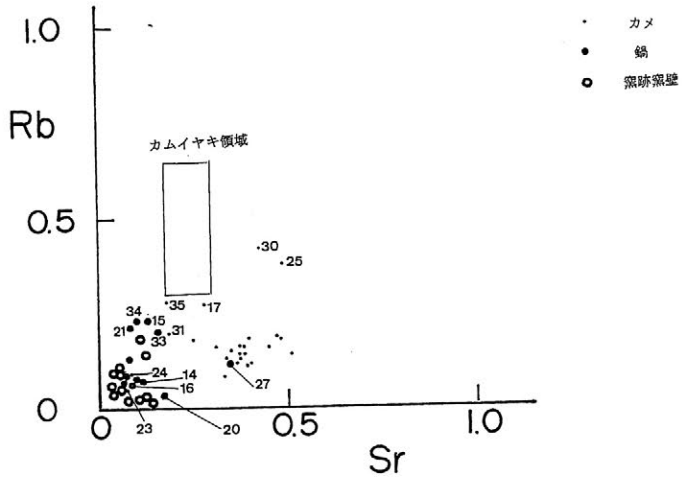
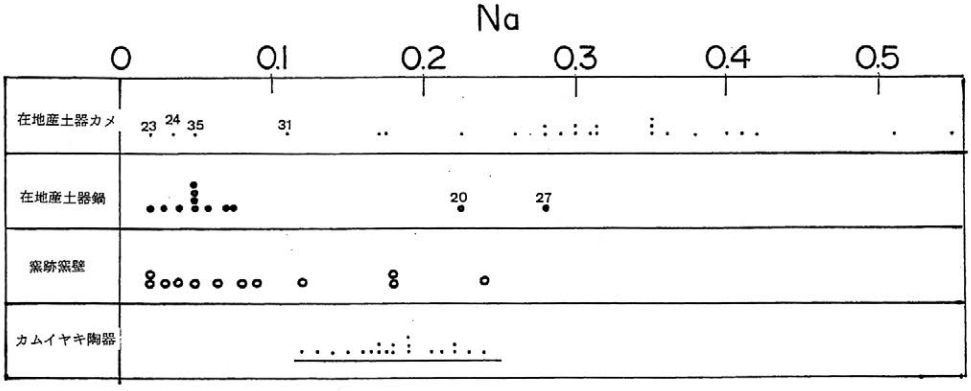


図3　川嶺辻遺跡出土カムイヤキ陶器、及び在地産土器の Na 因子の比較



P−92

南西諸島の遺跡出土カムイヤキ陶器の検出

上村俊雄・O 三辻利一（鹿児島国際大学）・新里亮人（伊仙町歴史民俗資料館）

1）はじめに

徳之島で大量に生産されたカムイヤキ陶器は南西諸島を中心に流通したといわれる。鹿児島県本土側の遺跡からも出土する。Fe 含有量が多いため、カムイヤキ陶器は特異な暗黒色を呈する。そのため、肉眼観察でも比較的容易に他の陶器から見分けられる。一方、蛍光X線分析法では小破片でもカムイヤキ陶器であることを検証することができる。しかも、小破片をつかって大量の試料の分析処理ができるため、カムイヤキ陶器の伝播、流通を追跡する上には適している。本研究では蛍光X線分析法によるカムイヤキ陶器の検出法を開発するとともに、その方法を使って、南西諸島の遺跡から多数のカムイヤキ陶器を検出した結果について報告する。

2）分析結果

南西諸島の遺跡から上村が暗黒色をした陶器の小破片を採集した。また、徳之島伊仙町に在るカムイヤキ窯群から大量の小破片を新里が採集し、三辻が蛍光X線分析を行った。

阿三地区の窯跡から出土するカムイヤキ陶器にはしばしば、Ca 異常が観測されたので、Ca を除外し、その代わり、カムイヤキ陶器の特徴を示す Fe 因子に入れ替え、K、Fe、Rb、Sr の４因子をつかって２群間判別分析を行った。カムイヤキ陶器の相手母集団は視点をかえれば、いくつかの選択の余地がある。例えば、この時期には高麗陶器が搬入されているといわれる。もし、高麗陶器かカムイヤキ陶器かを判別するとすれば、両者の判別分析をすればよい。しかし、ここでは、最近、鹿児島県の本土側の中岳山麓窯群の製品が徳之島、喜界島や種子島の遺跡から検出され、奄美諸島に広く供給されていた可能性がでてきたので、年代は異なるが、カムイヤキ陶器か中岳山麓産の須恵器かを判別する２群間判別分析が適用された。

図１にはカムイヤキ陶器と中岳山麓窯群の須恵器の相互識別をした結果を示す。両軸にとったＤ２（カムイヤキ）、Ｄ２（中岳）はそれぞれ、カムイヤキ群、中岳群の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値である。５％危険率をかけたホテリングのＴ２検定に合格する条件を入れると、Ｄ２（母集団）＜１０が各母集団に帰属するための必要条件となる。さらに相手群の重心からのＤ２（相手群）を活用すると、十分条件も経験的に導入することができる。その結果、カムイヤキ領域はＤ２（カムイヤキ）＜１０、Ｄ２（中岳）＝ 100 ～ 300 であり、中岳領域はＤ２（中岳）＜１０、Ｄ２（カムイヤキ）＝ 200 ～ 800 であることが図１から分かる。両者は完全に相互識別することができる。この判別図を活用すると、もし、消費地遺跡からカムイヤキ陶器が出土すれば、カムイヤキ陶器領域に分布するはずであるし、中岳山麓窯群の製品があれば、中岳領域に分布するはずである。

つぎに、消費地遺跡から出土した陶器片の判別分析の結果の一例として、沖永良部島の遺跡から出土した陶器の小破片の分析結果を図２に示す。半数を越える試料がカムイヤキ領域に分布し、カムイヤキ陶器であることを示している。他方、不明領域に分布した No.35、36、37、38、39、40、41 の７点の試料はカムイヤキ陶器ではなく、他の地域から搬入さ

れた陶器である。もちろん、中岳領域に分布する試料は１点もなく、今回は中岳山麓産の製品は検出されなかった。

図１　カムイヤキ群と中岳群の相互識別（K、Ca、Rb、Sr）

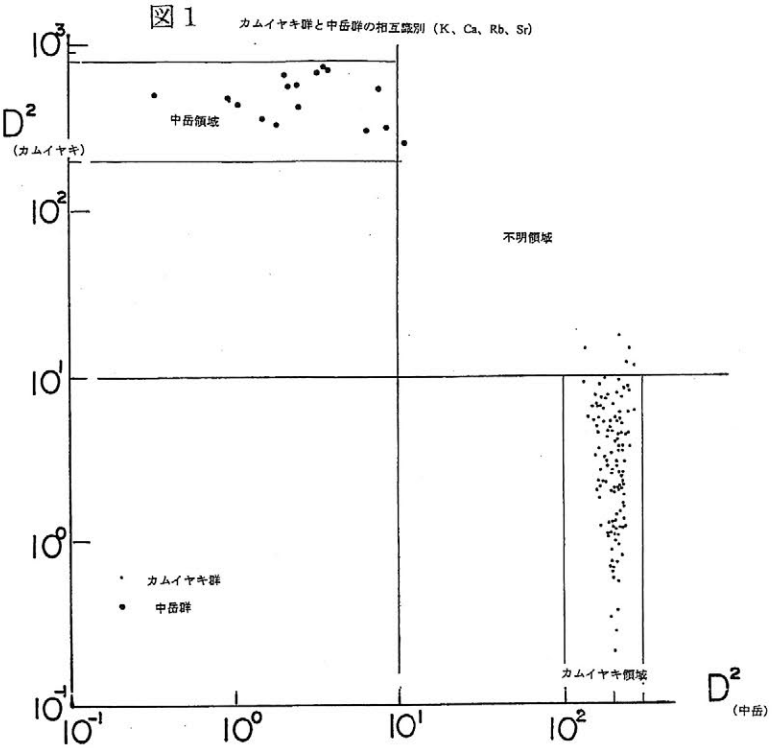
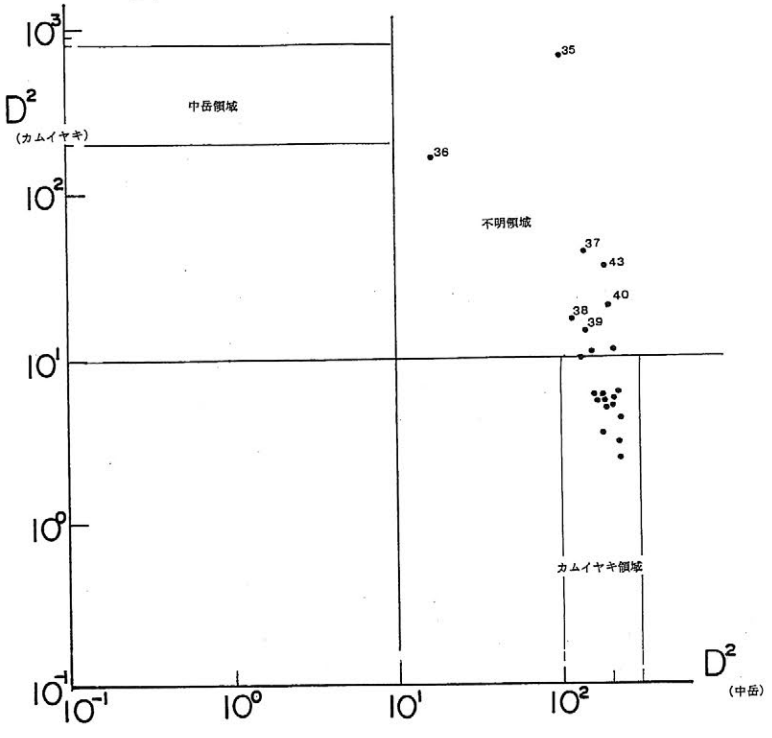


図２　沖永良部島の遺跡出土陶器の産地推定（K、Ca、Rb、Sr）



P−93

マツノト遺跡出土土器の考古科学的研究

O 中山清美（奄美博物館）・三辻利一（鹿児島国際大学）

1）はじめに

南西諸島の島々は花崗岩類からなる島や玄武岩からなる島など、種々様々である。花崗岩類と玄武岩は長石系因子からみて全く対照的な特徴をもつ。花崗岩類にはK、Rb が多く、Ca、Sr がより少ないのに対して、玄武岩にはK、Rb が少なく、逆に、Ca、Sr がより多い。さらに、玄武岩には花崗岩類に比べて、Fe が多いという特徴がある。これらの岩石が風化して生成した残留粘土にも、母岩に対応するような化学特性があることが分かった。この結果、在地産の粘土を素材として作った土器にも、母岩の化学特性を反映して地元特有の化学特性をもつことになる。例えば、屋久島の横峯遺跡から出土する縄文土器にはK、Rb が多く、Ca、Sr が少ないという花崗岩質粘土の特徴を反映しており、逆に、久米島出土軟質土器にはK、Rb が少なく、Ca、Sr が多いという特徴があり、母岩の特徴が反映されている。このようなデータが集積されると、元素分析のデータと土器型式を結びつけて、島々間を流通した土器を追跡する研究を推進することができる。

本研究では、マツノト遺跡から出土した軟質土器を兼久式土器の第１段階、第２段階、第３段階の時期差にわけて土器を分類した。その分類にしたがって、蛍光X線分析の結果を解読した。土器型式による分類を中山が、蛍光X線分析は三辻が分担した。考古学と自然科学を融合した新しい研究の試みである。

2）分析結果

図１には今回分析した全土器試料の両分布図を示す。両分布図とも土器試料は大きく広がって分布しており、いくつもの場所で作られた土器が混ざっていることを明示している。問題はこの中で、マツノト遺跡にとって主体となる土器を抽出できるかどうかである。分析データから試験的に、主体となる土器の抽出を試みた。最大多数が主体となる必要条件であると考えて、できるだけ多くのの土器を包含するようにして仮の領域を設定した。図１では一応、奄美領域としたが、今後、研究の進展につれて、名称変更は十分ありうる。そうすると、形式的に外来土器と推定される土器はすべて、奄美領域内には分布しないことがわかる。考古学的分類と元素分析の結果が一致した訳である。奄美領域を明らかにずれる No.5、7、13、14、19、20、22、23、36、37 の土器にはK、Rb が多く、奄美大島内で作られた土器である可能性は少ない。なお、赤木名グスクから出土した３点の陶器片（No.38、39、40）は Rb-Sr 分布図ではカムイヤキ領域に分布しており、K-Ca 分布図でも、No.38、40 はカムイヤキ領域に分布する。カムイヤキ陶器と推定される。No.39 は Ca に異常値がみられるカムイヤキ陶器であり、徳之島阿三地区窯製品と推定される。

このように、マツノト遺跡からは在地産と推定される土器と、外来品と推定される土器が混在することが明らかになった。図２には兼久式第１段階の、図３には第２段階の、図４には第３段階の土器の両分布図を示す。第１段階では在地産は No.12、27 の２点しかなく、外来品がかなり多い。逆に、第２段階では在地産と推定される土器が圧倒的に多いことが注目される。K、Rb が多い No.13、19 の２点は外来品と推定される。そして、第３

段階では在地産と外来品がほぼ同じである。この研究をさらに推進するためには、在地産とみられる兼久式土器をまとめて分析し、その化学特性を整理することが必要である。

図1 マツノト遺跡出土軟質土器の両分布図

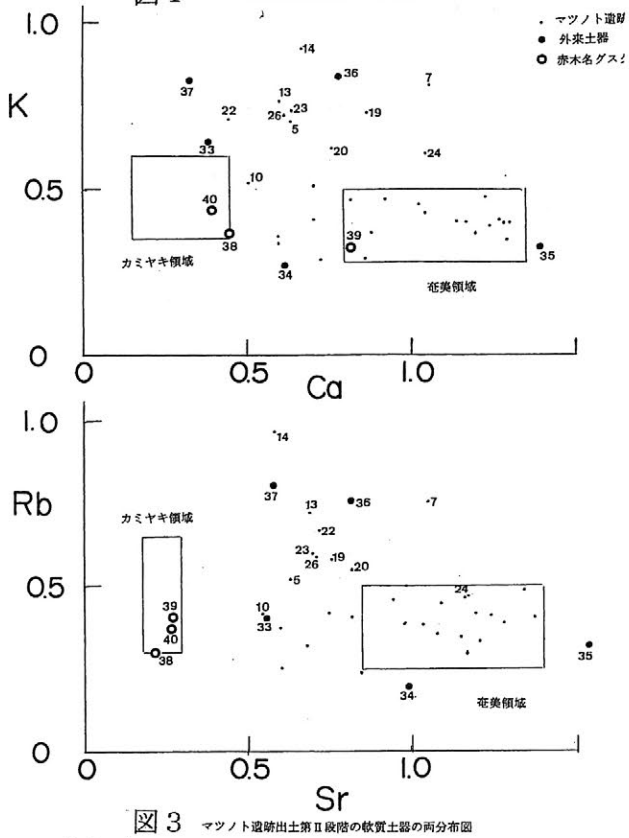


図2 マツノト遺跡出土第Ⅰ段階の軟質土器の両分布図

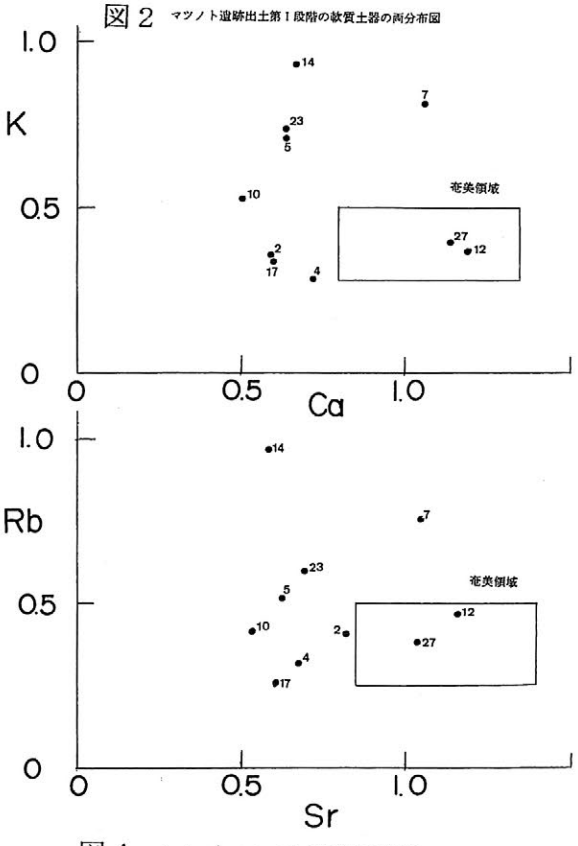


図3 マツノト遺跡出土第Ⅱ段階の軟質土器の両分布図

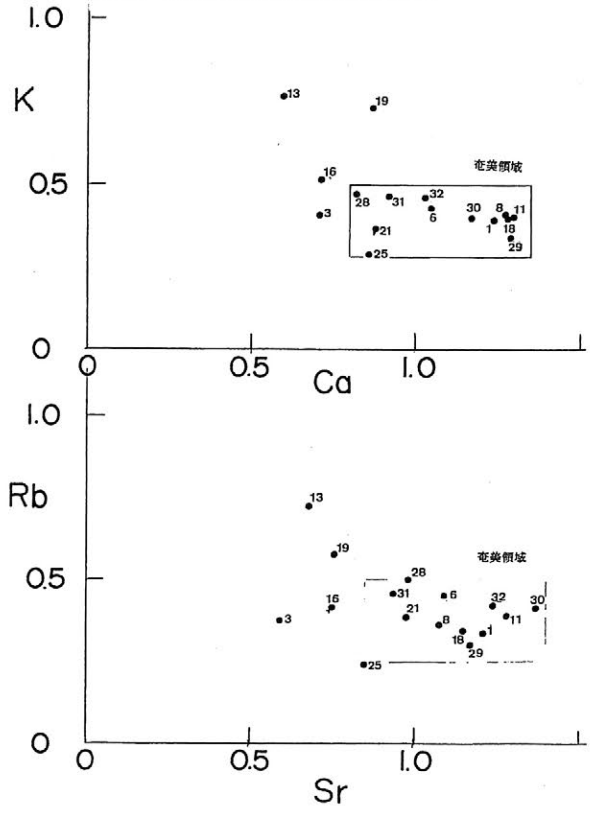
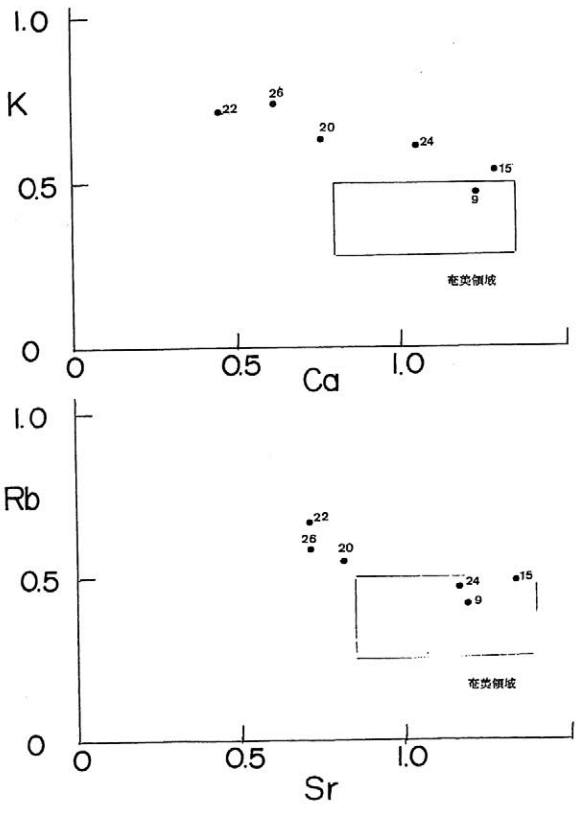


図4 マツノト遺跡出土第Ⅲ段階の軟質土器の両分布図



P−94

K-Ca、Rb-Sr 分布図は何故、有効に地域差を表すのか

O 三辻利一・中園　聡・鐘ヶ江賢二・川宿田好見（鹿児島国際大学）

1）はじめに

全国各地の窯跡出土須恵器の分析データから、K-Ca、Rb-Sr の両分布図が有効に須恵器の地域差を表すことがみつけられた。しかし、この両分布図を須恵器の産地問題の研究に活用しようとすると、何故、両分布図が有効に地域差を表すのかを理解しておかなければならない。

須恵器に地域差があるということは素材粘土に地域差があるということを意味する。粘土は岩石が風化して生成したものである。粘土に地域差があるということは岩石にも地域差があることを示唆する。岩石は鉱物の集合体である。構成鉱物にも地域差があるはずである。そう考えると、どうしても全国的に岩石試料を集めて、分析してみなければならない。大量の須恵器試料を分析した完全自動式蛍光X線分析装置なら、大量の岩石試料を分析できるはずである。問題はどの岩石を分析するかである。こうして、日本列島の地質の土台を構成する花崗岩類が分析対象として選択された。

2）花崗岩類にみられる地域差

花崗岩類の分析データは当然、K-Ca、Rb-Sr の両分布図上にプロットされた。

図１には東北地方の花崗岩類の、図２には中国地方の花崗岩類の Rb-Sr 分布図を示す。全国各地の殆どの花崗岩類はこのベルト帯内に分布した。モンゴル、朝鮮半島、南極大陸の花崗岩類もこのベルト帯に分布するデータがある。図１、２を比較すると、ベルト帯の中で、明らかに東北地方の花崗岩類と中国地方の花崗岩類は異なった位置に分布しており、その化学特性が異なることを示している。花崗岩類にも地域差があったのである。Rb、Sr は微量元素である。このままでは両元素は花崗岩類中のどの鉱物中に含まれるかは不明である。当然、主成分元素の分布図である K-Ca 分布図を作成する必要がある。

図３には近畿地方北部、中部、南部の花崗岩類を代表して、比良山、比叡山、葛城山・金剛山を構成する花崗岩類の K-Ca、Rb-Sr 分布図を示してある。３地域ごとに別れて、ベルト帯の中に分布していることがわかる。この図でも花崗岩類に地域差があることがわかる。さらに、K と Ca、Rb と Sr はそれぞれ、逆相関の関係をもって分布することがわかる。ここではじめて、主成分元素による地域差が示された訳である。花崗岩類を構成する主成分鉱物は石英、長石類（斜長石、アルカリ長石）、黒雲母、角閃石である。このうち、主成分元素 K と Ca を含む鉱物はアルカリ長石と斜長石である。さらに、図４には K と Rb、Ca と Sr の相関図を示してある。明らかに、微量元素 Rb と Sr は主成分元素 K と Ca に正の相関性をもつことを示している。このことは Rb と Sr はそれぞれ、K と Ca に共存して、それぞれ、アルカリ長石、斜長石中に含まれていたことを意味する。

他方、これらの花崗岩類上に分布する窯跡出土須恵器の化学特性を調べると、風化によって、アルカリ元素の含有量は減少しているとはいえ、よく対応することが実証された。したがって、窯跡出土須恵器にみられる地域差は母岩の長石類に支配されていたことになる。地域差は窯跡の後背地の地質に深く関係することが分かった。

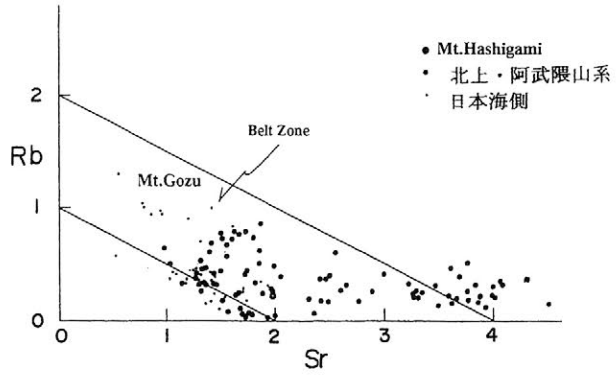


図１　東北地方の花崗岩類の Rb-Sr 分布図

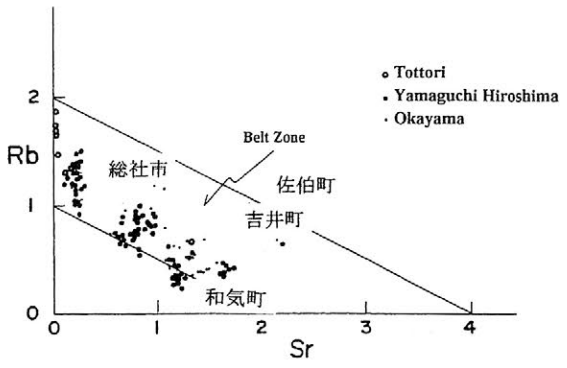


図２　中国地方の花崗岩類の Rb-Sr 分布図

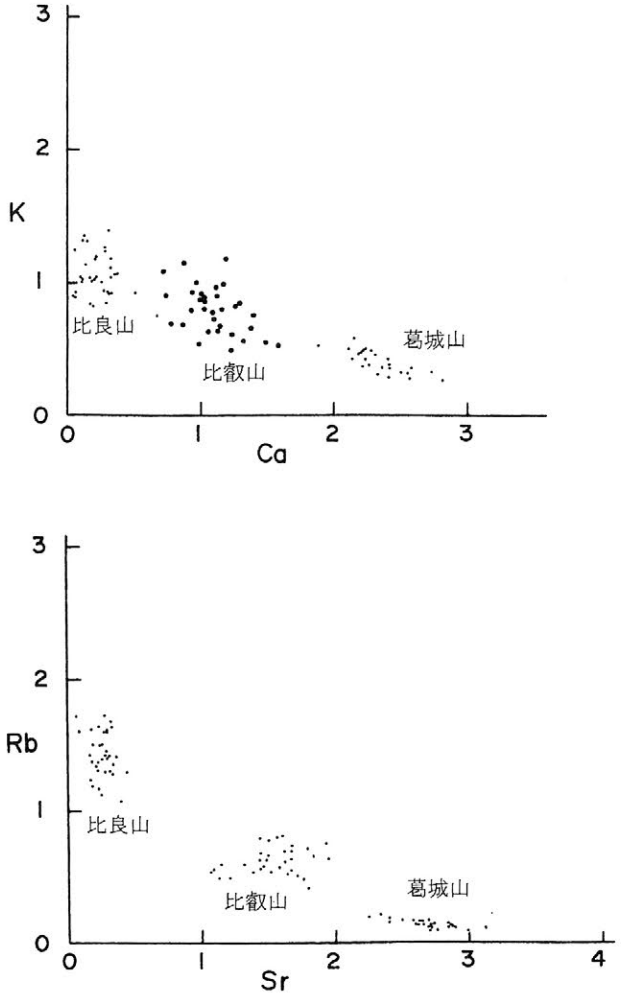


図３　近畿三地域の花崗岩類の K-Ca，Rb-Sr 分布図

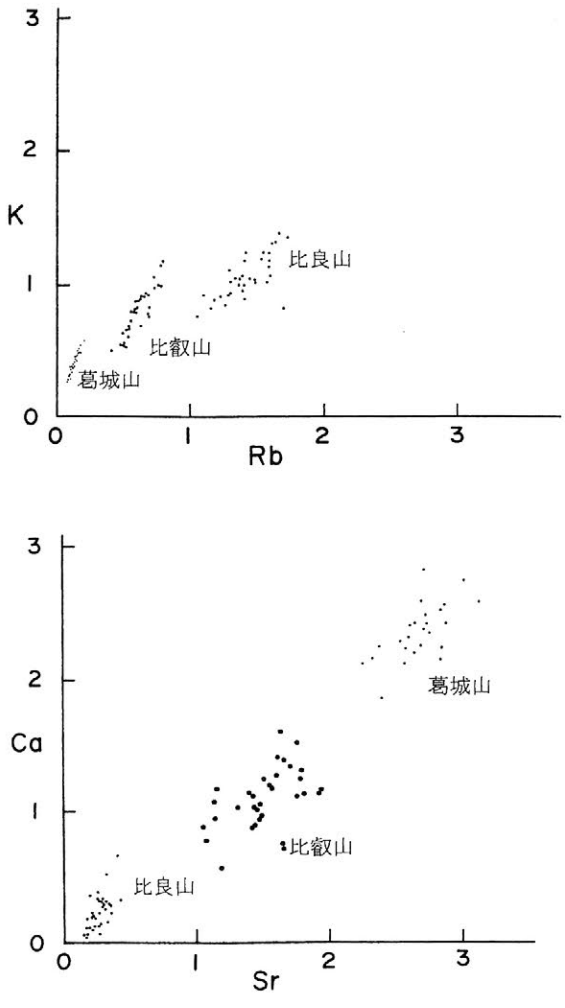


図４　近畿三地域の花崗岩類の K-Rb，Ca-Sr 分布図

P−95

胎土分析からみた南西諸島先史時代土器の地域性（沖縄諸島、先島諸島）

O 新里貴之（鹿児島大学）・西銘　章（沖縄県立埋蔵文化財センター）・島袋綾野（石垣市史編纂室）・宮城弘樹（今帰仁村教育委員会）・安座間　充（金武町教育委員会）・大屋匡史・榊原えりこ（鹿児島大学）・三辻利一（鹿児島国際大学）

1）はじめに

南西諸島の島々の地質は種々様々である。例えば、屋久島や種子島のように花崗岩類からなる島、久米島のように火山性玄武岩からなる島がある。これらの岩石が風化して生成した粘土の化学特性はとくに、K、Ca、Rb、Sr などの長石系因子で異なっており、さらに、母岩の雲母、角閃石に由来する Fe は花崗岩質の島と玄武岩質の島では異なる。したがって、これらの異質の岩石から風化して生成した粘土を素材として作った土器にも上記の因子で地域差があるはずである。各島で作られた土器の地域差を蛍光X線分析法で実証しておけば、土器型式と結びつけて、島々の間を伝播、流通した土器を追跡する研究が可能となる。こうした視点から、長期展望をもって、南西諸島の軟質土器の胎土の蛍光X線分析を計画した。基礎データを集積するためには、大量の土器の小破片（5~10mm 程度）を分析しなければならない。そのために、沖縄諸島・先島諸島と奄美諸島にわけてデータを整理することにした。

2）分析結果

図１には沖縄本島と久米島の軟質土器の K-Ca 分布図を、図２には Rb-Sr 分布図を示す。沖縄本島の土器は具志川市のグスク遺跡、アカジャンガー遺跡、宇堅貝塚（鹿児島国際大学の中園　聡らが採取した試料）から、また、久米島の土器は大原貝塚、清水貝塚から出土した土器である。図１をみると、沖縄本島の土器は Ca が少なく、図の左側に偏在して分布しており、久米島の土器は Ca が多く、図の右側に偏って分布することが分かる。また、Ca がより少ない沖縄本島の土器にはKがより多く、逆に、Ca がより多い久米島の土器にはKがより少ない逆相関の傾向があることが認められる。また、久米島の土器の中に１点、沖縄本島の土器集団にまぎれているものがあるが、これはもしかしたら、沖縄本島から久米島へ搬入された土器であるかもしれない。逆に、沖縄本島の土器の中に、久米島の土器集団に紛れ込んでいるものが数点ある。これらは沖縄本島から久米島への搬入土器である可能性もある。そして、沖縄群と久米島群の境界は現時点では明確ではない。今後、データを集積することによって、これらのことはもっと明確になるであろう。

図２の Rb-Sr 分布図でも、K-Ca 分布図でみられたことと同じようなことが認められる。やはり、沖縄群と久米島群におおよそ別れて分布していることが分かる。そして、久米島土器の中に１点、沖縄の土器集団にまぎれて分布しているものがあり、逆に、沖縄土器の中に数点、久米島の土器群にまぎれているものがある。これらの紛れ込んでいる土器が本当に外部からの搬入土器であるかを判断できる基礎データを集積することが本研究の目的でもある。

図 1　沖縄本島と久米島の遺跡出土軟質土器の K-Ca 分布図

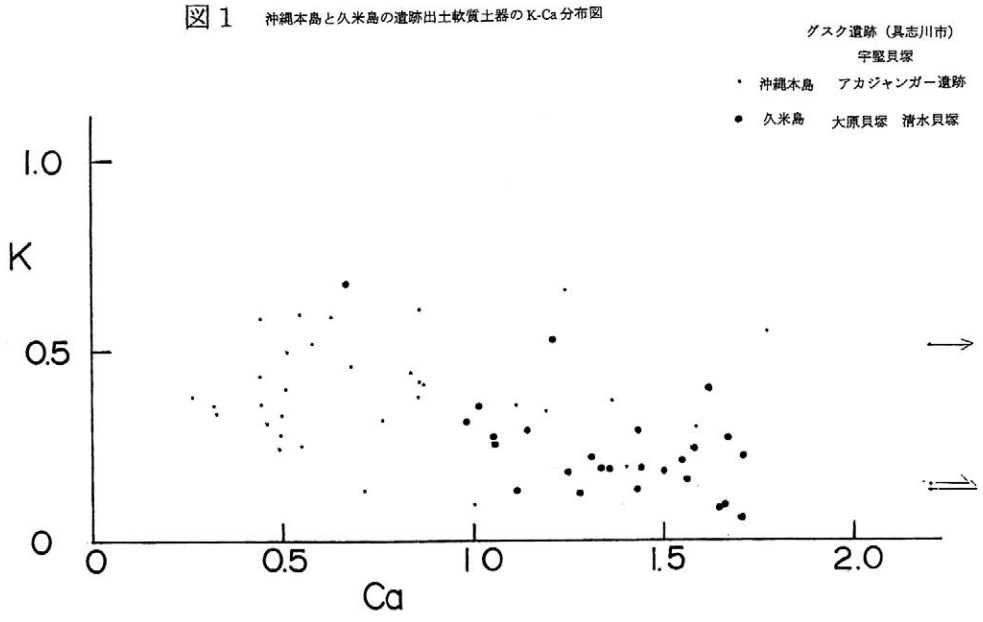
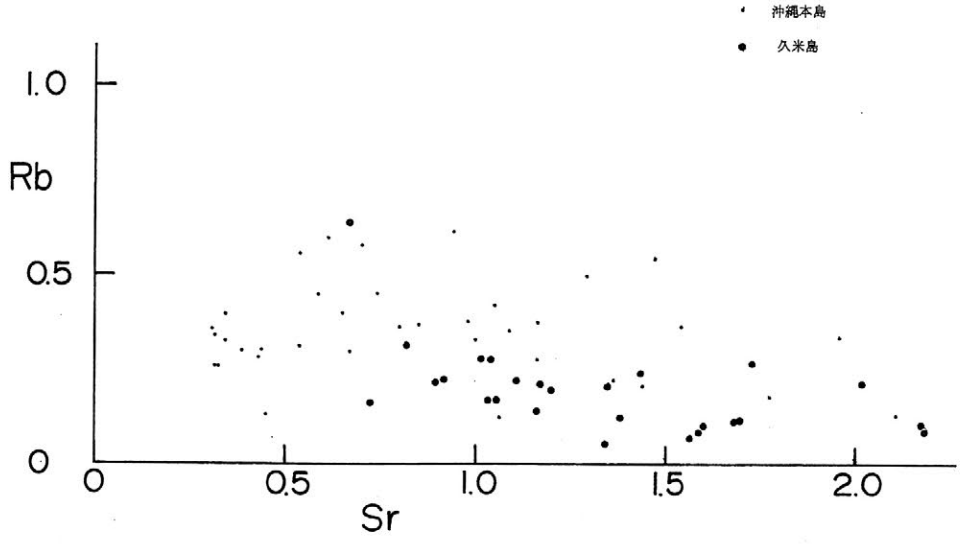


図 2　沖縄本島と久米島の遺跡出土軟質土器の Rb-Sr 分布図



P－96

胎土分析からみた南西諸島先史時代土器の地域性（奄美諸島）

○新里貴之(鹿児島大学)・黒川忠広(鹿児島県立埋蔵文化財センター)・松村智行(龍郷町教育委員会)・鼎丈太郎(瀬戸内町教育委員会)・松本信光(奄美市教育委員会)・新里亮人(伊仙町歴史民俗資料館)・森田太樹(知名町教育委員会)・大屋匡史・榊原えりこ(鹿児島大学)・三辻利一(鹿児島国際大学)

1）はじめに

南西諸島の遺跡からは軟質土器が大量に出土する。軟質土器には生産地である窯跡は残っていないので、直接、産地を推定することはできない。しかし、胎土の化学特性と土器型式を結び合わせて、考古学に有意な情報を引き出すことはできる。このような視点から、軟質土器の胎土分析が各地で進められている。本研究では南西諸島の島々を土器がどのように伝播していたかを追跡するための基礎データを得ることを目的としている。とくに、地質が異なる種子島、屋久島と徳之島、奄美大島の土器の胎土と土器型式にみられる特徴を比較研究する。ここで得られた結果は沖縄本島や先島諸島の土器とも比較研究される。本論文はその研究の始まりに過ぎない。長期展望をもって研究を推進する予定である。

2）分析結果

図１には屋久島の横峯遺跡から出土した縄文土器の両分布図である。大部分の土器はまとまって分布しており、これらをまとめて横峯領域を描いてある。この領域は定性的にしか領域を示さないが、比較対照の領域としては役に立つ。この領域が横峯遺跡の土器の化学特性を示していると考えられる。K、Rb が比較的多いこと、逆に、Ca、Sr が比較的少ないことがその特徴である。横峯領域をずれる No.8、10、13、14 の４点の土器は屋久島の外から搬入された土器と推定される。

一方、図２には奄美大島のマツノト遺跡から出土した軟質土器の両分布図を示す。横峯領域に分布するものは１点もない。マツノト遺跡の土器はやや広がって分布しており、１ヶ所で作られた土器ではないことを示している。何ヶ所かの場所で作られた土器が混ざっているものと推察される。そこで、試験的にまとまって分布する二つのグループを作ってみた。A 群と B 群である。

図３には奄美大島の宇宿貝塚から出土した軟質土器の両分布図を示す。この図には図２で描いた A 群領域と B 群領域を描いてある。そうすると、K-Ca 分布図で A 群領域に分布した数点の土器は Rb-Sr 分布図では A 群領域には分布しないことがわかる。宇宿貝塚には A 群と同じ胎土をもつ土器はないことになる。時代が異なるため、別場所で作られた土器である可能性が高い。しかし、両分布図で B 群領域に分布する土器は数点あることが分かる。両遺跡で共通して出てくる B 群土器が地元、奄美大島産の土器である可能性が高いが、今後、基礎データを集積することによって、そのことを実証しなければならない。他方、A 群土器は在地産の土器なのか、それとも、島外から搬入された土器かの判断は現時点ではできない。土器型式に元素分析のデータを対応させた基礎データの集積が必要である。

図1　横峯遺跡（屋久島）出土縄文土器の両分布図

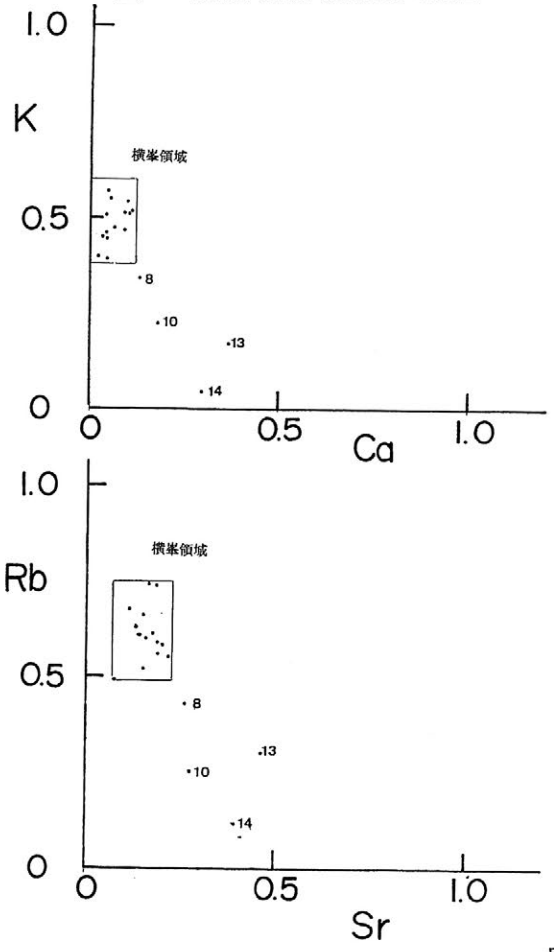


図2　マツノト遺跡出土軟質土器の両分布図

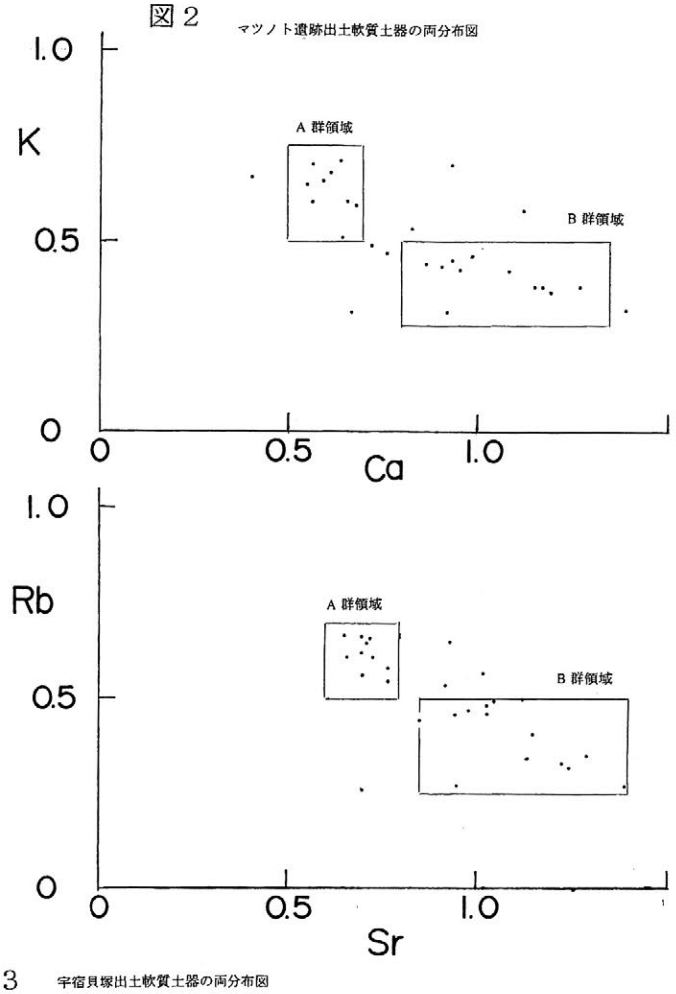
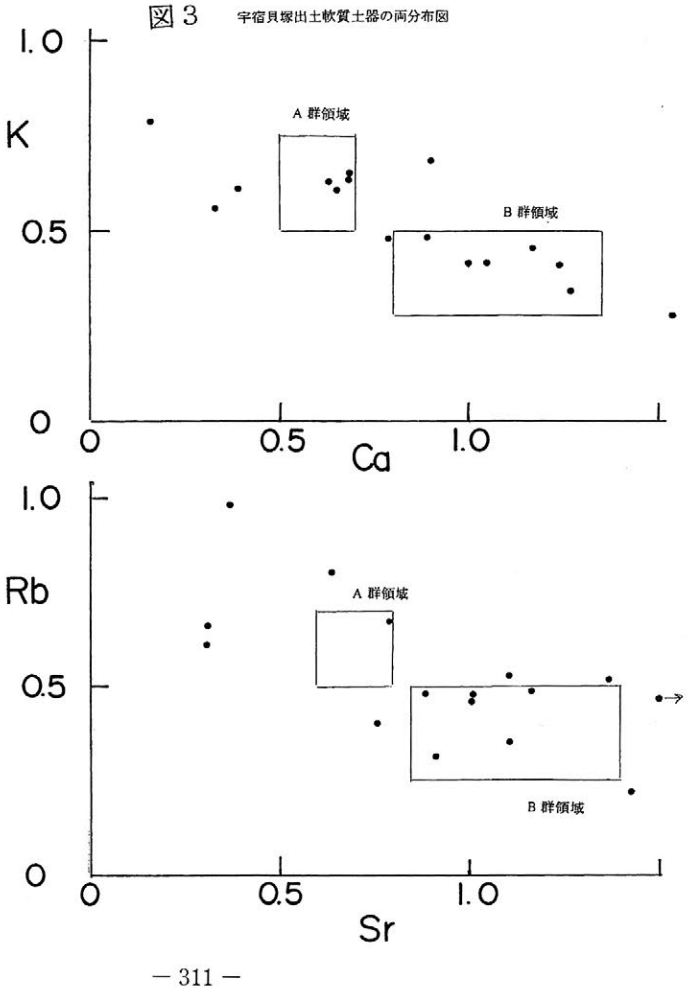


図3　宇宿貝塚出土軟質土器の両分布図



P−97

蛍光X線分析による鹿児島大学構内遺跡出土須恵器の胎土的特徴について

O 中村直子・新里貴之・寒川朋枝・河野祐次・真邊　彩（鹿児島大学）・三辻利一（鹿児島国際大学）

1）はじめに

須恵器は古代最大の窯業生産の産物であり、その生産地である窯跡は全国各地に多数発見されている。須恵器は高度の技法で製作された「やきもの」であり、その製作技術は4世紀から5世紀代にかけて朝鮮半島からもたらされたと考えられている。須恵器の製作技法がもたらされた当初の頃に製作された須恵器は初期須恵器といわれるが、その窯跡としては大阪府堺市の陶邑窯群（多数）、福岡県甘木市の朝倉窯群（3基）、佐賀県佐賀市の神籠池窯（1基）、愛媛県松山市の市場南組窯（1基）、香川県宮山窯（1基）、三谷三郎池窯（1基）、宮城県仙台市の大蓮寺窯（1基）などが知られる。しかし、5世紀代半ば以降の各地の古墳からは多数の須恵器が出土しており、これと歩調を合わせるかのように、陶邑では100基を越える窯跡が発見されている。陶邑では何らかの意味をもって、須恵器の大量生産に入ったことを示唆している。これに対して、地方では限られた地域に少数の窯跡が発見されているが、大規模な窯跡群が発見されているのは陶邑だけである。

古墳時代の須恵器のもつ重要な問題の一つは各地の古墳から出土する須恵器が地元産の製品なのか、それとも、陶邑からの搬入品であるのかという問題がある。さらに、朝鮮半島からもたらされた陶質土器が検出されるかどうかも問題の一つである。この問題の解決法として、地元窯／陶邑間の2群間判別分析法が開発された。同様に、陶邑／伽耶群間の2群間判別分析法によって、朝鮮半島からの陶器の検出も可能である。

本研究では、鹿児島大学構内遺跡から出土した須恵器小破片の一部（5mm 四方程度）を使って蛍光X線分析し、その胎土の特徴を把握することを目的としている。鹿児島大学構内遺跡からは笹貫式土器（6世紀代と推定されている）が多数出土しており、その出土状況から、今回分析した39点の須恵器も6世紀代の古墳時代の須恵器と考えられている。

2）分析結果

通常、分析データはまず、K-Ca、Rb-Sr の両分布図上にプロットされ、土器胎土のおおよその化学特性を把握する。今回分析した須恵器の両分布図を図1に示す。横軸の Ca、Sr がやや、少ないという特徴をもっており、参考的に描いた陶邑領域に多くの試料が対応していることが分かる。陶邑領域は陶邑内の栂、大野池、高蔵寺、陶器山の各地区の多数の窯跡から出土した須恵器片、約 1000 点の分析値の殆どを包含するようにして描かれたものである。このデータから、今回分析した須恵器の殆どは陶邑的胎土であることを示している。しかし、陶邑領域に対応しない須恵器も数点あることがわかる。

鹿児島県内には初期須恵器の窯跡はもちろん、6世紀代の古墳時代の窯跡も発見されていない。したがって、古墳時代と推定される須恵器は外部地域からの搬入品である可能性が高い。そこで、至近距離にある愛媛県松山市の市場南組窯と古墳時代最大の須恵器生産地である陶邑間の判別分析を試みることにした。図2には陶邑群／松山群間の2群間判別分析の結果を示してある。両軸に取ったD2（陶邑）、D2（市場）はそれぞれ、陶邑群、

松山群の重心からのマハラノビスの汎距離の二乗値である。K、Ca、Rb、Sr の４因子を使って計算された。これら４因子は火成岩を構成する最も重要な主成分鉱物である長石類に由来する元素であると考えられている。また、図２ではＤ２（陶邑）、Ｄ２（市場）＝10のところに直線を引いてある。これは５％危険率をかけたホテリングのＴ２検定に合格する条件がＤ２（母集団）＜ 10 であるからである。これが母集団に帰属するための必要条件である。図２をみると、多くの試料が陶邑領域に分布しており、陶邑産須恵器である可能性が大きいことを示している。これで、定性的な産地推定図である図１の結果を理解できることになる。図２から、不明領域に分布する試料も 10 点近くあることが分かる。このうちの４点は陶邑群／伽耶群間の判別分析で伽耶産の可能性がある陶器であることが分かった。図１からはまた、市場産の須恵器は全くないことが分かる。

図１　鹿児島大学構内遺跡出土古墳時代の須恵器の両分布図

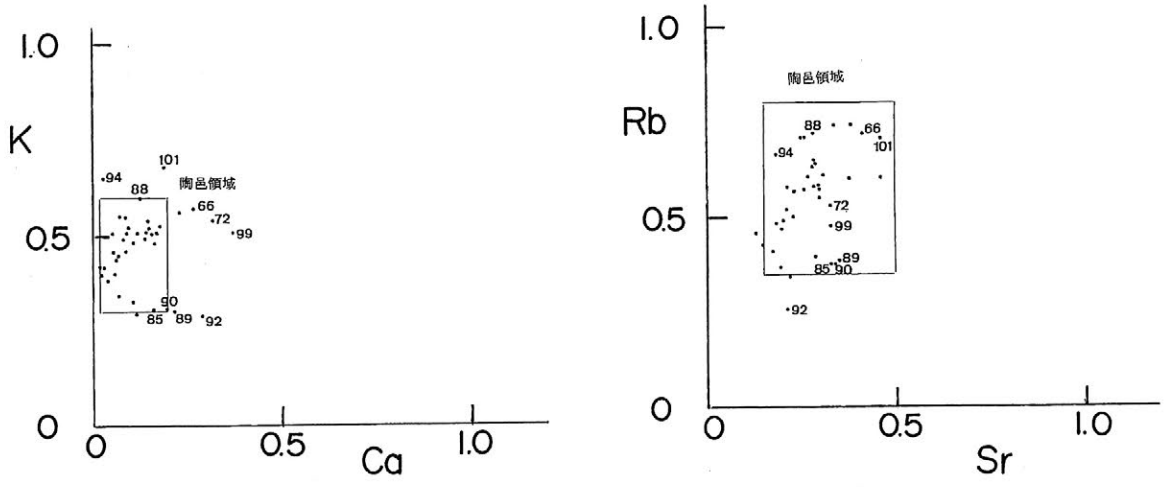
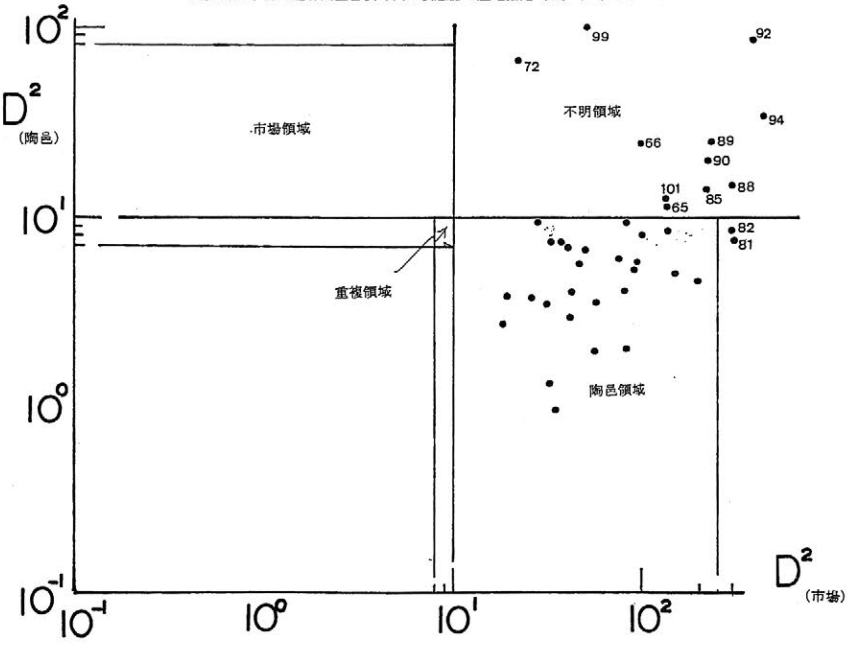


図２　鹿児島大学構内遺跡出土古墳時代の須恵器の産地推定（１）（K、Ca、Rb、Sr 因子使用）



P−98

蛍光X線分析法による鹿児島大学構内遺跡出土笹貫式土器の胎土的特徴について

O 中村直子・新里貴之・寒川朋枝・河野祐次・真邊　彩・本田道輝（鹿児島大学）・三辻利一（鹿児島国際大学）

1）はじめに

笹貫式土器は南九州の古墳時代後半期以降の遺跡に広く分布する軟質土器で、土師器と比べて地域色の強い土器として知られている。6世紀初頭から8世紀前半まで存続したと考えられている。今回分析対象となった鹿児島大学構内遺跡出土の笹貫式土器は6世紀代と推定されている土器である。

笹貫式土器は南九州内でも地域色があり、とくに、鹿児島県内では前方後円墳のない鹿児島湾沿岸地域と、大規模な古墳が造営されている志布志湾沿岸地域（肝属平野部）の差違は大きい。その差は形だけではなく、器種組成も異なっており、生活様式の違いが反映されていると考えられている。志布志湾沿岸地域の土器の中に、薩摩半島か鹿児島湾沿岸地域のものが入っていると、型式学的にも推定されている。この推定を胎土分析で確認することが今回の研究の目的の一つである。さらに、笹貫式土器は南九州の古墳時代の土器には珍しく、遠方（例えば、大阪府久宝寺遺跡、佐賀県の古墳や奄美大島）に運ばれていることも考古学的に確認されており、これらの遠方に運ばれた笹貫式土器が南九州のどの地域のものなのか胎土分析で探ることも将来的な目的としている。

2）分析結果

笹貫式土器は鹿児島大学構内の複数の場所から出土しており、これらの土器の胎土はよくまとまるかどうかわからない。そこで、鹿児島大学構内郡元団地から一括して出土した笹貫式土器から分析することにした。一括して出土した土器片集団であるので、同じところで作られた可能性があり、したがって、同じ胎土である可能性があるからである。分析結果はK-Ca、Rb-Srの両分布図として図1に示す。No.23、47、49の3点を除いて、予想どうりよくまとまって分布することが分かる。このまとまりは1基の窯跡から出土する須恵器の試料集団に比べて大きい。2~3km 四方に広がる多数の窯跡が分布する一つの窯跡群の分析試料の広がりに匹敵する。窯業体系をとる須恵器生産では粘土の採取場所は窯ごとに集中していたものと推定される。それに対して、窯業生産体形をとっていないと推定される笹貫式土器の場合、一つの地域内の固定されないあちこちの場所で粘土を採取し、土器を製作した可能性が考えられる。自然界の不均質性による粘土の小地域差が反映しているものと推察される。しかし、図1に示すようにまとまって分布することは明白で、同じ地域内の粘土を素材として使用したことを意味する。これらの笹貫式土器が郡元団地内遺跡か、その周辺で作られた在地産土器と仮定して、これらの土器集団を包含するようにして郡元領域を描いた。この領域は定性的にしか領界を示さないが、他の地区から出土する笹貫式土器の胎土と比較対照する上には有効である。両分布図での比較から郡元団地から出土した笹貫式土器（かめ）、高坏高坏は郡元領域の両端にそれぞれ、偏在して分布することがわかった。器種によって小地域差があることは興味深い。このことは器種によっ

て素材粘土を使い分けたことを意味する。同じ場所で別の粘土を使い分けたのか、それとも、近くの別場所でそれぞれ、別々に作られたのは不明である。しかし、壷、鉢は領域の全体に分布し、偏在は認められなかった。他方、鹿児島大学構内の別場所（付小プール、付中プール、理学部車庫）出土の笹貫式土器も郡元領域内に分布することが分かった。このことは鹿児島大学構内の各遺跡から出土する多くの笹貫式土器の胎土は同じであり、同じ地域内で作られた土器であることを示している。このことはこれらの土器は在地産の軟質土器であることを示す有力なデータと考えられよう。しかし、万之瀬川床（南さつま市金峰町）出土の笹貫式土器は図２の両分布図に示すように、郡元領域には分布せず、別場所で作られた笹貫式土器であることが明らかになった。このことは今後、鹿児島県内の他の遺跡から出土する笹貫式土器の胎土を徹底的に分析し、整理する必要があることを示している。

今回は笹貫式土器の胎土を長期的な展望をもって分析していく上に、重要な基礎データが得られた。

図１　鹿児島大学構内遺跡郡元団地出土の笹貫式土器の両分布図

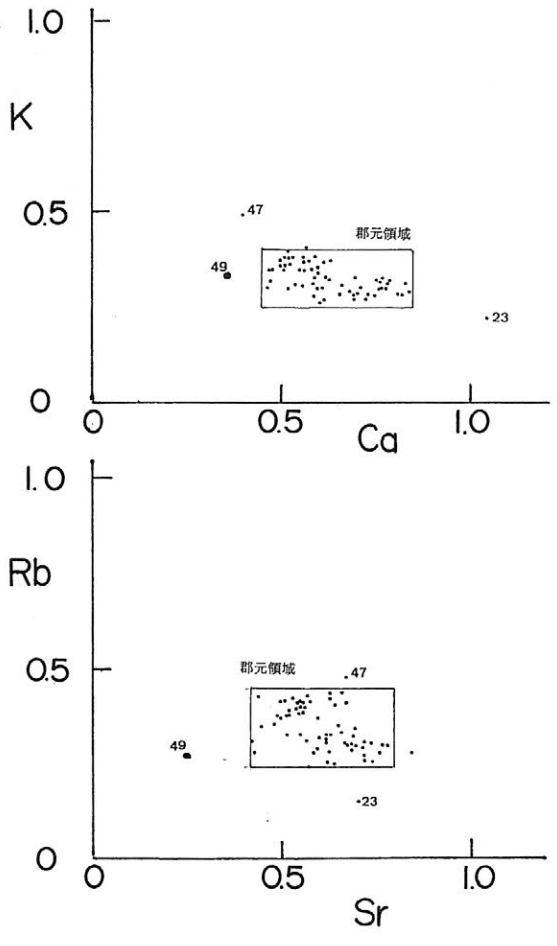
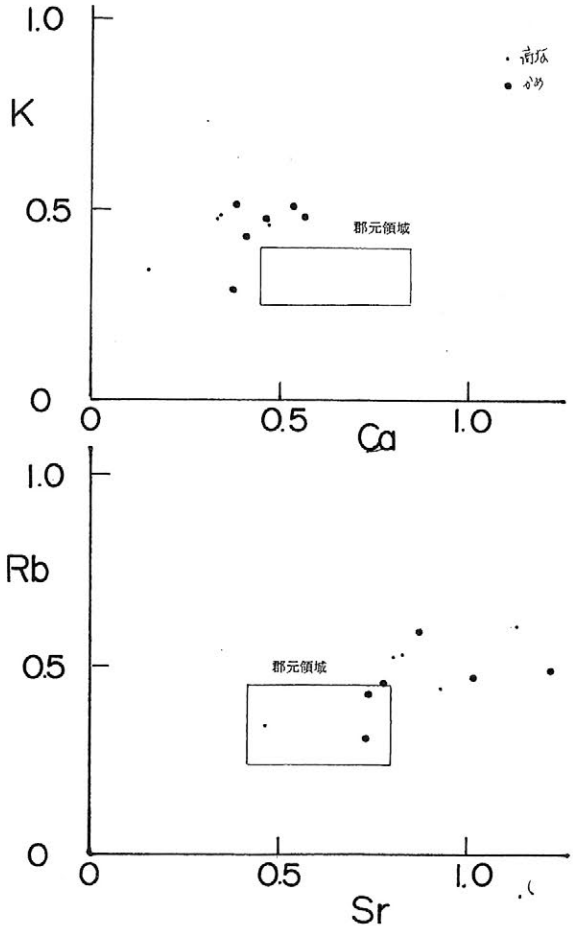


図２　万之瀬川床（南さつま市金峰町）出土の笹貫式土器の両分布図



P−99

フィジーにおける土器の蛍光X線分析

○黒木梨絵，川宿田好見，平川ひろみ，中園　聡（鹿児島国際大学），松本直子（岡山大学）

はじめに

我々は，南太平洋のフィジーにおける考古学的・民族考古学的調査で得られた，土器および土器素材（粘土・砂），フィジー出土の先史時代の土器蛍光X線分析による胎土分析を行っている。本発表では，より詳細な化学特性の把握のため，試料をさらに追加して分析することができたので，その成果について述べる。

太平洋地域においてビスマルク諸島からポリネシア西部までの広域に展開したとされるラピタ文化は，特徴的な文様を持つラピタ土器を指標としているが，その土器が極めて広域に移動していることが近年土器の胎土分析によって確認されている。だが，島嶼間に広がる膨大な土器の分析や時期・地域ごとの土器の胎土の化学特性の把握と，体系的な胎土分析の実施は不十分であるのが現状である。また，対象とする地域は広域であることから，多量の試料の分析が必須であり，その点からも迅速な測定が可能な完全自動型蛍光X線分析は必要である。

本発表では，これまで得られている成果と追加試料（先史時代の土器）の分析の成果を統合し，フィジーの土器や土器素材，伝統的手法による現代の土器とその素材との比較を行う。

試料と方法

今回分析した試料は，フィジー諸島最大の島であるヴィチレブ島西南部のラピタ文化の遺跡であるBourewa遺跡から出土した土器である。型式や器種などの観察，実測，写真撮影などの記録をしたのち，そして試料となる小片を採取した。分析試料は計96点である。いずれも南太平洋大学のP．Nunn教授らによって発掘されたものである。

これらと，すでに分析した同島内の土器及び土器素材との比較を行う。比較試料の大半は現代土器であり，シンガトカ川流域に近接する2つの村（Lawai村・Nakabuta村）で製作されている土器，両村の粘土採取地から得られた粘土，両村で混和材として使用されている砂，東南部のレワ川流域で製作されている土器である。また，現代土器ではないが，現代に近いと推定されるシンガトカ川流域の土器も比較する。さらに，Bourewa遺跡の土器はすでに分析しているが，採集されたものであり，今回分析したBourewa遺跡出土試料との比較を行う。

分析は，三辻利一の方法により実施した。試料は，表面の付着物や汚染を除去するためにミニターを使用して研削を行った。タングステンカーバイド製乳鉢で150μm以下に粉砕し，その粉末試料を内径20mm，厚さ5mmした。試料の調整と分析法は以下の三辻利一の方法による。のビニール製リングの枠に入れ，プレス機で約12tの圧力をかけてプレスし，錠剤試料を作製して蛍光X線分析を行った。使用した装置は，鹿児島国際大学考古学実験室に設置されている完全自動式の波長分散型蛍光X線分析装置（リガクZSX100e）である。この装置に岩石標準試料JG-1を常に装填しておき，1セット（JG-1を含む最大48試料）ごとにそれを測定することによって，定量分析のための標準試料とすると同時に，自動分析の定常状態での進行の確認も行った。

以上の手順で，K，Ca，Fe，Rb，Sr，Na，Mg，Tiの8元素を測定した。分析値は，同時に分析されたJG-1の各元素のX線強度を使った標準化値で表示する。

結果と考察

今回および従来測定したヴィチレブ島の試料全体としての特徴は，日本の土器と比較してRbが

非常に低いことが指摘できる。また，Fe値がやや高めで，K値がやや低い傾向があるが，これらは日本の土器の範疇を超えるほど著しいものではない。ヴィチレブ島内の地域差などの問題もあるが，これらは時期の異なるものを含むことから，概ねヴィチレブ島の化学特性として一応判断できよう。

Bourewa遺跡出土試料の分析結果をみると，ヴィチレブ島内の現代土器の分析結果と比較しても，Ca，Fe，Sr，Na，Mg，Tiの値が大きく，それらとの判別が比較的容易にできる。今回のBourewa遺跡出土品は，前回提供された同遺跡の採集品と比べると，数が多いわりには分析値の散布がさほど大きくないということができ，したがって，胎土分析から積極的に搬入品と主張できる個体はないようである。

なお，Bourewa遺跡の採集品との間では，化学特性がかなり一致するといえるが，採集品において一部ずれが大きなものがある。すなわち，採集品であるため，時期が異なる（下る）可能性や，それがゆえに搬入品も含んでいる可能性がある。特に，Ti，Sr値が高い個体があり，それらは他の試料とも相対的に異なる化学特性をもっていることから，搬入品の可能性が考えられる。もしそうであれば，ヴィチレブ島外からの搬入も考えられる。したがって，今後，周辺の島を含む広域での分析を進める必要がある。

今後も継続してヴィチレブ島内および周辺の島々の土器・粘土・砂礫を分析し，地質条件も含めて基礎データを蓄積するとともに，搬入品か在地製作かという，より細かな判別を可能にする必要性がある。

おわりに

本研究では，フィジーにおける土器胎土の様相とその化学特性を概括的に把握することができた。また，これまでの研究から，ヴィチレブ島内の土器・粘土に地域性があることも不十分ながら確認できた。Bourewa遺跡における先史土器は，特に出土品において現代土器とある程度異なる化学特性をもつことは興味深く，それが素材や胎土の調整法の差によるものか，地域間の地質条件の差によるものかなど追求しなければならない。

今後も継続して土器の蛍光X線分析を行い，太平洋における土器や粘土の化学特性を解明し，ラピタ文化の島嶼間の交渉の解明の一端を担うことを目指したい。

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（S）（課題番号15102002）の成果の一部を含んでいる。

P－100

薩摩半島西半部における縄文～古墳時代土器の化学特性

○黒木梨絵，平川ひろみ，下原美奈，徳留直広，中園　聡（鹿児島国際大学）

はじめに

薩摩半島西半部は，とくに弥生時代において，北部九州，瀬戸内，南西諸島など，他地域のスタイルをもつ多くの土器が出土するほか，甕棺墓や支石墓，環濠集落が存在するなど南九州地域でも特異な地域である。したがって，この地域の在地土器の化学特性を明らかにする必要がある。また，薩摩半島のスタイルの土器は弥生時代併行期の沖縄諸島でも多く出土しており，それらが南九州のどこで製作されたものかという問題と当時の土器の生産消費システムは，遠隔地交渉を検討するにあたり，極めて重要である。かかる問題の重要性に鑑み，これまで南九州の弥生土器を中心に，その前後の土器もあわせて蛍光Ｘ線分析による胎土分析を実施し，データを蓄積してきた。本発表では，通時的変化も考慮しつつ薩摩半島西半部を中心とする地域的な化学特性を把握することを意図した。

試料と方法

薩摩半島西半部を中心に，薩摩半島から出土した縄文土器，弥生土器，土師器，須恵器の胎土分析を実施した。対象とした主な遺跡は，鹿児島県日置市川久保遺跡（42個体），南さつま市高橋遺跡（23個体）等である。これらについて型式や器種の同定，実測などを行ったのち，試料となる小片を採取

試料の調整と分析法は以下の三辻利一の方法による。試料は，表面の付着物や汚染を除去するためにミニターを使用して研削を行った。タングステンカーバイド製乳鉢で150μｍ以下に粉砕し，その粉末試料を内径２０ｍｍ，厚さ５ｍｍのビニール製リングの枠に入れ，プレス機で約12tの圧力をかけてプレスし，錠剤試料を作製して蛍光Ｘ線分析を行った。使用した装置は，鹿児島国際大学考古学実験室に設置されている完全自動式の波長分散型蛍光Ｘ線分析装置（リガクZSX100e）である。この装置に岩石標準試料JG-1を常に装填しておき，1セット（JG-1を含む最大48試料）ごとにそれを測定することによって，定量分析のための標準試料とすると同時に，自動分析の定常状態での進行の確認も行った。

以上の手順で，Ｋ，Ｃａ，Ｆｅ，Ｒｂ，Ｓｒ，Ｎａ，Ｍｇ，Ｔｉの8元素を測定した。分析値は，同時に分析されたJG-1の各元素のX線強度を使った標準化値で表示する。

結果と考察

南九州の胎土の化学特性としては，Ｃａ，Ｓｒ値が高い傾向があるなどの特徴がある。川久保遺跡，高橋遺跡等の分析値はいずれも，そうした南九州の化学特性として我々が把握してきたものの範疇におさまっており，南九州的化学特性を概ね具備しているということができる。川久保遺跡では縄文時代晩期から古墳時代後期までのいずれの時代の資料も概ね類似した化学特性を示しており，明確な時期差は見出しにくい。このことは，本遺跡周辺の土器素材の化学特性をよく表しているということができる。また，大隅半島の土器はＣａ，Ｓｒが低い傾向が顕著であり，大隅半島と薩摩半島の判別は比較的容易である。この観点から眺めると，川久保遺跡，高橋遺跡等は，薩摩半島の化学特性をもっているといえる。そこで，川久保遺跡と高橋遺跡を比較すると，重なりは大きいが重心が明らかにずれており，両遺跡の間には化学特性上の微差があるといえる。このような関係は薩摩半島内でこれまでに測定した各遺跡間でもみることができ，極端な場合，極めて近接する2つの遺跡間における同時期の試料においても，差異を見出すことができる。したがって，少なくとも本地域の弥生社会内においては，常態としての土器の生産・消費システムはド

メスティックなものであったという従来の我々の見方は支持されよう。

以上のような結果から，薩摩半島内あるいはさらに限定して薩摩半島西半部における小地域間でも胎土の差が見出せる可能性があるといえる。したがって，他地域出土の薩摩半島産の土器についても，条件が整えば具体的にどの地域・集落から搬出されたかを推定することが可能であることを示唆しており，本地域の分析データをさらに充実させるとともに土器の型式学的諸特徴と併せて検討することによって，沖縄諸島との間の遠隔地交渉においてどの地域の土器が搬入されたかなど，搬出・搬入の具体像を推定することが可能になるのではないかと期待される。

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（S）（課題番号15102002）の成果の一環である。

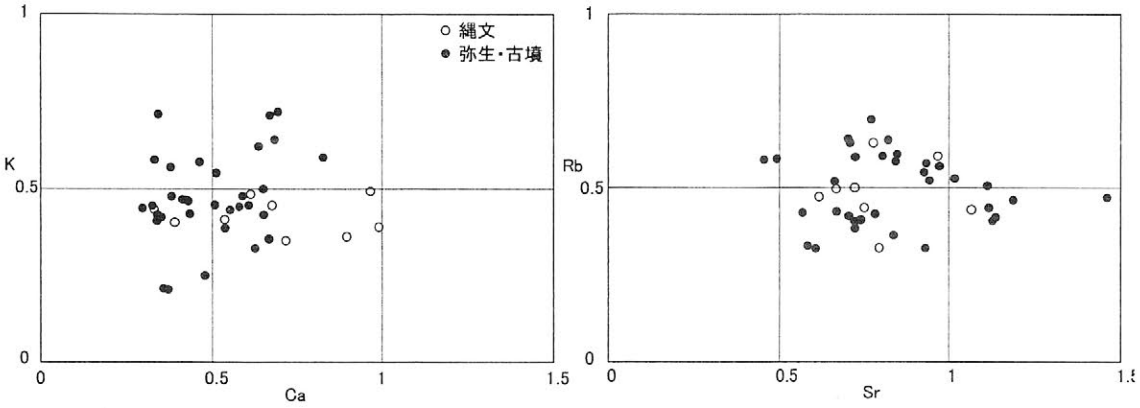


図1　川久保遺跡のK-Ca，Rb-Sr分布図

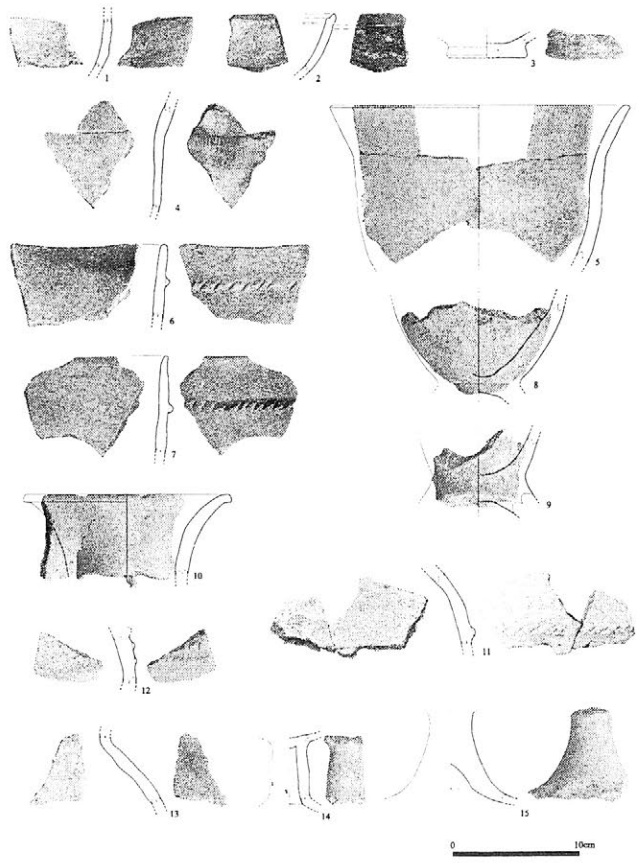


図2　川久保遺跡の土器（一部）
1～3は縄文時代晩期。その他は古墳時代のいわゆる成川式を中心とする。

P−101

初期須恵器窯跡群における須恵器および粘土の蛍光X線分析

○平川ひろみ，花田寛典，米森祐太，田中健太，西元直行，
三辻利一，中園　聡（鹿児島国際大学）

はじめに

初期須恵器窯跡群として知られる朝倉古窯跡群は筑後平野北部に展開しており，山隈窯跡群，小隈窯跡群，八並窯跡群が比較的近接して存在する。これらの窯跡群の化学特性については，演者のうち三辻の研究によりすでに判明しており，蛍光X線分析においては，山隈と小隈は非常に類似した化学特性を示すため相互識別が困難であること，それらと八並との間では一部識別可能であるがやはり化学特性が近似することがわかっている。

ここでは，蛍光X線分析で識別困難な山隈と小隈について，さらに測定元素を増やして測定した結果をもとに，再度，それらの化学特性について検討する。加えて，これらの窯跡群で使用された粘土の採取地がいまだ特定されていないことから，窯跡の周辺から採取された粘土および窯体の蛍光X線分析を行った。さらに，近隣から得られた須恵器，土師器，縄文土器等との比較も試みる。

試料と方法

山隈窯跡群の須恵器・粘土・窯体片・山隈窯跡群周辺採集の縄文時代晩期土器（黒川式）・土師器甕，小隈窯跡群の須恵器・粘土・窯体片・赤焼須恵器，八並窯跡群の粘土・遺跡周辺の花崗岩ばいらん土，以上計231点を蛍光X線分析による測定の対象とした。これらについて可能なものについては型式や器種の同定，調整法などの観察を行ったのち，分析に供した。

試料の調整と分析法は三辻利一の方法による。使用した装置は，鹿児島国際大学考古学実験室に設置されている完全自動式の波長分散型蛍光X線分析装置（リガクZSX100e）である。この装置に岩石標準試料JG-1を常に装填しておき，1セット（JG-1を含む最大48試料）ごとにそれを測定することによって，定量分析のための標準試料とすると同時に，自動分析の定常状態での進行の確認も行った。

以上の手順で，K，Ca，Fe，Rb，Sr，Na，Mg，Tiの8元素を測定した。分析値は，同時に分析されたJG-1の各元素のX線強度を使った標準化値で表示する。それらについて，K−Ca分布図，Rb−Sr分布図を用いて視察をするとともに，山隈と小隈間についてマハラノビスの汎距離による判別分析を行った。さらに，判別分析に未知の試料を当てはめて結果を検討するなどした。

結果と考察

山隈・小隈間では2次元分布図の視察からは微差が確認されたが，化学特性が非常に類似しており，やはり従来どおり判別が困難であった。両者は極めて類似した素材を使用しているということができる。山隈のほうが操業期間が短いと考えられるにも関わらず，両者の間で胎土の判別が困難であることは，化学特性の非常に類似した素材がそれぞれの近くに存在していたか，あるいは同一地点のものを採取していたかのどちらかであろう。

今回分析した粘土試料は須恵器とは異なっており，今回の分析では須恵器の素材となった粘土を特定することができなかった。しかしながら，山隈窯跡周辺の縄文時代晩期土器は，粘土と近い化学特性を示しており，これらの粘土またはそれと非常に類似した粘土がこれら縄文土器の素材となった可能性が考えられる。また，窯体片はこれらの粘土と比較的類似しており，やはり須恵器とは異なっている。

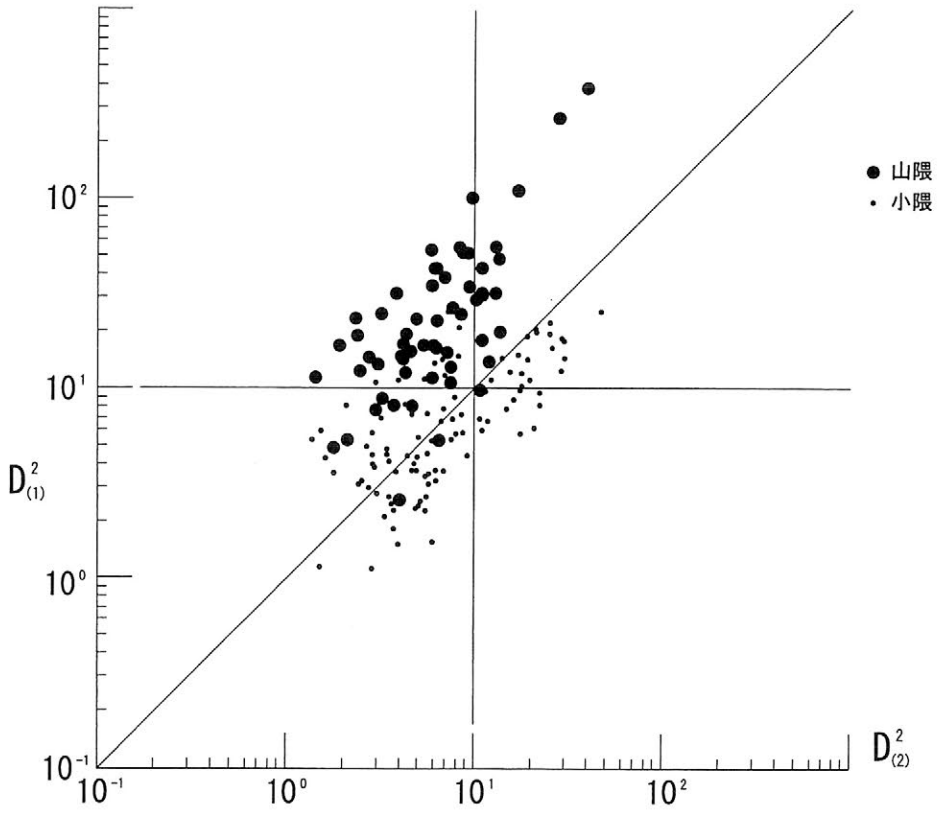


図　山隈窯跡群・小隈窯跡群の須恵器の相互識別

なお，須恵器と同じ作りではあるが鉱物の消失がみられない土師質の土器片も分析したが，須恵器と一致していたため，焼成不良の須恵器と考えられる。一方，赤焼須恵器は型式学的に時期が新しいと推定されたが，分析値も初期須恵器とは異なっており，事前の観察結果と調和的である。

窯跡近隣の古墳から得られた古墳時代後期の須恵器については，型式学的特徴が初期須恵器と明らかに異なっており，胎土の特性もかなり異なっていた。それらの多くはむしろ牛頸窯跡群の化学特性に合致しており，牛頸窯跡群産と考えられる。

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究（S）（課題番号15102002）の成果の一部を含んでいる。

P−102

ポータブル蛍光X線分析装置を用いたイスラーム陶器の白色釉薬の考古化学的研究

○権代紘志・加藤慎啓・中井　泉(東京理科大学理学部応用化学科)
・真道洋子(イスラーム考古学研究所)

背景・目的

シナイ半島に位置するラーヤは、8-12 世紀のイスラーム時代に繁栄した紅海沿岸の主要な港市であった。この遺跡には、地理的要因からエジプトやシリア・パレスティナ、イラクで製造された製品が数多く搬入されており、実際に出土しているイスラーム陶器でもエジプト様式とイラク様式が存在する。我々はこれまでに当遺跡のイスラーム陶器のうち、白色釉薬に関しては、ラスター彩陶器やファイユーム陶器などの分析を集中的に行ってきた。しかし、装飾様式間の違い、また白色釉薬のみで装飾がみられない単色釉陶器など、より広域的なイスラーム陶器の分析・考察は十分ではない。従って、本遺跡から出土する様々なイスラーム陶器について、より広範囲に及ぶ資料を用いて比較･考察することで考古学的にも有意義な情報となることが期待される。そこで本研究では、様々なイスラーム陶器の白色釉薬に着目し、白色釉薬の白色の原因・程度、さらには、製造地・年代を組成分析によって解明・分類し、化学・考古学双方の立場からより広域的な立場での考察に発展させることを目的とした。

実験概要

我々が分析メーカーと共同で開発したエネルギー分散型ポータブル蛍光 X 線分析装置 OURSTEX 100FA-II L をイスラーム・エジプト調査隊 (隊長：川床睦夫博士) の滞在するトゥール研究施設に持ち込み、約 45 日間滞在して分析を行った。測定前処理はアルコールで軽く拭くのみであり、試料をステージに載せるだけで非破壊での測定が可能である。

分析試料

分析した試料には、出土層位、胎土、器形・装飾様式などの考古学的知見から製造地・年代が推定可能である陶器片のほか、白色釉薬のみで考古学的情報に乏しく、製造地・年代の推定が難しい陶器片もある。分析試料の内、前者はイラク製であるラスター彩陶器(23 点)と白地藍彩(4 点)、エジプト製であるファイユーム陶器(40 点)である。さらにファイユーム陶器に関しては、外観からより細かく 3 つのタイプに分類した。一方、後者の考古学的情報の少ない単色釉陶器片に関しては、白濁釉のみ(47 点)、透明釉のみ(29 点)の 2 グループに分類した。白濁釉と透明釉の区別は顕微鏡観察によって行った。測定部位はいずれも白色釉薬部分であり、測定試料数は合計 143 点である。以下、分析結果は元素の含有量に対応する、着目元素の蛍光X線スペクトルのピーク面積強度を用いて表した。

結果・考察

(1) 白色の原因・程度と組成の関係

当時の白色釉薬の白色の原因は、透明釉の場合は気泡のみに由来しており、白濁釉の場合は溶け残った石英の微粒子、スズ石(SnO_2)の微粒子、気泡など複合的な要因に由来している。Fig.1 の Sn vs. Pb プロットは白色釉薬の白色の原因・程度を推定するのに有効なプロットである。横軸の Sn はスズ石による白色の程度を表す指標となり、縦軸の Pb は融剤(PbO)の含有量に対応する。PbO の濃度が増加すると、釉薬の主成分である石英の融点が下がり石英が溶解し、

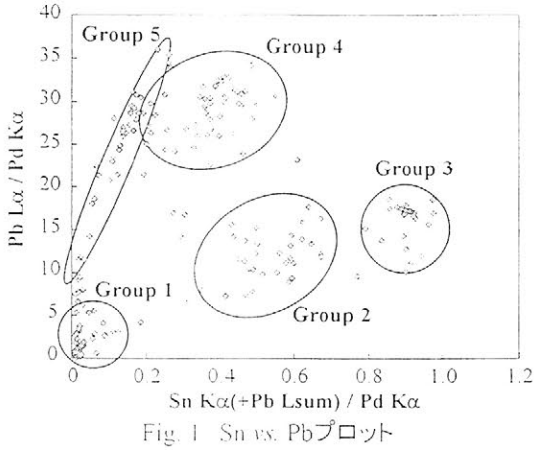


Fig. 1　Sn vs. Pbプロット

透明度が増す傾向がある。逆に PbO の濃度が減少すると、溶け残る石英の微粒子が多くなる。従って、縦軸の Pb は溶け残った石英の微粒子による白色の程度を表す指標と見なせる。また Pb の含有量が多くなると外観上の光沢が増す傾向が認められた。Fig.1 から分析資料をまとまりのある Group 1～5 に分類し、測定試料の外観と比較した。

(2) 装飾様式と白色の原因・程度の関係

Fig.2 は Fig.1 と同一のプロットを、さらに装飾様式別にマークで区別し表したプロットである。ファイユーム陶器がエジプト製、ラスター彩陶器がイラク製であるので、それぞれの領域を実線で示した。このように、イスラーム陶器の白色釉薬における白色の原因・程度を表すプロットと装飾様式とを対応させることにより、詳細な地域の特性化が可能となることがわかった。一方、装飾様式の情報が乏しく製造地が未詳な白濁釉のみの陶器片に関しては Group W1,W2,W3 と 3 タイプに分類された。ここで、装飾様式と製造地が対応している領域に基づいて推察すると、ラスター彩陶器に重なる Group W1 はイラク製、ファイユーム陶器に重なる Group W3 はエジプト製と推定でき、いずれにも属さない Group W2 に関しては、その他の製造地か年代が異なる陶器片であると考えられる。

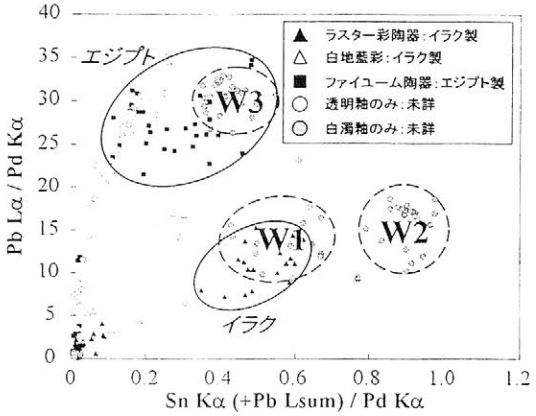


Fig. 2 Sn *vs.* Pbプロットと装飾様式の対応

(3) 装飾様式と融剤の関係

白色釉薬の融剤に関する Ca *vs.* Pb プロットを製造地に着目して Fig.3 を示す。イラク製、エジプト製の区分の基準は、Fig.2 と同様である。また製造地が未詳の白濁釉のみの陶器片の分布に関しても同様に、Group W1,W2,W3 で表した。Group W3 に関しては Fig.2 と同様にエジプト製と重なった。一方、Group W1,W2 に関しては、Fig.2 と異なり、Group W1,W2 両方ともイラク製と重なった。即ち、この Fig.3 から判断すると、スズ石を高濃度に用いて作られた Group W2 はイラク製に近い組成と推測できる。

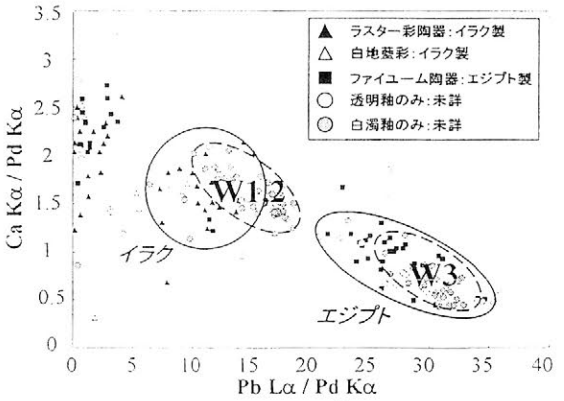


Fig. 3 Ca *vs.* Pbプロット

結論・展望

今回は、ラスター彩陶器やファイユーム陶器だけでなく、透明釉のみの陶器や白濁釉のみの単色釉陶器も含めた様々なイスラーム陶器の白色釉薬を測定対象とした。これによって、白色の原因の推定に有効な Sn *vs.* Pb プロット、融剤に着目した Ca *vs.* Pb プロットにより多様なイスラーム陶器の特性化が行えた。白濁釉に関して、「イラク製」、「エジプト製」、「その他」の 3 タイプの存在を確認し、Ca *vs.* Pb プロットから「その他」はイラク系と推定された。

今後は、今回分類されなかった透明釉のみの陶器片に関しては Fe,Ti 等の他の元素に着目することで地域性を考察していきたい。また、白地藍彩のように点数が少ない試料もあるため、試料数・種類を増加させ統計学的に有意なデータに基づいた考察を進める計画である。さらにラーヤ遺跡だけでなく、その他の遺跡から出土している陶器の白色釉薬も分析し、遺跡間での比較から考古学的知見をさらに深めていきたい。

P－103

史跡津山城跡出土の「作」刻印瓦の胎土分析

行田裕美(岡山県津山市教育委員会)・白石　純(岡山理科大学自然科学研究所)

1．はじめに

史跡津山城跡では保存整備事業に伴い、平成９年度から発掘調査を実施している。そして平成12年度の調査で本丸備中櫓跡北側の通称「万年」と呼ばれる井戸状の排水施設の埋土から「○作」刻印瓦(以下、作刻印瓦とよぶ)が出土した（第１図)。また同じ刻印瓦が津山松平藩上屋敷跡(東京都丸の内一丁目)、尾張藩上屋敷跡(東京都新宿区市谷本村町)などで出土している。これまでの分析では、津山藩と尾張藩出土の作刻印瓦が分析では胎土が異なっており、酷似した刻印瓦でも各国元で生産された瓦が持ち込まれていることが判明した(行田・白石2003)。また、尾張藩の刻印瓦に関しては、国元である名古屋城出土瓦と胎土の比較を実施していないこともあり、考古学・文献調査では国元から持ち込まれていることがわかっていたが、胎土分析による検証が行われていなかった。

第１図　津山城跡出土○作刻印瓦

そこで本研究では、名古屋城と尾張藩上屋敷の作刻印瓦の分析を行い胎土から検討した。そして次の課題として、各国元ではどこでこれらの瓦が生産されたか検証した。今回は津山藩の作瓦の生産地について調べた。

2．分析試料と方法

第１表に作刻印瓦ほかの分析試料を示す。まず作刻印瓦では津山城出土23点、津山松平藩上屋敷　2点、尾張藩上屋敷16点、名古屋城出土2点の合計43点である。また津山城および城下の瓦生産地出土瓦・粘土37点で総合計 80 点の瓦などについての胎土分析を実施した。分析装置はエネルギー分散型蛍光Ｘ線分析計 SEA2010L(ｾｲｺｰｲﾝｽﾂﾙﾒﾝﾂ社製)を使用し、測定した成分はSiO_2、TiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、MnO、MgO、CaO、Na_2O、K_2O、P_2O_5の10成分である。そして胎土比較に有効な成分はTiO_2・CaO・K_2Oの成分であった。そこでこれらの成分を使用して胎土差について検討した。

第1表　胎土分析試料一覧表

遺　跡　名	器種	分析点数
津山城跡	○作瓦	23
津山松平藩上屋敷跡	○作瓦	2
名古屋城	○作瓦	2
尾張藩上屋敷	○作瓦	16
津山城本丸・二の丸・三の丸跡	平瓦	30
林田池ノ内遺跡(粘土採掘坑)	粘土	7

3. 分析結果

散布図により胎土の差異について検討した。第2図 CaO－TiO_2では各国元の作刻印瓦の胎土比較を行った。その結果、津山城跡・津山藩松平屋敷跡と名古屋城跡・尾張藩上屋敷跡の大きく2つの胎土に識別が可能であった。また津山城および名古屋城から出土している瓦のうち各国元でも2つの胎土に分類される可能性がでてきた。

次に第3図 CaO－TiO_2では津山城出土の作刻印瓦の生産地について検討した。その結果、現在までにわかっている林田池ノ内遺跡(瓦生産地遺跡)と作刻印瓦は胎土が異なっており、津山城本丸・二の丸・三の丸出土瓦と林田池ノ内遺跡の粘土採掘坑の粘土が胎土的に類似していた。また一部の作刻印瓦は林田池ノ内と類似するものもあった。

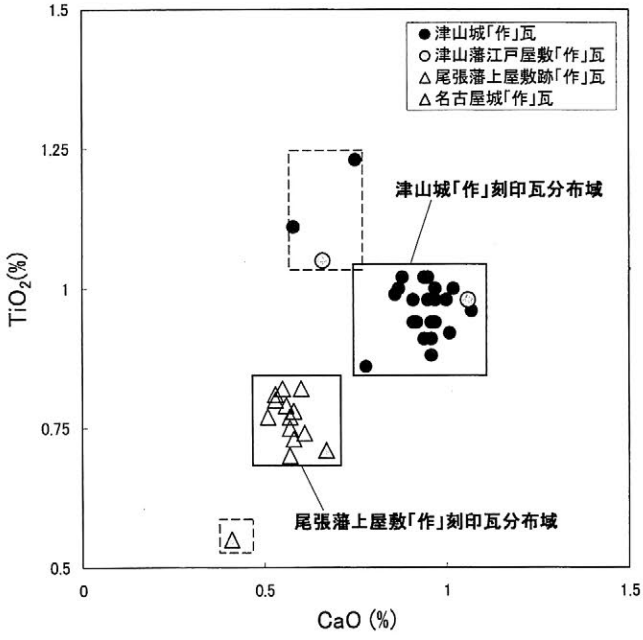
4. まとめ

作刻印瓦の胎土分析を実施し、分析結果からの事実関係を整理すると次のとおりである。

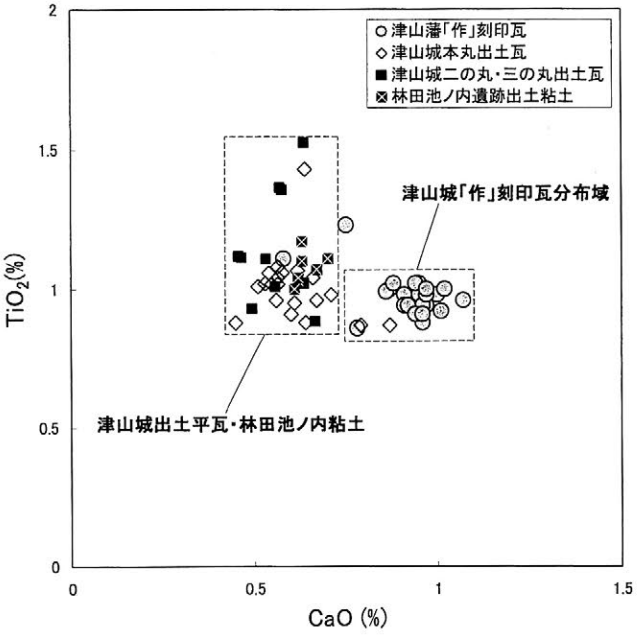
(1) 津山藩、尾張藩の作刻印瓦は各国元で焼かれそれぞれの江戸の上屋敷に運ばれた。つまり、類似した作刻印瓦でも、津山藩と尾張藩の瓦は生産・消費に関係がないことがわかった。

(2) 津山城本丸・二の丸・三の丸出土の瓦は林田池ノ内遺跡粘土採掘坑の粘土が使用されていると推定された。また津山藩の作刻印瓦は林田池ノ内遺跡では生産されていないことが推定された。

今回の分析では、各国元で生産されていることが推定されたが、各国元のどこで生産された瓦か十分に検討することができなかった。今後試料の蓄積を行い再検討したい。



第2図 津山城、尾張藩上屋敷出土「作」刻印瓦の比較 (CaO-TiO_2散布図)



第3図 津山城跡出土「作」刻印瓦と粘土の比較 (CaO-TiO_2散布図)

〈文献〉

行田裕美・白石　純　2003「史跡津山城跡出土の作刻印瓦をめぐって」『東京考古』第21号 東京考古談話会

岡山県内の遺跡から出土した陶棺の胎土分析

岡山理科大学理学部　木下　崇・○山口　一裕・白石　純
津山市教育委員会　小郷　利幸

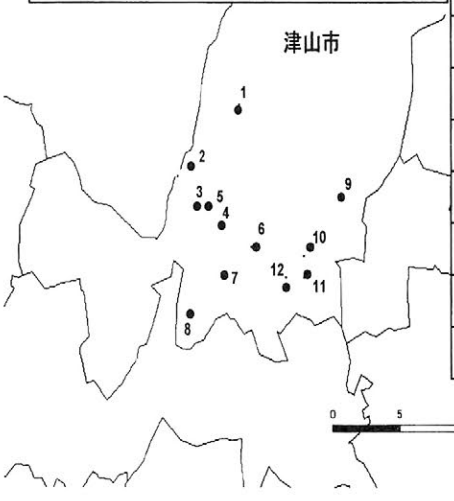
1. はじめに

陶棺は全国 20 府県からの出土が確認されているが，そのほとんどが岡山県内と畿内の遺跡から偏在的に出土している。岡山県では吉井川流域の美作地方に陶棺が多く出土しており，岡山県内においてもその分布に偏在性が見られる。陶棺は古代の吉備政権と大和政権の関係性や吉備国内の首長層の動向を示唆する遺物と考えられ，陶棺の流通経路から，当時の権力者たちの政治的関係が明らかになる可能性がある。しかし，陶棺の胎土分析による産地推定はほとんど行われていない。そこで本研究では，吉井川流域の津山市内の 6 世紀末から 7 世紀後半にかけての古墳から出土した陶棺胎土の化学組成と鉱物組成の特徴を調べ，それらの結果から，産地推定の可能性について検討した。

2. 実験方法

分析試料は岡山県津山市 12 古墳から出土した陶棺片を使用した（図 1）。さらに岡山県倉敷市の須恵器の窯跡である寒田窯跡群 4 号から出土した陶棺片（7 世紀前半）も入手できたので，合わせて分析した。

表面を削り取った陶棺片をタングステンカーバイド乳鉢で 5 分間粉砕し，さらにメノウ乳鉢で 20 分間粉砕したものを粉体試料とした。塩化ビニル製リングを枠にした粉体試料を 10t 加圧して，円形のペレットを作製した。粉体試料 0.4g，無水四ホウ酸リチウム（$Li_2B_4O_7$）3.6g，臭化リチウム（LiBr）0.036g をメノウ乳鉢でよく混ぜ合わせ，約 1200℃でガラス化したガラスビード試料を作製した。ペレット・ガラスビード試料を XRF（蛍光 X 線分析，理学電機製）で測定して，陶棺の主要・微量成分をそれぞれ調べた。さらに XRD（粉末 X 線回折法，理学電機製 RINT2100）により陶棺の鉱物組成を同定した。



地点番号	名称	作製時期	点数
1	ヒナメ塚古墳	7世紀初め	3
2	田邑古墳群	6世紀末~7世紀初め	11
3	大開6号墳	7世紀初め	5
4	二宮大成古墳	7世紀初め	10
5	二宮みのり学園古墳	7世紀初め	1
6	横山弘見峪1号墳	7世紀後半	2
7	カキ谷B1号墳	7世紀初め	10
8	若林6号墳	7世紀初め	1
9	河面丸山2号墳	7世紀前半	3
10	一貫西1号墳	7世紀前半	1
11	クズレ塚古墳	7世紀初め	15
12	的場2号墳	7世紀前半	5

図 1. 陶棺試料の出土地点と名称

3. 結果・考察

陶棺は軟質の土師質陶棺と硬質の須恵質陶棺に分類できる。焼成温度の違いにより，素地の

硬さや胎土の構成鉱物の組み合わせが異なってくる。また，胎土の構成鉱物の違いは，原料粘土の中の鉱物組成によっても変化する。そこで，陶棺の胎土の XRD を行ない，構成鉱物の違いについて検討した。

今回測定したほとんどの陶棺は土師質であり，低温で焼成されているものと推定できる。胎土の構成鉱物により 1)雲母粘土鉱物が残存している陶棺，2)雲母粘土鉱物がほぼ消失していて長石類が残存している陶棺，3)長石類もほぼ消失している陶棺に分類された。長石類が残存している場合，陶棺により長石の種類（斜長石とアルカリ長石の割合）が異なっていることも分かった。そこで，長石類の量的な関係を求めるために，化学分析値から長石類の 3 つの端成分であるアノーサイト An，アルバイト Ab，オルソクレース Or の量比をノルム計算で求めた。その結果，1) An が多く，Or が少ない陶棺と 2) Or が多く，An が少ない陶棺の 2 つのグループに分類された。このような鉱物組成の違いは，焼成温度の違いによると思われるが，原料の鉱物組成の違いも反映しているものと考えられる。

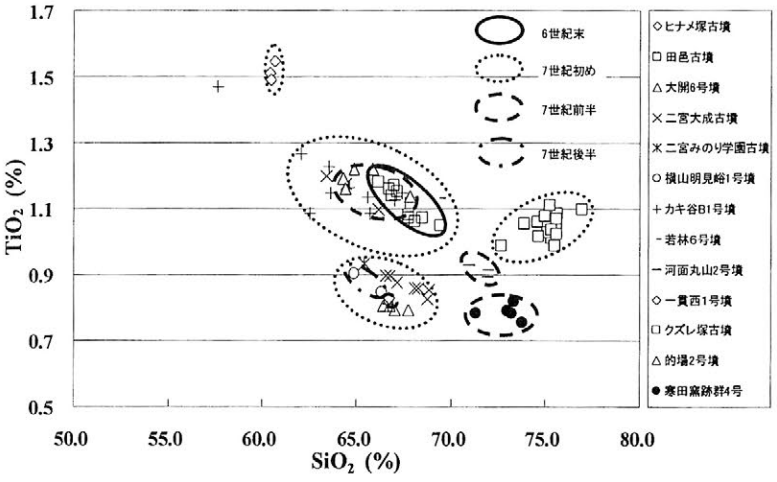


図 2. SiO_2–TiO_2 分布図

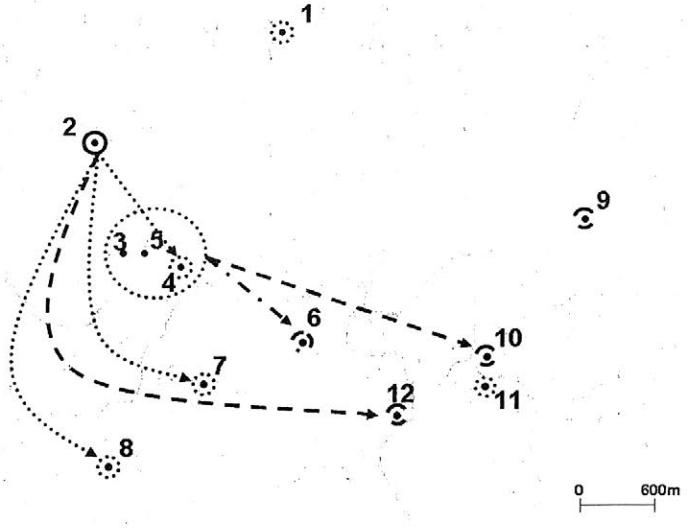


図 3. 津山市内の各古墳の位置と古墳間の関係
（番号は図 1 中の表の地点番号に対応）

図 2 に XRF の結果を示す。この図は，種々の 2 成分の分布図を作成し，相互識別が可能である組み合わせであった SiO_2–TiO_2 分布図である。7 世紀初めにつくられ，地理的に近接して存在する大開 6 号墳，二宮大成古墳，二宮みのり学園古墳はほぼ同じ領域に分布しており，強い関係性を示唆する結果となった。最も古い田邑古墳群とそれより時代が新しいいくつかの地理的に離れた古墳がほぼ同じ分布を示しており，これらの古墳間にも強い関係性があるものと考えられる。このような古墳間の関係を明確にするために，地図上でまとめたものが図 3 である。田邑古墳群と吉井川本流，支流域に分布する古墳との関係が推測できる。二宮大成古墳では，2 つの領域に分布し，二宮大成古墳の近くで焼成されたと思われる陶棺と田邑古墳群と同じ産地で焼成されたと思われる陶棺が存在するものと考えられる。ヒナメ塚古墳，クズレ塚古墳や河面丸山 2 号墳では，それぞれ独立した領域を形成し，それぞれの古墳で陶棺を製作していたと思われる。今後は，これらの結果と考古学からの研究結果と詳細に比較検討することによって，陶棺の産地に関する情報から古墳間の交流関係の解明が可能になるものと思われる。

P－105

漆喰壁土蔵の劣化機構と保存対策（３）

～漆喰壁下地の物理的特性～

○鈴木雄太[1)]、松田泰典[1)]、米村祥央[2)]
1)東北芸術工科大学大学院　2)東北芸術工科大学

１．はじめに

山形県内各地には，多くの土蔵が現存している．最上川流域の特産物であった紅花や青苧は，上米と共に江戸中期から最上川舟運と日本海海運によって上方に運ばれた．その帰り荷として，上方物資とともに多くの文化が移入された．漆喰壁土蔵も生活文化の一様式として上方より伝わり，商人や地主のみならず，農民などの一般階級にまで普及した．しかし，表面の漆喰は，亀裂や剥離・剥落といった劣化が生じている．漆喰が劣化しいている土蔵の多くは，これから壁面のさらなる劣化の進行，果ては土蔵の倒壊にまで至る可能性が考えられる．

本研究では，凍結破砕による物理的劣化作用が主たる劣化現象と捉え，実験を行っている．これまでの研究で，漆喰壁の劣化は下地の物性により左右されると考察した．今回は漆喰壁下地の凍結破砕実験と，漆喰壁土蔵の下地の基本的な物性について測定を行い，その関連を考察した．

２．試料

JIS A6902，JASS15 を参考に，以下の材料・配合比にて，層構造試験片 A，B，C を作成した．

- 試験片 A（厚さ 4cm）　荒壁　山形県中山町内最上川河川敷産の粘土 20kg：藁スサ 150g
- 試験片 B（厚さ 1cm）中塗り土　荒壁 1.0：川砂 1.5　（試験片 A に上塗り）
- 試験片 C（厚さ 0.5cm）砂漆喰　漆喰 1.0：川砂 1.5　（試験片 B に上塗り）
- 川砂　最上川河川敷産　3mm メッシュのふるい通過分

その他，物性値測定標準試料として山形県大石田粘土，藤の森粘土，豊浦標準砂を用いた．

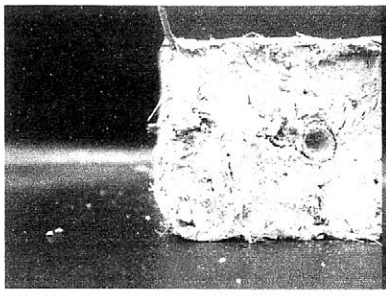


Fig.1 荒壁試験片

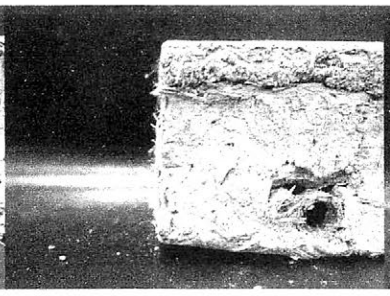


Fig.2 荒壁・中塗り土試験片

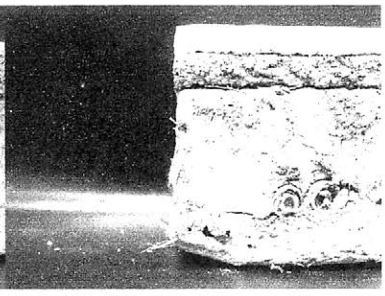


Fig.3 荒壁・中塗り土・砂漆喰試験片

３．実験方法

試験片を垂直に設置し，恒温恒湿機（ADVANTEC 社製 THN064PA）を用いて+10℃を 12 時間保持した後，恒温恒湿機の最大能力で-10℃まで低下させた．-10℃を 12 時間保持した後，恒温恒湿機の最大能力で温度を+10℃に上げて 12 時間保持した．これを一サイクルとし，計 20 サイクル測定した．蒸留水は実験開始時，7 サイクル後，14 サイクル後の+10℃のサイクル中に毎回 300ml ずつ加えた．試験片と水の移動を可視化するため，蒸留水は希釈した 1%ラックダイ水溶液で染色した．

また，下地試料の状態を把握するために，基礎的な物性試験として湿潤試料の含水比（JIS A1203），土粒子の密度（JIS A1202）の測定，土の透水試験（JIS A1218 準拠）を行った．それぞれ三点以上の試料を計測し，その平均値を求めた．

4．結果・考察

Fig.4 荒壁試験片

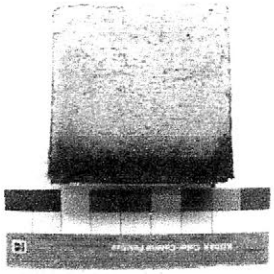


Fig.5 荒壁・中塗り土試験片

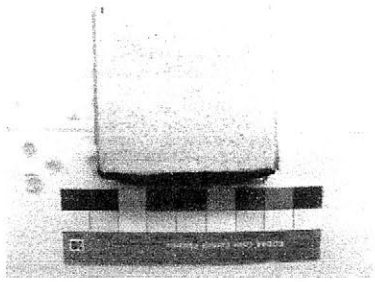


Fig.6 荒壁・中塗り土・砂漆喰試験片

試験片A，B共に表面では染色液を試験片下部から2～2.5cmの高さまで吸い上げていた．濡れ色になっていた部分は試験片下部から約5cmの高さまでだった．また，試験片下部から0.5～1cmの高さまで表層が一層剥離していた．表面の外周部分において，上部の亀裂は上面と平行に，左右部分の亀裂は側面に平行に亀裂が生じ，外側に膨張していたように見受けられた．試験片Bの裏面では，荒壁の染色水溶液の吸い上げは表面の中塗り土より顕著ではなかった．また，側面では，荒壁よりも中塗り土の方が染色液を高く吸い上げていた．試験片下部から5mmまでの荒壁・中塗り土の表層が薄く剥離していた．中塗り土表面の外周部分に微細な亀裂が生じていた．試験片Cの砂漆喰は染色液をほとんど吸い上げなかった．試験片下部の底辺がわずかに染色されていた．砂漆喰表面で濡れ色になっていた部分は皆無だった，試験片下部から5mmの高さまでほんのわずかに盛り上がっていた．

Table1 荒壁，中塗り土の含水比、土粒子の密度

	含水比(%)	密度(g/cm^3)
旧土・荒壁(スサ無)	116.655	2.617
旧土・中塗り土(スサ無)	38.67	2.636
砂漆喰*		1.9
漆喰*		2.202
大石田粘土(原土)	173.3	2.581
藤の森粘土(原土)	99.31	2.641
豊浦標準砂		2.65

*漆喰と砂漆喰の密度は液中天秤量法による真密度

Table1に荒壁と中塗り土の湿潤状態の含水比と，土粒子の密度を示す．各試料にて含水比は大きく異なっていたが，土粒子の密度に大きな差異は見られなかった．しかし，土試料と比較して砂漆喰の密度は低いことから，染色液の吸い上がり易さと密度は相関にあると考えられる．土試料に関しては，含水比と密度の値から，間隙比や飽和度に大きな差異があると考えられる．

試験片A，Bにおいて，染色した箇所と濡れ色になった箇所は，毛管上昇によるものと思われる．染色した箇所と濡れ色になった箇所が分かれたのは様々な要素が考えられる．

1） 水に溶かした染料が水より重いか，粒子が粗く，吸い上げが限定された．

2） 土粒子が濾過のような働きをし，染料の吸い上げを阻害した

水の吸い上げは下地の粒径・粒径分布・間隙比・間隙径・飽和度・比表面積・pF（水分曲線）値なども影響していると考えられる．また，濡れ色の部分の相違が不凍水の有無に関与していると思われる．吸水面である試験片下部では，盛り上がりが顕著で，氷点下以下における体積膨張が起きたと考えられる．

謝辞　本研究を行うにあたり，凍結 - 融解メカニズムと土質試験に関する知見・ご助言を北海道立地質研究所　高見雅三技術情報科科長に，試料作成を山形県山形市原田左官工業所　原田正一・正志両氏にそれぞれ御教授・御協力頂きました．記してここに謝意を表します．

P−106

出土木製品保存環境における
PEG 分子量分布の変動に関する基礎研究

○米村 祥央（東北芸術工科大学）

1．はじめに

出土木製品保存処理の含浸薬剤であるポリエチレングリコール(PEG)には，水溶性，寸法安定性，安全性等の優れた物性がある一方で，様々な要因からなる低分子化反応により，本来期待された性質と異なる物性となる可能性もある．発表者はこれまでに，高温度下，継続的な酸素供給，水分の存在からなる低分子化反応について報告し[1)2)]，PEG 濃度を上昇させる保存処理工程における低分子化の可能性と，作業上の留意点について検討してきた．

処理後の問題として報告されている現象は，処理後数年経った木製品の表面が濡れ，水分を維持したような状態になっているものである[3)]．処理終了直後にこのような現象はないはずであり，保管中に何らかの反応が進んだものと判断するべきである．しかし，この反応の要因は保管環境だけでなく，処理段階の潜在的な要因も検討を要する．本報告では，温湿度制御がされてない保管環境を想定し，加熱後固化した PEG の分子量分布が高湿度下で示す挙動について報告する．

2．実験

PEG#4000（試薬：関東化学）を 65℃，100℃（低分子化促進）下においてそれぞれ 50 時間加熱し，2cm×2cm×2cm のマウントに流し込み，常温下で一晩固化させた．その後，室温，40℃，50℃の温度下，100%RH および乾燥環境において保管した．それぞれの PEG の変化を観察記録し，2 週間毎に少量のサンプルを表面から採取した．サンプルを 1 wt%の水溶液とし，ゲルパーミエーションクロマトグラフ(GPC)で分子量分布を分析した。ただし、40℃および 50℃で 100%RH の環境中に保管した PEG は，2 日以内に完全に液状となったため，その時点の分子量分布を分析した．GPC の分析条件は表 1 に記した通りである．分子量分布の校正曲線は Polymer Laboratories 社の Polyethylene glycol calibration kit の標準試料 Mp106，194，400，615，1970，3930 の分析結果から導き，平均分子量と分散度を算出した．

表1．GPC分析条件

装置	WATERS 社製 GPCシステム 1515+2414
溶離液	メタノール：水＝3：2
カラム	SHODEX社製OHpak SB-802.5HQ
カラム温度	40℃
送液速度	1mL/min

3．結果と考察

100℃において低分子化を促進させた PEG は，60℃で加熱したものと比較して固化後に白色を呈していた。その後，常温 100%RH の環境では，60℃で加熱した PEG の表面が濡れた状態

となり，100℃で加熱したPEGは形状がくずれてしまった．

100℃で加熱したPEGを比較すると，50℃，100%RHに設置したPEGの方が低分子側にシフトした（図１）．同じ温湿度下においたPEGでは，100℃で加熱させたPEGに低分子側へのテーリングが生じた（図２）．

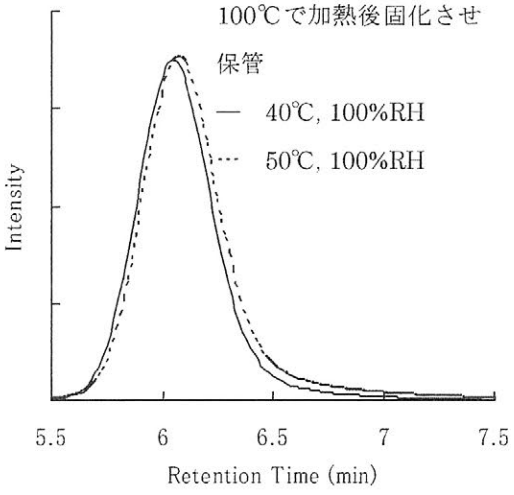


図1．異なる温度で保管した
PEGのGPCクロマトグラム

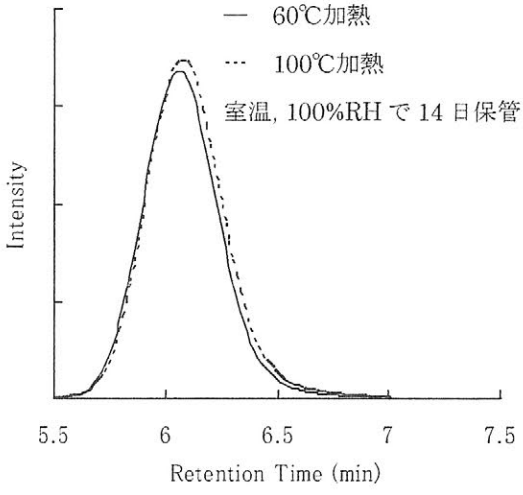


図2．室温で保管した
PEGのGPCクロマトグラム

以上の結果より，固化する前段階で分子量分布の変動が起こった場合，その後の保管環境における低分子化にも差が生じ，反応の進行と共に分子量分布の差が広がることが明らかである．特に湿度が高い環境で低分子化の速度が大きい．液体状態にあるPEGの低分子化は，水分量と相関関係があることをすでに報告している[2]が，本結果より，固化している状態でも高湿度下において低分子化が進行することが明らかになった．

PEGで処理された木製品は，保管時の環境が重要であり，湿度の変化には敏感に反応する．湿度，温度共に高い状態は，PEGの低分子化が進む条件でもあり，そのような環境が一定期間続くと，低分子化反応も進行していることとなる．

保存処理された木製品の保存環境の重要性はすでに周知されていることであるが，低分子化の進行という，含浸薬剤の決定的な劣化を防ぐためにも，この情報が広く伝わり，保管環境改善等の一助となることを期待する．

参考文献

1) 米村祥央：「出土木製品の保存処理に用いられるPEGの分子量分布の変化(2)」、日本文化財科学会大会要旨集（2003）
2) 米村祥央：「出土木製品の保存処理に用いられるPEGの分子量分布の変化(3)」、日本文化財科学会大会要旨集（2007）
3) 伊藤健司ほか：「保存処理遺物の経年調査(1)」、日本文化財科学会大会要旨集（2001）

出土木製品の科学的保存処理法の比較研究

○植村明男(奈良大学大学院)　西山要一(奈良大学)

1、はじめに

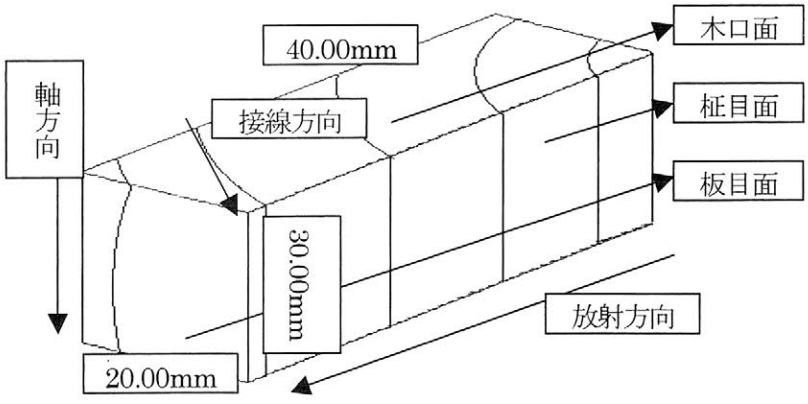
出土木製品の科学的保存処理研究は、デンマークで行われた最初の例から150年以上の歴史を経て、また日本においても40年以上の歴史がある。このような研究の中で様々な処理方法が考案されてきた。

現在、出土木製品の保存処理法にはアルコール・キシレン・樹脂法に代表される非水溶性樹脂を用いる方法とポリエチレングリコール含浸法(以下PEG含浸法)に代表される水溶性樹脂を用いる方法がある。本研究は、水溶性樹脂を用いるPEG含浸法・糖アルコール含浸法・真空凍結乾燥法(以下、FD法)の3方法を、寸法安定性・重量変化・処理期間・色調の4項目について、各処理法の違いを比較するとともに特徴を把握すること目的として行った。また、本研究では従来保存処理が困難といわれている広葉樹を用いて行った。

2、実験方法

2-1 試料

実験にはケヤキ材とコナラ亜属材の2種類の材を用いた。試料片は40.00㎜×20.00㎜×30.00㎜の直方体をそれぞれ3片ずつを用いて保存処理を行った。それぞれの含水率は、ケヤキが約670%、コナラ亜属材が約740%であった。含水率は下記の式で求めた。



含水率＝(1.47-1/1.47×空気中重量/水中重量－1)×100

2-2 方法

各保存処理は下記に示す工程で行った。ただし、糖アルコール含浸法では、ラクチトールのみを用いて行った。

・PEG含浸法

PEG20%水溶液→40%→60%→80%→100%→固化→表面処理(エタノール使用)

・糖アルコール含浸法

ラクチトール20%水溶液→40%→60%→80%→洗浄(表面のラクチトール溶液の除去)→乾燥(50℃　ラクチトール粉末を塗布)→洗浄(塗布したラクチトール粉末の除去)→乾燥(50℃)

・FD法

PEG20%水溶液→40%→真空凍結乾燥→表面処理(表面に付着したPEGの除去)

3、結果及び考察

・寸法安定性(表1)

処理開始前の寸法を100%とし、表に示した。PEG含浸法ではケヤキ材・コナラ亜属材ともに目立った収縮もなく、比較的良好な結果であった。糖アルコール含浸法ではケヤキ材は収縮やひび割れがなく、良好な結果であったが、コナラ亜属材の全てで乾燥工程中に激しいひび割れが生じた。FD法では、一部で若干のひび割れが生じたものの全体的には良好な結果であった。

・重量変化(表 2)

保存処理開始前の重量を 100%とし、表に示した。重量計測は試料の表面を濡れた布で軽く拭いた上で、空気中重量を計測した。3 方法の中で保存処理後の重量変化としては糖アルコール含浸法が最も重く、FD 法が最も軽い結果となった。その重量差は、約 2 倍にも達した。

・保存処理期間

各保存処理法とも表面処理等の最終工程を終了した時点までを保存処理期間とした。3 方法の中で PEG 含浸法が 185 日間と最も長く、次いで糖アルコール含浸法が 147 日間、FD 法は 60 日間であった。

・保存処理後の色調

試料表面を目視で観察した。PEG 含浸法では表面が黒色化し、糖アルコール含浸法ではやや表面が白っぽくなり、FD 法ではやや濡れ色を呈した。

4、まとめ

本研究では、出土木製品の科学的保存処理法の特徴を把握することを主目的とし、各処理法の比較・検討を行い、各処理法の特徴は上記の通りである。ケヤキ材とコナラ亜属材では含水率などに大きな差はないが、各処理法の重量変化率を見てみるとケヤキ材の方がコナラ亜属材に比べて高くなっている。このことが糖アルコール含浸法での乾燥工程中のひび割れに繋がっているのではないかと考えられる。ただし、この差がどのような要因で発生したものかは判明できていないが、保存処理中の重量変化も注目することによって樹脂含浸や乾燥方法を考えることができるのではないかと考えられる。また、PEG 含浸法をはじめとして、長い処理期間を設けことによって従来保存処理が困難といわれていた広葉樹にも適応できるのではないかと考えられる。

最も新しい保存処理法である糖アルコール含浸法が考案され約 15 年経過した今、このような比較・検討を行うことによって各保存処理法の特徴を再確認することが大切になってくるのではないだろうか。

	木口面(%) (放射方向)	木口面(%) (接線方向)	柾目面(%) (軸方向)	柾目面(%) (放射方向)	板目面(%) (軸方向)	板目面(%) (接線方向)
PEG 含浸法 ケヤキ材	96.82	97.41	97.08	98.47	96.71	96.71
PEG 含浸法 コナラ亜属材	96.08	97.02	97.39	95.88	98.00	98.60
糖アルコール法 ケヤキ材	97.07	98.65	97.95	99.31	97.69	96.64
糖アルコール法 コナラ亜属材	98.92	98.10	97.88	98.56	98.76	99.40
FD 法 ケヤキ材	96.87	99.11	98.35	99.13	98.16	97.35
FD 法 コナラ亜属材	98.18	98.96	97.72	99.45	97.11	98.03

表 1　保存処理後の寸法変化率

	PEG 含浸法 ケヤキ材	PEG 含浸法 コナラ亜属材	糖アルコール法 ケヤキ材	糖アルコール法 コナラ亜属材	FD 法 ケヤキ材	FD 法 コナラ亜属材
処理完了	106.22	103.25	109.15	105.94	56.10	53.87

表 2　重量変化率の比較

P－108

収縮・変形した出土木製遺物の形状回復に関する研究・その 4

－PEG 含浸法による収縮木材の回復試験－

○井上美知子、植田直見、伊藤健司、山田卓司
(財)元興寺文化財研究所

1　はじめに

ポリエチレングリコール(以下、PEG)含浸法による出土木製遺物は、保存処理中に収縮・変形を生じるケースが多く見られる。そのため、変形を生じやすいアカガシ・クリ・クヌギを PEG 含浸処理で変形させた試験片の回復試験をおこなった。その方法として PEG 水溶液濃度を 80%から 20%ずつ序々に下げた。その結果、含水率の低い材では PEG 濃度が低くなるほど形状が回復し、ほぼ元の形状にもどった。含水率の高い試験片では PEG 濃度が 60%までは形状の回復がみられたがその後収縮が生じた。特に PEG 含浸で大きく収縮・変形した材では充分な回復がみられなかったため、木材を膨潤させる作用を有すると考えられる薬品を用いる方法を検討した。

その結果、水酸化ナトリウムの 0.5%水溶液に浸漬することで形状が大きく回復することがわかった。

なお、本研究は平成１７年度科学研究費補助金　基盤研究(C)(2)「収縮・変形した出土木材の形状回復に関する研究」(研究代表者　井上美知子　課題番号 16500641)の成果の一部である。

2　実験方法

2－1　試験片の作成

試験には出土地不明のクリを用いた。約 30㎜(接線方向)×30㎜(放射方向)×30㎜(繊維方向)の立方体とした後、PEG 含浸期間としては短い 3～4 日または 1 日毎に 60℃の PEG20, 40, 60, 80, 100%水溶液に順次浸漬し、収縮・変形した試験片を作成した。

2－2　回復試験方法

回復試験は以下の方法によった。

①PEG80%→60%→40%→20%と水溶液濃度を下げてそれぞれ 60℃で約 7 日間浸漬した。

②充分な回復が見られない試験片に対しアンモニア、エチレンジアミン、水酸化マグネシウム、水酸化ナトリウム等のアルカリ性薬剤に浸漬した。

3　結果

①低含水率クリ(含水率 100～180%)

PEG 含浸により重量が著しく減少し、接線方向の収縮が大きいため柾目面は落ち込み、内部割れも生じた。しかし、PEG 濃度を序々に下げる回復試験中は、水分が多くなるほど回復が進みほぼ形状回復した(図 1)。

②高含水率クリ(含水率が 580～800%)・その 1

各濃度の PEG 水溶液に 3～4 日含浸した試験片は 60%水溶液まで重量が増加したが、80%、溶融液浸漬で重量と寸法が減少した(図 2, a)。

回復試験中は PEG80%・60%まで寸法と重量が増加したが、PEG20%・水浸漬でさらに重量と寸法が減少し形状回復には至らなかった(図 2, b)。回復効果を期待して 1 日間 80℃に加温した結果重量、寸法ともに減少し逆効果となった(図 2, b)。しかし、これらの試験片の多くは回復試験中の PEG60%または 40%浸漬時に寸法が最も処理前に近かった。

③高含水率クリ(含水率が 580～800%)・その 2

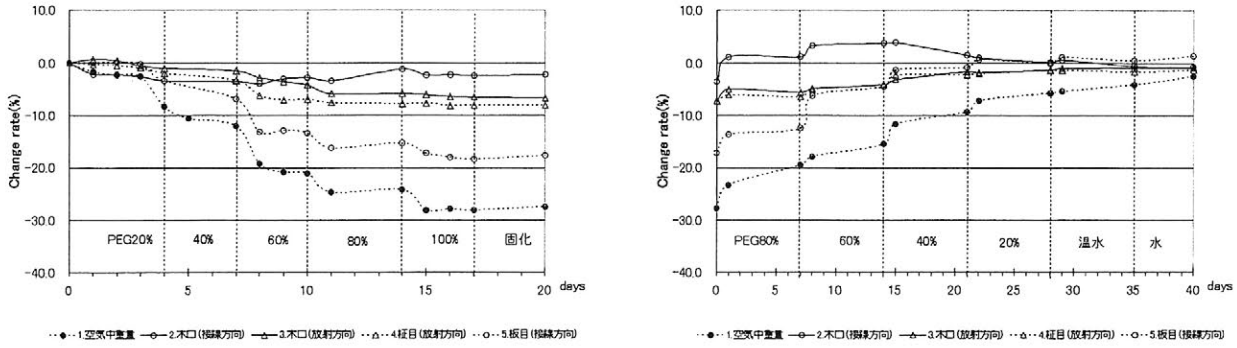
各濃度の PEG 水溶液に 1 日間含浸した試験片は②(3～4 日含浸)の試験片より収縮・変形が著しかった。

回復試験中は②と同様に PEG80%・60%まで寸法と重量が増加したが、PEG20%・水浸漬でさらに重量と寸法が減少し形状回復には至らなかった(図 3, b)。回復試験中に良好な形状は得られなかった。

そこで、エチレンジアミン1%水溶液、水酸化マグネシウム飽和溶液、水酸化ナトリウム0.1%の4種類のアルカリ性薬品の水溶液に浸漬した結果、ではほとんど効果が見られなかったが、アンモニア10%でわずかに効果が見られ(図2, b)、水酸化ナトリウム0.5%では大きな回復傾向を示した。しかし、水酸化ナトリウムでは水に浸漬すると再び収縮が始まったが、水酸化ナトリウム浸漬前と比較すると重量・寸法ともに増加した(図3, b)。

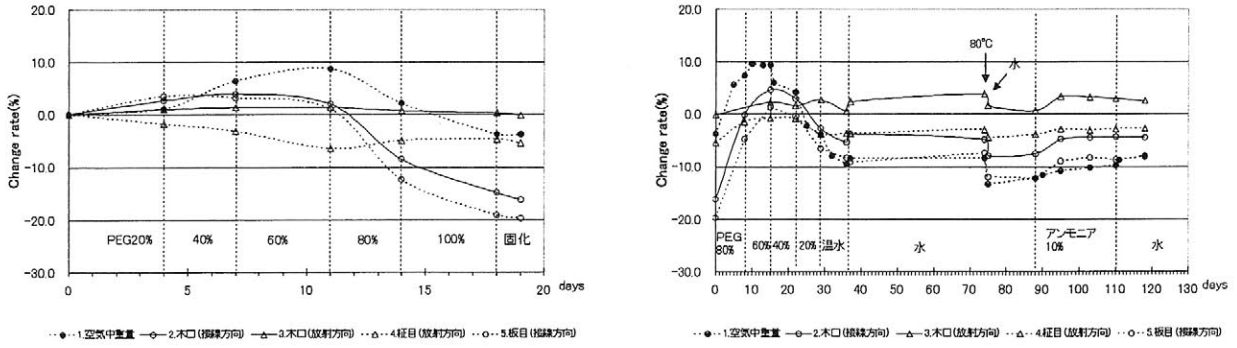
4　考察

高含水率のクリはPEG含浸による収縮・変形が著しい程寸法の回復が困難であることが判った。このような試験片に水酸化ナトリウムやアンモニアが寸法回復に有効であった。充分な期間をとったPEG含浸で再処理を行うことでさらなる寸法回復が期待される。



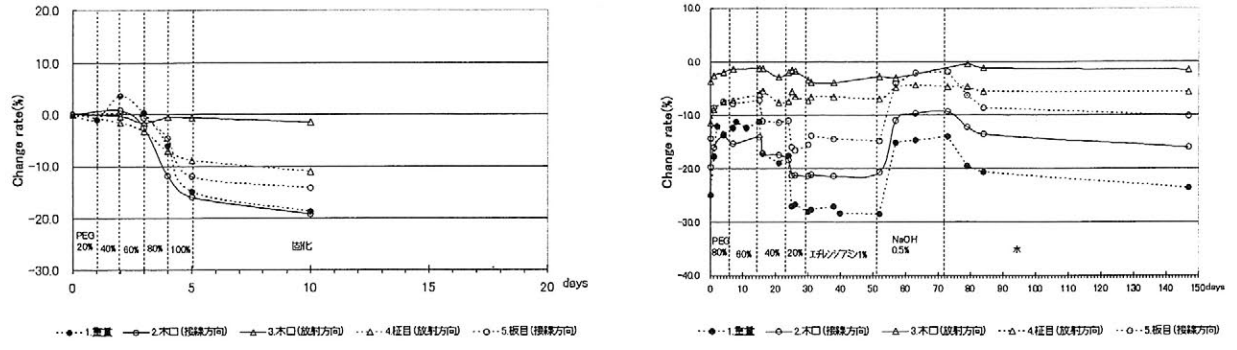
a　PEG含浸処理　　b　方法①による回復処理

図1　低含水率クリ(含水率110%)のPEG含浸および回復試験中の重量・寸法変化率



a　PEG含浸処理　　b　方法①,②による回復処理

図2　高含水率クリ(含水率649%)のPEG含浸および回復試験中の重量・寸法変化率



a　PEG含浸処理　　b　方法①,②による回復処理

図3　高含水率クリ(含水率648%)のPEG含浸および回復試験中の重量・寸法変化率

P－109

出土木製品の凍結乾燥処理について

－乾燥終点をめぐる諸問題－

○川本耕三、木沢直子、植田直見（(財) 元興寺文化財研究所）

1．はじめに

凍結乾燥法は出土木製品の保存処理法としてひろく用いられている。出土木製品を凍結乾燥処理するには難しい点が多くあり、なかでも、遺物表面を乾燥させ過ぎることなく内部の水分を除去するためにはいろいろな工夫が必要である。なぜなら、遺物は乾燥し過ぎると表面に細かい亀裂が生じてその情報が失われ、物理的な強度が極端に低下し、乾燥が不十分であるとやがて遺物内部の水分が表面へ滲出し遺物が収縮・変形するからである。

本報告では、われわれが元興寺文化財研究所で 1991 年に凍結乾燥処理を本格的に始めてから現在まで、漆椀等の漆製品を中心に約 2000 点を保存処理してきたなかで行った遺物の養生方法や乾燥終点の確認方法などについて報告する。

2．処理工程および装置

図１に凍結乾燥処理の工程を示す。また、使用している装置と処理条件は次のようなものである。

① 予備凍結用冷凍庫　内容積 400L、冷却温度-40℃
② 凍結乾燥機チャンバ　円形横型φ500mm×L1000mm、冷却温度-20～-30℃、圧力 5～10Pa
③ 凍結乾燥機コールドトラップ　冷却温度-50℃

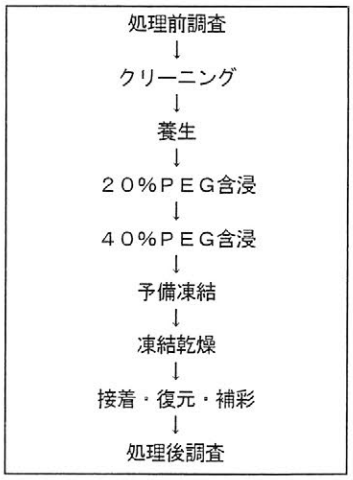


図１．凍結乾燥処理の工程

3．遺物の養生

凍結乾燥が進むにつれて遺物表面では乾燥収縮により繊維方向に直行する細かい亀裂が生じる場合がある。したがって、このような亀裂が生じないようによく表面を観察して乾燥を終了する必要があるが、遺物表面と内部の水分量に大きな勾配が生じ、内部に多くの水分が残留している場合もあるため、単に表面を観察できるようにしたのでは不十分である。

そこで、遺物表面を保護するため、和紙など各種の紙とそれを遺物に貼り付ける膠などの接着剤を検討した結果、水に溶けにくく、毛羽立ちやパルプくずが出ない薄い紙「キムワイプ」をポリエチレングリコール水溶液で濡らして使用することとした。

一方、凍結乾燥中に遺物表面を目視観察できなくなったので、定期的にエックス線透過写真撮影を行うことによって遺物表面の亀裂や内部の水分残留を調べることとした。概ね管電圧 25～45kV、管

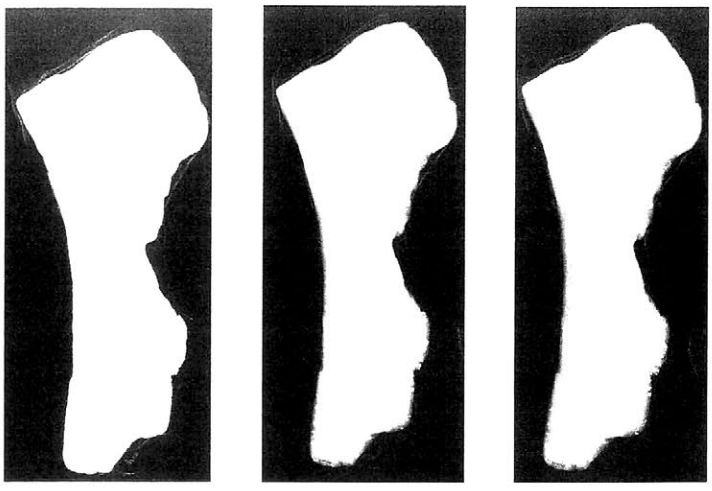


図２．エックス線透過写真（左から順に凍結乾燥前・中・後）

電流 0.2～0.5mA で凍結乾燥処理中に漆製品のエックス線透過写真を撮影すると（図２）、はじめは水分が残留するため白っぽく映るが、乾燥してくるとコントラストが強くなり、漆膜や木胎の状態を識別できるようになる。その結果、遺物内部の乾燥の進行度合いや水分が除去されにくい部分、亀裂が生じている部分をきめ細かく捉えることができるようになった。

４．重量変化

凍結乾燥中に遺物の状態を知るためには、遺物の温度変化や、チャンバの内圧が重要な指標になるが、複数の温度センサーを差し込むことのできない遺物を同一チャンバ内で連続的に処理するためには、遺物を時々取り出して重量を測定することが最も簡便で確実な方法である。重量とその変化率をグラフで表し（図３，図４）、１日あたりの遺物の重量減少率を乾燥終点の基準とする方法は既に述べた[1]が、その後、基準に達した試料をエックス線透過写真撮影してみると、健全な漆膜に蔽われた木胎の一部で亀裂が観察された。

そこで、乾燥を終了すべき一日あたりの遺物重量減少率の基準を 0.1%から 1%にしたところ、木胎の亀裂はほとんど観察されなくなった。一方、内層に水分が残留する例がいくつか見られたため、凍結乾燥処理終了後に数週間低温で調湿して、速やかに水分濃度勾配を無くすようにした。

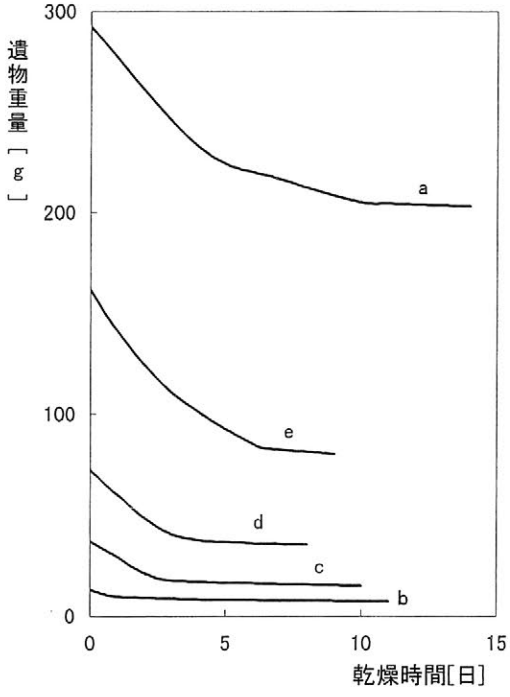


図３．凍結乾燥処理中遺物の重量変化

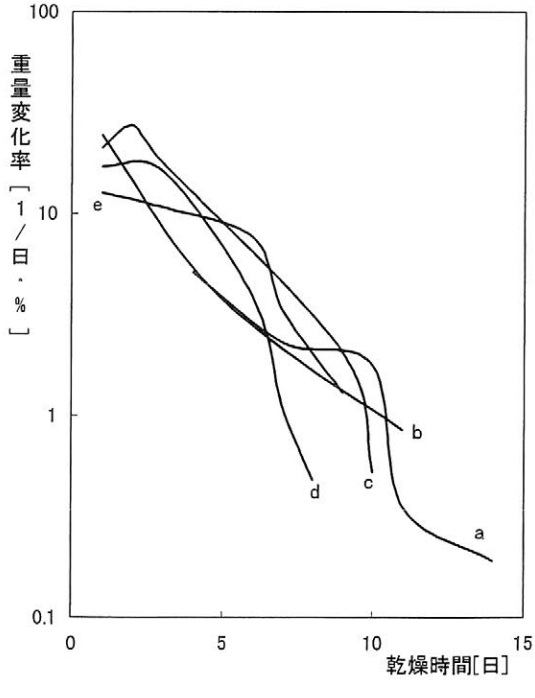


図４．凍結乾燥処理中遺物の重量変化率

５．まとめ

以上のように、遺物の紙貼り養生とエックス線透過写真撮影による観察により、漆膜の剥落・反りや木質の亀裂などの異状は減少して、凍結乾燥処理遺物の仕上がりは向上した。加えて、処理前に遺物の水中重量と空中重量を測定して含水率を推算しておけば、さらに凍結乾燥の終点を見極めやすくなる。今後は、遺物表面・内層の水分濃度勾配を緩和する処理法を研究していきたい。

註１）川本耕三，出土木製品を真空凍結乾燥法により保存処理するうえでの諸問題，元興寺文化財研究所 30 周年記念論集，104-112，(1997)

P－110

糖アルコール含浸法における処理設備の改善
－より安価で安全な新しい試み－

○伊藤幸司・藤田浩明（財団法人　大阪市文化財協会）

1．はじめに

糖アルコール含浸法を開発して以来、処理精度を高めるべく様々な研究・改善を行なってきた。当協会では2006年に糖アルコール含浸処理に特化した機器を導入したが、昨年度、この設備でも対応できない大型木製品を処理するにあたり、安価な専用の含浸槽を設計し導入した。

また、これまでの含浸終了後の表面洗浄工程や固化・乾燥工程では、大型木製品であっても小型木製品と同様の作業を行なおうとするがため、トラブルを生じる危険性が高い中で既存の設備を使って、多くの人手と時間を費やしながら作業を行なってきた。

今回、大型木製品に対するこのような状況を改善するため、表面洗浄工程においては食品工場の清掃等で使用されているスチームバキュームクリーナーを使用して作業を試みた。また、固化・乾燥工程においては市販の断熱材やテープ式ヒーターを使用して温度管理を行なった。これらを使用することで安価で効率的、かつ安全に作業を行なうことができたので得られた知見とともに紹介する。

2．専用含浸槽の設計と導入

対象としたのは、大阪府茨木遺跡で出土した200cm×100cm×5cmを超える薄く幅広な欄間等の板材である。この遺物を処理するために、これまでの「含浸槽」の既成概念を改め、熱分布のよい（＝全体が均等に加熱できる）、作業効率のよい（＝撹拌の手間が省ける）を目的に次のような薄型の槽を設計し、導入した。

ステンレス製含浸槽　有効内寸L250cm×W130cm×H40cm　卓上型温度調節器付
底面にL100cm×W30cmの電熱ヒーターを２枚設置し加熱　循環ポンプ無し

導入後、ラクチトール60%水溶液を入れ、60℃に加熱し、槽内にポイントを設定して各々温度と濃度を測定した。温度については誤差±１℃以内であった。90℃まで温度上昇させようとしたとき70℃を越えたあたりで止まるが、液面にスチロール板等を敷いて、放熱を抑え保温することで全体を90℃にすることができた。濃度については誤差２%以内であった。このように、含浸槽を平面的に広く浅くすることで液全体が均等に加熱でき、特に撹拌しなくても熱による自然対流によって濃度分布も均等になるため、確実に含浸処理を行なうことができた。

3．表面洗浄方法の改善

含浸終了後の表面洗浄、固化・乾燥工程終了後の表面洗浄と２回の表面洗浄が必要になる（前者を一次洗浄、後者を二次洗浄とする）。これまで大型木製品の含浸終了後の一次洗浄

時は、時間をかけると木製品表面の糖アルコールが流失してしまうおそれがあった。それ故に「急いで」作業を終わらねばならず、多くの人手が必要になる等の難点があった。また、二次洗浄時にも、過剰に洗うと遺物内表面の結晶を溶かしてしまう危険を伴っていた。これまで、家庭用のスチームクリーナーを用いたこともあったが、使用可能時間が短い等の理由から実用的ではなかった。このような状況を改善するため、過剰な水分を使用しない安全な方法で、かつ少人数で効率的に作業を行なうことを目的に、スチームバキュームクリーナー（写真左）を採用し、表面洗浄を行なってみた。

具体的には、対象とする範囲にのみスチームを噴射して表面のラクチトール水溶液（二次洗浄では微粉末）を溶かしながら、バキュームで同時に吸い取る。残った水分は従来通り紙タオル等で拭き取って仕上げる。こうすることで、必要最小限の水分で、まわりを濡らすことなく範囲を限って作業を進めることができた。

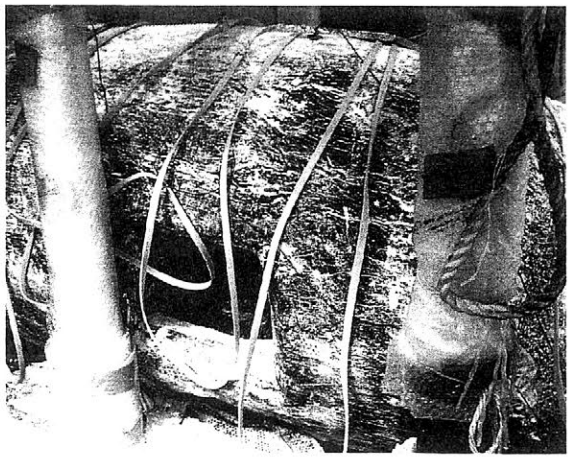
4．固化・乾燥工程の新しい試み

対象としたのは、奈良県田原本町唐古・鍵遺跡で出土した長さ230cm×直径80cmの柱材である。当協会の結晶化促進室には入らないため、次のように結晶化を促進させる方法を試みた。

まず、テープ式ヒーターに温調器のセンサー部を取り付け、それを遺物全体に巻きつける。その上から遺物全体を断熱材で覆い、50℃に設定し加熱した（写真右）。平日は加熱し、週末には断熱材を外して温度を下げることで結晶化の促進を図った。**『みのむし方式』**と呼んでいるこの方法は、大型木製品を入れる設備やその空間をあたためる装置は不要であるため、効率よく固化・乾燥させることができた。

5．まとめ

平面的に広くて浅い含浸槽を設計・導入したことで、さらなる処理効率の向上を図ることができた。また、表面洗浄工程においては、市販の装置を応用することで、少人数で効率的に作業が進められるようになった。固化・乾燥工程においては、大型木製品をより安全で確実に、しかも安価な装置で乾燥させることができた。この方法によって今後も様々な大きさ、形状の木製品の保存処理に対応できると考えている。



P－111

糖アルコール含浸処理における固化･乾燥工程の検討（その２）
－トレハロースを添加した際の結晶促進方法－

○伊藤幸司・藤田浩明（(財)大阪市文化財協会）

１．はじめに

糖アルコール含浸処理法において、最もトラブルを生じやすい固化･乾燥工程を安全かつ確実に行うための研究をおこなってきた。含浸にラクチトールを単体で使用した場合、固化･乾燥工程で対象木製品の温度をコントロールする方法が効果的である。具体的には、含浸終了後 0～10℃程度まで温度を下げてから再度 50℃まで上げる、というように繰り返し温度を上下させることで結晶化をより促進することができる（『日本文化財科学会第 23 回大会研究発表要旨集』）。

他方、木製品の保存処理においては適さない結晶である三水和物の生成を抑えるために、ラクチトールに１割程度のトレハロースを添加する方法がよく行われている。この場合、前記の温度管理を適用しただけでは効果は得られないことが予測できたため、以下のような実験を行ったので報告する。

２．目的－トレハロース添加の功罪

ラクチトール単体の場合、ある濃度･温度の条件で結晶化を図ると三水和物が生成する。例えば、何らかの理由により 65%程度で含浸処理を終えた場合、常温で放置するとその条件に当てはまってしまう。70%程度にまで濃度を上げた場合でも、結晶化の進行によっては同様の現象が起こることがある。このような三水和物が生成する条件下で結晶をつくらせないようにするのがトレハロース添加の“功”の部分である。つまり、トレハロースの添加は「結晶阻害」を期待したものである。

これを裏返せば、トレハロースによって結晶化が阻害されている 65%以下の含浸処理液は、水分の蒸発などによる濃度の上昇が起こらなければ液体の状態が続き、70%程度の処理液も無為に放置すれば、三水和物はできないが二水和物･一水和物もなかなか生成されない。これがトレハロース添加の“罪”の部分である。

75%以上にまで濃度を上げることができる場合でもトレハロースを添加していることをよく聞く。これは、結晶化工程での温度管理ができないために三水和物を生成してしまうことに対する方策であるようだが、ラクチトール単体での場合に比べ結晶化に時間を要するため、トラブルを生む。

今回の実験は、トレハロースを添加することで結晶化の進行がどのように変わるのか、前回の実験パターンを踏襲してそれぞれを比較することにより結晶化工程の安全性を高めるための情報を得ることを目的とした。

３．実験方法

濃度の異なる３つの処理液（ガラス瓶入）を一組として、５つの温度条件で結晶化を図り、映像に記録、比較した。ラクチトールとトレハロースの混合比は９：１である。

温度の管理は前回の実験と同様に恒温恒湿器を用い、水分の蒸発に伴う濃縮が起こらないように湿度調整した。

糖　度　：75°・80°・85°

温度条件：①50℃定温

②40℃(2ｈ)→(6ｈ)→50℃(2ｈ)→(6ｈ)→40℃(2ｈ)→繰り返し（3回）

③30℃(2ｈ)→(6ｈ)→50℃(2ｈ)→(6ｈ)→30℃(2ｈ)→繰り返し（3回）

④10℃(2ｈ)→(6ｈ)→50℃(2ｈ)→(6ｈ)→10℃(2ｈ)→繰り返し（3回）

⑤ 0℃(2ｈ)→(6ｈ)→50℃(2ｈ)→(6ｈ)→ 0℃(2ｈ)→繰り返し（3回）

４．結果

・②～⑤の温度条件による大差はない。

・75°・80°は、最初の段階で液面などに少量の結晶が生成されるが、すぐに結晶化は停止してしまう。

・85°は、2回目の繰り返しの際に結晶化が進行し、3回目でほぼ完了する。

・①についても②～⑤とほぼ同じ結果となった。

５．まとめ

前回のラクチトール単体の実験では、濃度や温度を上下させるパターンによって異なる種類の結晶が生成されるとともに、一定温度下に置いたものに比べて結晶化が促進されることが判った。

しかし、今回のトレハロースを添加した実験では、“75°・80°”と“85°”とに差は生じたが、下限温度による差異は認められなかった。さらには、50℃の定温下で結晶を図ったものについても温度を上下させたものとほぼ同じ結果となった。つまり、75°～85°であるならば、50℃の定温下でも、温度を上下させても結晶化に大した影響がないということである。（本稿提出時点で定温下での結晶化の進行を調査しているが、50℃以外の定温の場合、これまでとは異なる結晶化のパターンが見受けられる。各温度での再現性を確認するとともに、定温で置くべき適正温度について現在検討中である。）

今回の結果は、予想していたようにラクチトール単体での実験とは大きく異なるもので、結晶阻害がもたらす“功”と“罪”を顕著に示した。断るまでもないが、今回の実験はガラス瓶の中で行ったものであり、この条件と結果をそのまま木製品中での結晶化に置き換えることはできない。しかし、現象としては大差ないことが起こっていると考えている。

トレハロースを添加する利点は含浸処理後の効果以外にも、処理液の粘度を下げる効果や、含浸処理中に結晶を生じにくいことなど、いくつか挙げることができる。このような効果は対象木製品の状態に応じて活用すべきであるが、利点を引き出して安全に保存処理するためには、結晶阻害に伴う欠点も十分に理解し、障害を起こさないような方策を講じておく必要がある。

P−112

日本画の色材の表面物性に関する研究

○　沓名　貴彦　（山梨県立博物館）

1.　はじめに

日本画は、岩絵具や染料・金属箔等を、膠を用いて紙や絹等に描く絵画技法である。

この絵画技法は、絵具等の色材同士や紙等の基材の間を、媒材である膠が結合させているが、油絵の様に色材全体が媒材に被覆されてはおらず、表面では色材が基本的に露出していることが特徴である。そのため、色材の有する表面の特徴が絵画にも反映され、独特の輝きや質感を生み出している。

ところが、この色材類について絵画として塗布された状態における表面物性については、ほとんど報告されていない。このことを調査することは、絵画の修復時における基礎的情報としてや、伝統材料としての日本画の色材に関する基礎研究の一助になると考えられた。

そこで、今回得られた内容について報告を行う。

2.　実験方法

・　試料の作成について

今回実験に使用した色材類を、表1.にまとめた。

これら色材類のうち、後述の色材以外は、石田放光堂製のものを使用した。石黄については中国で購入したもの、密陀僧は和光純薬製の試薬を使用した。

これら色材類を、三千本膠を用いて溶いた後、薄美濃紙に塗布して試料を作成した。ただし、辰砂、辰砂白、鎌倉朱、純金泥、銀泥については、低い温度でゆっくりと焼き付けを施している。

表1.　実験で使用した色材類

	名称		名称		名称
1	群青	10	弁柄	19	胡粉
2	白群	11	丹	20	純金箔
3	緑青	12	石黄	21	純金泥
4	白緑	13	黄土	22	銀箔
5	緑土	14	藤黄	23	銀泥
6	辰砂	15	密陀僧	24	墨
7	辰砂白	16	雲母	25	藍
8	鎌倉朱	17	鉛白	26	紙（礬水引き）
9	岱赭	18	白土		

・　評価方法

今回は試料表面の物性評価方法として、静的接触角法を使用した。

この方法では、液体を試料表面に滴下したときに形成される液滴の形状から、試料表面と液滴間により表される接触角を測定する。そしてこの角度から、試料表面の濡れ性や界面エネルギーを求めるものである。

今回、この静的接触角測定を協和界面科学（株）製CA-VPを用いて行った。測定用の液体には純水を使用し、滴下後1sec後の接触角を測定した。

接触角測定は10回行い、その平均を求めた。

3.　実験結果

図1.に接触角測定時の液滴像を示した。

図 1.（a）は礬水を引いた紙に水滴を滴下したときに形成された液滴である。液滴は球状を成し、非常に疎水性であることが解る。

一方、図 1.（b）は緑土表面に水滴を滴下した場合の写真である。水滴は速やかに緑土表面上を拡散し、ほとんど水滴の状態は見られなかった。このことから、非常に親水性であることが示され、色材によって大きな差違が生じることが解った。

表 1.の色材類について、接触角値をまとめたものを図 2.のグラフに示す。接触角が 90° 以上と高い値を示した疎水性のものは金属箔・泥を中心に 12 種類の色材であった。

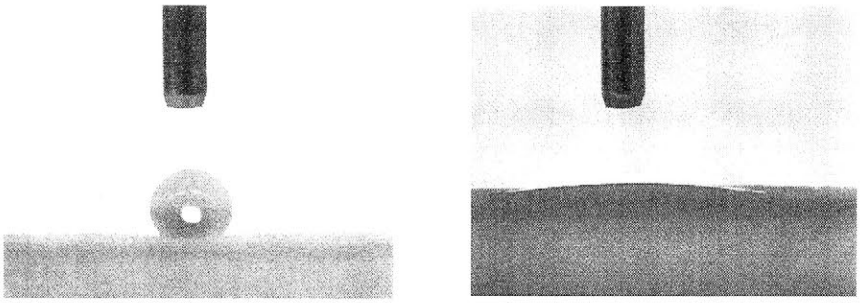
一方、接触角が 20° 以下の親水性のものは、緑土、岱赭、弁柄であった。

また、群青と白群、緑青と白緑の様に粒子径が大きく異なると接触角も大きく異なっているものもあるが、辰砂と辰砂白の様にほとんど変化しないものも存在した。

4. おわりに

今回、各色材の表面物性について調査を行った。色材によって接触角が大きく異なることが示された。このことは、修復において水分を与える場合や、色材に関する基礎研究の一情報となると考えられる。

今後、この色材における差違の原因について調査を継続したいと考えている。



(a) 紙表面に接触した水滴　　(b) 緑土表面に接触した水滴

図 1.　接触角測定時の液滴写真

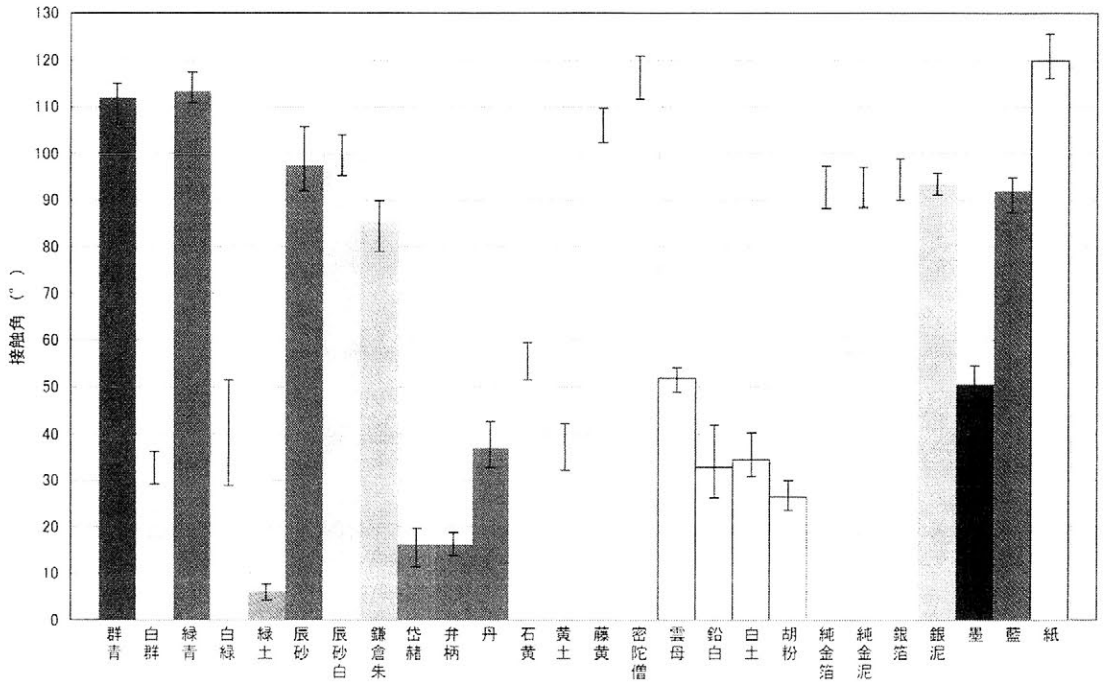


図 2.　各色材の接触角値

本研究は、財団法人日本科学協会の笹川科学研究助成により実施したものである。

P−113

飯田市・文永寺石室五輪塔における蘚苔類の繁茂について

○朽津信明・二神葉子(東京文化財研究所)

【はじめに】 石造文化財の保存対策として、石材の撥水処理が行われることがある[1]が、その後の経年変化が追跡調査されるケースは少ない。当然のことながら一度撥水処理がなされたからと言って、それで未来永劫保存が図られるわけではなく、再処理の要否および時期を検討する上でも、処理後の経過観察は必要不可欠である。飯田市にある重要文化財・文永寺石室五輪塔では、1986年の解体修理が行われた際に石材のクリーニングと撥水処理が行われたが、その後約20年が経過して、特に石室北側屋根石上面には著しく蘚苔類が繁茂するに至っている。本研究では、この蘚苔類が繁茂するに至った原因について考察し、このことから撥水処理を行う際の問題点や注意点について検討する。

【調査背景と現状】 文永寺石室五輪塔は、1283年に花崗岩切石で組まれた石室内部に同時期同材質の五輪塔が安置されており(図1)、国の重要文化財に指定されている。1986年には解体修理が行われ、全石材表面のクリーニングと、合成樹脂SS-101を全石材表面に塗布する形での撥水処理とが行われてから再び組み立てられた[2]。

現在、石室北側屋根石上面には、ヒジキゴケ科のヒジキゴケ(*Hedwigia cliata* (Hedw.) P.Beauv.)、ギボウシゴケ科のケギボウシゴケ(*Grimmia pilifera* P.Beauv)、ハリガネゴケ科のハリガネゴケ(*Bryum capillare* Hedw.)などの蘚類の繁茂が顕著に観察される(図2)。その一方で同時期に同処理が行われた南側屋根石上面では、地衣類は認められるものの蘚苔類繁茂は殆ど見受けられない。この他の石室側壁面や石室内部面、さらに内部に安置された五輪塔各面にも蘚苔類の繁茂は殆ど見受けられない。

【調査項目と測定方法】 まず、蘚苔類が繁茂している石室北側上面(以下単に「北側」とする)とそうでない同南側上面(「南側」)において、現状での強度、表面粗さ、撥水性などの諸性質の記載を試みた。強度はエコーチップ試験器を用いて、「北側」では蘚苔類を指で除去して花崗岩石材表面を曝し、「南側」では地衣類の上から計測し、さらには近年の破損により新鮮な花崗岩表面が曝されていると判断される部分も計測した。測定は連打法[3]により、20回連打した際の最大値3つの平均値をその箇所の測定値とした上で、それぞれの対象ごとに10箇所計測して得られた各測定値を平均した。表面粗さは、真弧を用いて「北側」「南側」それぞれで代表的な場所で25cmの測線を設定して粗さ曲線[4]を描き、その範囲での最大高さを算出した。撥水性は、マツボー製の接触角計PG-Xにより、3μlの水滴を「北側」「南側」それぞれ対象となる部分に滴下したときに形成される接触角[5]を測定して評価した。また、南北それぞれの上面で、魚眼レンズを用いて全天空写真を撮影し、現状での開空率[6]を測定した。さらに、南北上面に、水で満たした同種の皿を同時に設置して南側から直射日光が当たる条件で約一時間放置して、前後の重量差を比較した。

【結果】 結果を表1に示す。「北側」の硬度値は、新鮮な花崗岩部分に比べて約26%減で、これは「南側」よりもさらに13%程度低かった。最大高さは、「北側」では「南側」の約3倍の値を示した。接触

角は、「北側」で 76.6°、「南側」で 93.6° だった。開空率は、南北それぞれ 44.05%と 24.55%だった。自由水面からの重量減は、南側で 10.55g だったのに対して北側では 9.75g だった。

【考察】 まず現状に関して、「北側」硬度は蘚苔類を除去してから測定しているため、その部分の石材が「南側」に比べて風化していることを指摘可能である。マクロに見ても、南北で最大高さの値が大きく異なっており、築造当初に表面が同程度に仕上げられていたと仮定すれば、北側の方で後天的な損傷が大きいと言える。こうした損傷は多分に歴史的なものと考えられ、現生する蘚苔類との因果関係は不明であるが、現状で損傷の激しい範囲は蘚苔類繁茂が著しい箇所と一致している。一方、接触角を計測できた範囲では、北側でやや低いとは言え南側の値と決定的に異なっているとは言えず、撥水処理前後の花崗岩石材での一般的な値 [5]と比較しても、必ずしも北側上面で撥水効果が全て失われてしまったとは思われない。にもかかわらず蘚苔類が繁茂するに至ったのは、撥水剤のために石材に浸透できない水が石材表面の凹凸部分にたまり、比較的長期間留まることに起因すると推測される。南側でも浸透できない水の存在は考えられるが、表面における凹凸が乏しいことと、水分の蒸発しやすさに違いがあると思われる。実際、開空率や方位から日照条件等を考慮すれば南側の方が水分蒸発が盛んであることは十分予想され、短時間の計測とは言え実測値もそれと整合的である。このことから、凹凸が激しい石材を水分蒸発が起きにくい環境下で撥水処理すると、かえって蘚苔類を繁茂させやすくする可能性が懸念される。蘚苔類が石材劣化を促進する直接的証拠は未だ得られていないものの、景観上の問題も含めて蘚苔類の軽減を促すことを検討するのであれば、周囲の木の枝を切るなどして開空率を上げ、蒸発促進する等の対策が必要だろう。

文献 1)東京国立文化財研究所(1985)石造文化財の保存と修復、 2)文化財建造物保存技術協会 (1987) 重要文化財文永寺石室・五輪塔修理工事報告書、 3)朽津信明(2007)考古学と自然科学, 56, 1、4)朽津信明他(2007)日本応用地質学会平成 19 年度研究発表会講演論文集, 179、5)朽津信明(2008)アジア諸国における文化遺産を形作る素材の劣化と保存に関する調査・研究 平成 19 年度成果報告書, 33、6)朽津信明他(2007)本学会第回第 24 回大会研究発表要旨集(2007)p.276

謝辞 蘚苔類の同定をしていただいた国立科学博物館の樋口正信氏に感謝します。

	北側	南側	新鮮部
硬度値	457.5	600.6	702.2
最大高さ	15.6mm	5.4mm	-
接触角	76.6°	93.6°	-
開空率	24.55%	44.05%	-
重量減	9.75g	10.55g	-

表1. 結果一覧

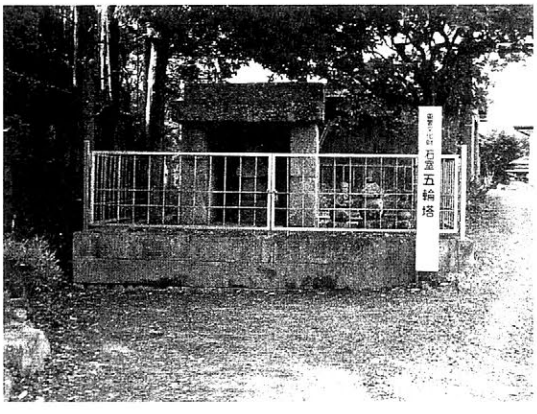


図1. 文永寺石室五輪塔

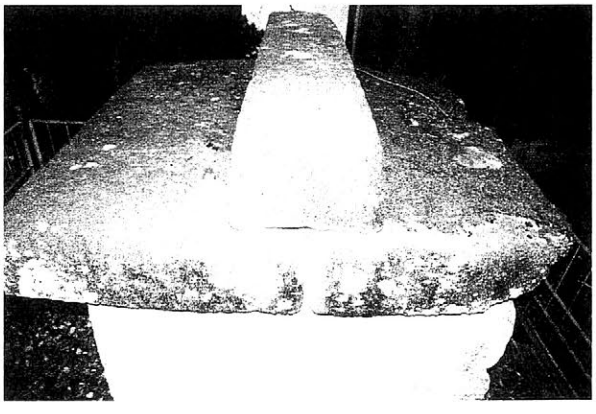


図2. 南北上面の現状

臼杵磨崖仏における凍結破砕防止策の検討（3）
—覆屋内温熱環境の予測と凍結防止策の提案—

○森井順之（東京文化財研究所）

はじめに

石造文化財である磨崖仏は自然崖面に仏龕を形成し仏像が彫刻されており、その多くが屋外環境下にて保存される。そのため、温湿度変動・降雨・日照などの気象変動や仏龕背後の地下水位変動など自然環境の変化は、磨崖仏を保存してゆく上で大きな影響を与える。

筆者は、国宝及び特別史跡・臼杵磨崖仏（大分県臼杵市）において次期保存修復工事の事前調査に関わっている。臼杵磨崖仏では過去に 2 度の大規模保存修復工事が実施され、当初の目的が達成されたのか保存状態は概ね良好である。しかしながら、大寒波到来など急激な気温低下により磨崖仏表面が凍結、その後崩落が生じるなど、現有の施設では対応できない劣化現象も度々生じている。

そこで筆者は、冬期に磨崖仏表面が凍結を引き起こす要因を現地観測により解明し、磨崖仏表面の直接加熱、寒冷時に覆屋開口部を塞ぐ等、凍結破砕防止策についていくつかの提案を行った[1),2)]。本報告では、寒冷時における覆屋開口部の閉鎖に関して冬期の観測結果が得られたため、その効果について評価を行った結果を報告する。また、数値計算を用いて寒冷時における最適な温度制御方法について検討を行った結果も併せて報告する。

調査概要

今回対象とするホキ石仏第二群では磨崖仏の下部に弱熔結層を有しており、岩石内水分量が比較的高く、冬期・気温低下時において凍結が生じる危険性が高い。実際に、2001 年及び 2005 年冬期には磨崖仏表面の凍結および破片の崩落が確認されている。そこで、筆者らが過去に覆屋内外の温度を計測したところ、覆屋内は外気に比べて気温変動が小さいこと、冬期には寒冷風が流入することを確認した。その結果、第二期保存修復工事にて建設された深屋根の覆屋は、放射冷却の影響を最小限に抑え凍結防止の役目を果たしているものの、大寒波などによる寒冷風流入時にはその役割を果たせないと推察した[2)]。

そこで、2006 年 1 月にテント生地製のロールカーテンをホキ石仏第二群の覆屋開口部に設置し、凍結が予想される時にあらかじめ閉鎖することにより、寒冷風流入を防御することを考えた。今回は、冬期寒冷時にロールカーテンを開閉し、覆屋内の風環境および温熱環境がどのように変化するかについて、超音波風速計を設置し、数日間の計測を行った（設置地点の詳細は Fig. 1 の通り）。

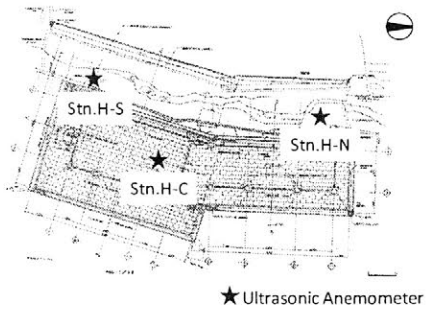


Fig. 1　Observation points of Ultrasonic anemometer

主な結果

超音波風速計による現地観測は、2007 年 1 月 14 日夜から 16 日朝まで実施した。そのうち、14 日夜から 15 日朝については、ロールカーテンを使用せず、正面・側面が開放された状態にて計測した。対して、15 日夜から 16 日朝については、ロールカーテンを使用し、覆屋が閉鎖された状態にて計測した。

Fig. 2 および Fig. 3 は、計測期間中の気温および風速の変化を示す。気温に関しては、覆屋開放時（図中点線枠内）でも覆屋内外に最大 3℃程度の気温差があり、現在の覆屋形状でもある程度の保温性能が確認できた。また、覆屋閉鎖時（図中実線枠内）では、外気が比較的高温であるのに関わらず覆屋内気温は安定していた。風速に関しては、両日ともに外部（Stn.01）で有意な風速が観測されたなか、覆屋開放時では外部と同様の風速が観測されるのに対し、覆屋閉鎖時ではほとんど観測されなかった。

また、覆屋開放時・閉鎖時における各測定地点の風速についてパワースペクトルを取った結果 (Fig. 3)、全ての周期成分について開放時 (a) より閉鎖時 (b) のほうが値が小さく、ロールカーテンにより風の浸入をほとんど遮断していることが確認できた。

おわりに

臼杵磨崖仏は過去2回の大規模修理によりその保存環境は格段に良くなった。しかしながら、過去の大規模寒波到来時に磨崖仏表面が凍結し破砕片が崩落するなど現在も岩石の風化現象が続いており、さらなる保存対策が必要となっている。そこで我々は、今後の臼杵磨崖仏の保存を考える上で、周辺環境整備による凍結破砕防止策の検討を進めている。今回は、前回・前々回に報告した手法について2008年冬期に行った現地試験の結果および数値予測より、暖房効果に関する評価を行った。その結果、開放された覆屋側面に遮蔽物を置くことが有効であることがわかり、数値予測の結果から他の石仏群にも応用可能であることが確認された。

【引用文献】

1) 森井・川野辺 (2006) 臼杵磨崖仏における凍結破砕防止策の検討 日本文化財科学会第23回大会
2) 森井 (2007) 臼杵磨崖仏における凍結破砕防止策の検討 (2) —冷風浸入制御のための実験— 日本文化財科学会第24回大会

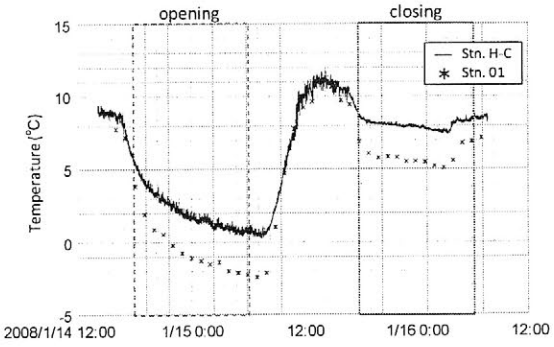


Fig. 2 Temperature change

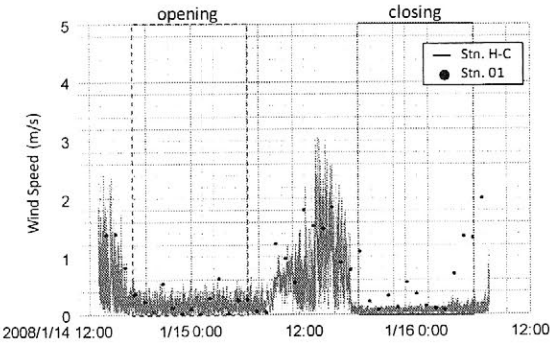
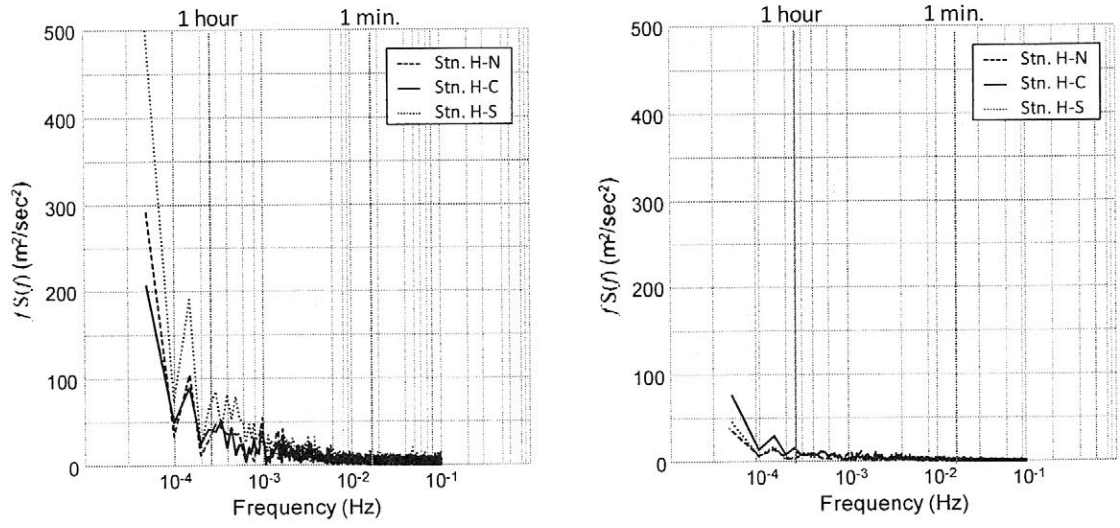


Fig. 3 Time series of wind speed in the shelter



(a) When opening the polyester curtains (b) When closing the polyester curtains

Fig. 4 Power spectrum of wind speed in the shelter

P−115

高松塚古墳・キトラ古墳壁画の生物劣化に係わる微生物について
―石室内菌類相の変化と主要な菌類の正体―

○佐野千絵・木川りか・三浦定俊（東京文化財研究所）
喜友名朝彦・安光得（株式会社テクノスルガ・ラボ）
杉山純多（株式会社テクノスルガ・ラボ東京事務所）

1．はじめに　2001 年春に実施された高松塚古墳の取合部崩落止め工事以降、カビが取合部および石室内部に発生・拡大し、2007 年に石室は解体され、壁画は修理施設内で修復が進められている。古墳の漆喰壁画の劣化にはカビやバクテリアなどの微生物が深く関わっているが、どのような微生物が汚染に関与し、どのように変化していったかを調査し、微生物劣化が進行していった過程を検証し、劣化原因について深く探求していく必要がある。そのため、微生物の十分な特徴づけ、系統分類学的な同定や微生物相解明を目的とし、2004 年 5 月以降、可能な範囲でサンプルを収集し、微生物分離、遺伝子塩基配列に基づく分子系統解析等も取り入れて、個々の微生物の特徴づけと種レベルの同定を行なってきた。本報告では現在までに得られた基礎データのうち、培養可能な主要菌類について報告する。

2．微生物同定手法　培養可能な微生物については滅菌綿棒と湿室培養法を併用して採取、分離、培養を行ない、採取サンプルの光学顕微鏡・走査型電子顕微鏡（SEM）観察により主として培養、形態レベルのデータを取得した。そして選別した純粋分離株について核小サブユニット・リボソーム RNA（nSSU rRNA; バクテリア、菌類）、核大サブユニット・リボソーム RNA の D1/D2 領域（nLSU rRNA　D1/D2; 菌類）、ITS 領域（一部の菌類）、伸長因子 1-α（elongation facter-1 alpha、EF-1α；一部の菌類）、β-tubulin（一部の菌類）の遺伝子塩基配列を決定し、近隣結合（neighbor-joining；NJ と略記）法、ベイズ（Bayes）法（菌類のみ）等で系統解析を行なった。種レベルの同定には得られた表現型・遺伝子型両形質データを統合的に解析する方法を用いた。

3．石室内の菌類相の変化

3-1. 高松塚古墳（2004. 5〜2006. 12）　高松塚古墳石室内で採取したサンプル 105 点について菌類相（mycobiota）の変化を検討した。2005 年 9 月の石室解体に伴う墳丘部の冷却開始以降、これまでの主要菌類群であったフザリウム（*Fusarium*）、トリコデルマ（*Trichoderma*）、アオカビ（*Penicillium*）の 3 属のうちフザリウム、トリコデルマ両属は徐々に衰退し、これらに代わって、2006 年 5 月以降、暗色系アクレモニウム属[*Acremonium*（sect. *Gliomastix*）]がアオカビ属と共に石室内の優占菌類群となった。暗色系アクレモニウム属は、女子群像の“黒い染み”の原因カビである。2001 年 12 月に石室内北壁と南壁面に発生した、茶褐色の染み（色素）をだすカビ、シリンドロカルポン属（*Cylindrocarpon*；TBT-1・TBT-2 の 2 株）については、この期間には検出されていない。

3-2. キトラ古墳（2004. 6〜2007. 9）　キトラ古墳石室内サンプル 105 点、小前室 25 点、前室・準備室等 5 点、外気（外気の空中微生物）1 点の計 136 サンプルからの菌類分離作業の

結果、約 60 種類（未同定菌種含む）計 534 株が得られた。キトラ古墳内ではアオカビ（*Penicillium*；特に、*Penicillium* sp. 1（詳細については後述））、明色系アクレモニウム（*Acremonium*；特に、*Acremonium* sp. 1（cf. *A. strictum*））、フザリウム（*Fusarium*）、トリコデルマ（*Trichoderma*）の 4 属が石室内における優占菌類群であった。キトラ・高松塚両古墳石室内の菌類相は、その構成種には共通性が認められるものの相違が認められた。

4．主要菌類の正体

4-1. フザリウム属 これまで高松塚（2004.5～9）・キトラ（2005.2～4）両古墳の石室内外から分離されたフザリウム属（*Fusarium*）24 株の EF-1α遺伝子を用いた分子系統解析の結果、分離株は大きく *Fusarium solani* species complex（FSSC）クレード（単系統群, clade）、*F. avenaceum* / *F. tricinctum* species complex クレード、*F. oxysporum* species complex クレード（キトラ 2 分離株のみを含む）に位置づけられた。FSSC クレードに位置した分離株の多くは高松塚古墳の石室内壁面から分離されており、壁画劣化の主要な菌類の一つと考えられた。また、同クレード内の分離株はフランスのラスコー洞窟から分離（2002、2004～2005 年）同定された FSSC LSP1-LSP3（J. Dupont et al. 2007. Mycologia 99: 526-533）と分子系統学的に近縁性が示唆されたことから、両壁画・壁面の生物劣化を考察する上で興味深い一群である。FSSC は土壌環境から普通に分離される土壌菌類の仲間である。

4-2. トリコデルマ属 これまで高松塚（2004.5）・キトラ（2005.2）両古墳の石室内外から分離されたトリコデルマ属（*Trichoderma*）18 株の EF-1α遺伝子を用いた分子系統解析の結果、大きく Harzianum-Virens クレード、Viride クレードおよびセルラーゼ生産種（たとえば *T. reesei*）を含む *Trichoderma* 属 *Longibrachiatum* 節に分かれた。2003 年 9 月に取合部の擬土部分に発生したカビ（TBT-5 株）と 2004 年 4 月に盗掘口上奥に発生したカビ（TBT-7 株）の 2 分離株は Harzianum-Virens クレードに含まれた。そのうち、高松塚古墳由来のすべての分離株が土壌からの分離例が多く知られる Harzianum-Virens クレードに位置した。トリコデルマ属の仲間は土壌環境から普通に分離される土壌菌類の仲間である。

4-3. アオカビ属 高松塚・キトラ両古墳サンプルのアオカビ属（*Penicillium*）の中で、最も多く分離された *Penicillium* sp. 1 について代表分離株 13 株（高松塚 7 株、キトラ 6 株）について 28S、ITS 遺伝子の塩基配列を決定し、系統解析を行ったところ、同属 *Roqueforti* 節に帰属することがわかった。さらにβ-tubulin 遺伝子による分子系統解析を行った結果、アオカビ属 *Roqueforti* 節（本節にはブルーチーズ製造にかかわる *P. roqueforti* が含まれる）に帰属する *P. paneum* とクレード（単系統群）を形成した。更に *Penicillium* sp. 1 の培養的・形態学的形質の観察結果および分子系統学的データの統合的解析から *Penicillium* sp. 1 は *P. paneum* Frisvad と同定した。*P. paneum* はカビに汚染されたライ麦パン等、食品からの分離報告例が知られ、土壌環境からの報告例はほとんど皆無である。

＜参考資料＞国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会及び同検討会作業部会（第 11 回）平成 20 年 2 月 25 日
資料 5　「高松塚古墳微生物調査報告」
http://www.bunka.go.jp/takamatsuzuka_kofun/kentoukai/kentou_11/pdf/shiryo_5.pdf　（約 5 MB）

高松塚古墳の版築土および石室石材の水分特性測定

カリル　マグディ（東京文化財研究所、エジプト治水・水利省、国立水利研究センター）
○石崎武志（東京文化財研究所）

1．はじめに

高松塚古墳やキトラ古墳などの石室内や、ラスコー洞窟の内部の環境は、相対湿度がほぼ100%になっていることが特徴である。この湿度条件は、カビなどの微生物が発生しやすい条件になっている。古墳石室内の湿度は、石室の石材や墳丘土の水分量と水分特性により決まる。水分特性とは、多孔質体中の水分量と、土中水の間隙水圧の間の関係を示すもので、周辺環境変化による多孔質体中の水分移動などを解析する上で基礎となる特性である。高松塚古墳の版築土の水分特性および、石室に使われていた石材と同じ凝灰角礫岩の水分特性を求めたので以下に報告する。

2．水分特性

土や石などの多孔質体の水分量と土中水の圧力の関係を示したグラフを水分特性曲線という。例えば、乾燥した土を水につけると、水を吸い込むことから、乾燥した土の内部に含まれる水は、負圧になっていると考えることができる。水を吸い寄せる圧力という意味からこの圧力は、サクション圧とも呼ばれる。ここでは、負圧のマイナスの符号を取り除いたサクション圧を使う。サクション圧の単位としては、水柱圧（cmH_2O）を用いる。水分特性を測定する方法としては、サクション圧の大きさから、つり下げ法、加圧板法、飽和塩法がある。以下に、その測定法と測定結果について説明する。

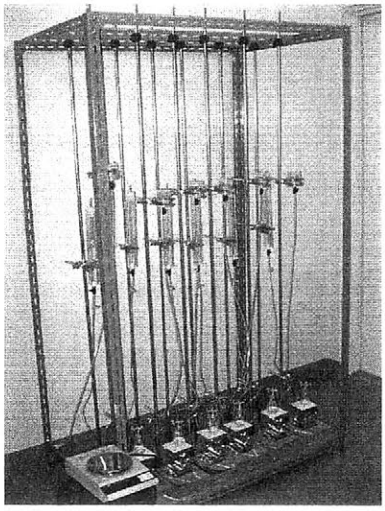


写真１　つり下げ法

2-1：つり下げ法

土試料に含まれる水に負圧をかける方法として、土試料の水と繋がっている水の水位を下げて直接負圧をかける方法がある。装置を写真１に示す。水位を、試料から１ｍ下げると、100 cmH_2O のサクション圧を試料に加えることができる。土試料は、飽和状態で準備し所定のサクション圧で試料中の水分が若干減少し、ある水分量で平衡となる。サクション圧を変化させて、体積含水率とサクション圧との関係を求める。

2-2：加圧板法

つり下げ法よりさらにサクション圧が大きい領域では、加圧板法と呼ばれる方法（写真２）を用いる。この方法では、土の周囲に空気圧を加え、試料中の水分を追い出し、ほぼ平衡状態になったところで、試料中の体積含水率を測定し、圧力と体積含水率の関係を求める。この方法では、サクション圧として 200～15000cmH_2O の範囲の値を求めることができる。

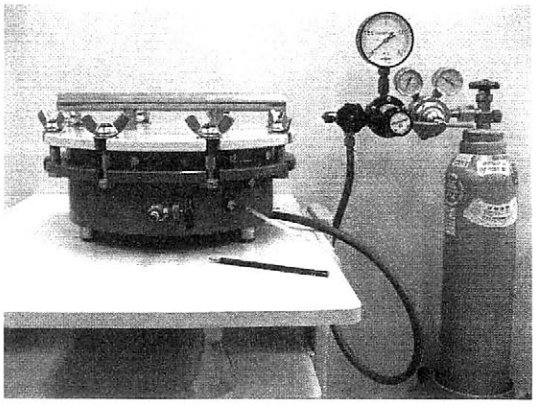


写真２　加圧板法

2-3：飽和塩法

加圧板法よりさらにサクション圧の大きい領域では、飽和塩法を用いる。飽和塩の溶液を閉じた容器に入れた場合に、その内部の相対湿度

は、塩の種類によって決まる。この測定により、サクション圧が 15000 cmH_2O より大きい領域での値を求めることができる。

3. 版築土の水分特性

版築土の水分特性を測定するために、古墳墳丘部の石室から東、北、西方向に、石室から約２ｍの所で、ボーリングを行い版築土の不撹乱試料を採取した。サクション圧と体積含水率との関係は、以上の３つの方法で求めた。その結果を、図１に示す。図１から、体積含水率は、サクション圧が増加すると徐々に減少することが分かった。サクション圧を、対応する相対湿度に換算し、相対湿度と体積含水率との関係を示したグラフを図２に示す。図２より、体積含水率は、約 10%以上の場合は、これと平衡する相対湿度がほぼ 100%になることが分かった。ボーリング結果により、版築部分の体積含水率はほぼ 30%であるので、これと平衡する相対湿度は、100%となる。この結果は、石室内で測定された相対湿度が、ほぼ 100%であることと対応している。

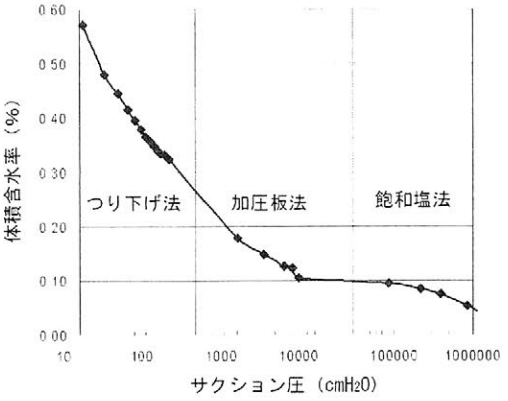


図１　版築土の水分特性曲線

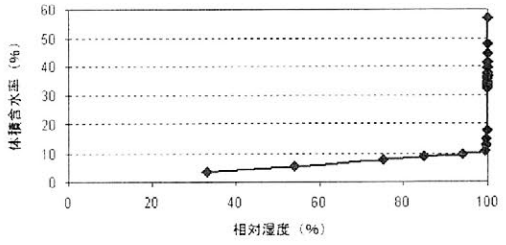


図２　版築土の体積含水率と相対湿度の

石室内の微生物対策として、墳丘部の含水率を下げて、石室内部の湿度を低下させることも提案された。しかし、この実験結果から、周囲の土の含水率を低下させて石室内の湿度を 100%以下にするためには、周囲の土の体積含水率を 10%以下にする必要があるので、墳丘部の大きな改変なしには、実施できないことが分かった。この版築土の水分特性は、高松塚古墳の生物対策としての墳丘部分の水分制御の効果を考える上で基礎的なデータとなった[1)]。

4．凝灰角礫岩の水分特性

高松塚古墳石室に使われた凝灰角礫岩と同じ二上山から得られた凝灰角礫岩の水分特性曲線を、測定した（図３）。測定結果から、版築に用いられた土試料と同じように、体積含水率が 10%以上の時は、これと平衡する相対湿度は、ほぼ 100%になることが分かった（図４）。石室解体時に測定した側壁の重量から壁石の湿潤密度を測定し、今回試験に用いた凝灰角礫岩の乾燥密度の平均値を用いて計算すると、体積含水率は、ほぼ 20%となった。これと平衡する相対湿度は、100%となる。この結果は、石室内の相対湿度の測定値が、ほぼ 100%であることと対応している。

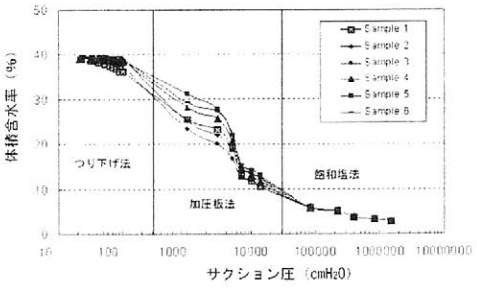


図３　凝灰角礫岩の水分特性曲

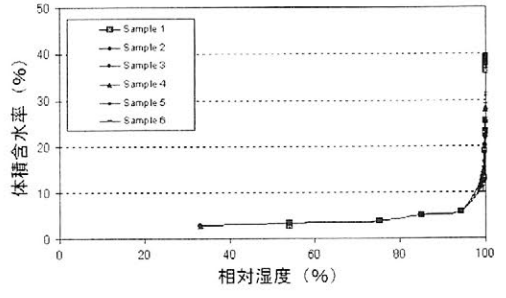


図４　凝灰角礫岩の体積含水率と相対湿度の

参考文献

1）Magdi Khalil and Takeshi Ishizaki（2007）Moisture Characteristic Curve of the Soil of Takamatsuzuka Tumulus、『保存科学』46、pp.13-20

P−117

石造文化財の保存修復用撥水剤の開発

○ 山路 康弘（別府大学文化財研究所），安田 奈央（日本文化財科学会会員）

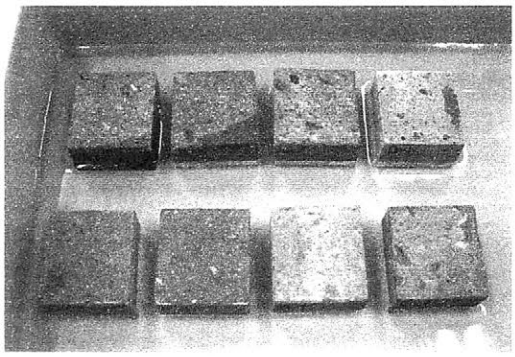
1．はじめに

石造文化財の保存修復において、本来であれば石材や環境に応じて材料を使い分けなければならない。しかし、現在使用されている材料は限定されつつあり、あまり選択する余地がない状況である。そのため使用する材料が必ずしも石材や環境に適しているとは言いにくい。この状況を少しでも改善するために数年前から石造文化財用の撥水剤（吸水防止剤）の開発を行ってきた。そこで新しく開発した樹脂（「YMJ－604，621，1124」）の効果を確認するため、他の撥水剤との比較試験（「吸水試験」，「浸透試験」，「塩類析出試験」）を実施した。「吸水試験」，「浸透試験」については新規材料が既存材料と同等および優れた結果を示し、「塩類析出試験」では顕著な差を示した。ここでは試験結果に顕著な差を示した「塩類析出試験」について報告する。

2．試験方法

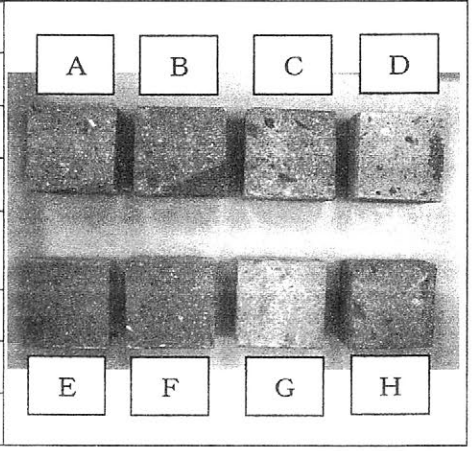
試験で用いた石材については石造文化財で広く使われている凝灰岩を採用し、石材上面に塗布した樹脂には新しく開発した樹脂を含む７種類の撥水剤・防水剤を用いた（使用した樹脂については表−１を参照）。

塩類析出試験方法は、テストピースの上面に樹脂を塗布し、その後１ヶ月間自然乾燥させ、それを写真−１のように 10%硫酸ナトリウム水溶液に浸して室内で 15 日間自然乾燥させた。自然乾燥させている間は塩類の析出状況など塗布面の変化を確認するために毎日テストピースの写真撮影を行い、その変化を記録した。また、テストピースの側面の状況を把握するため micro watcher での観察も行った。



写真−１　塩類析出方法

表−１　塩類析出試験における使用樹脂一覧表

	使用樹脂	主要成分	テストピース
A	未処理		
B	YMJ−621	シリコーン化合物	
C	YMJ−604	シリコーン化合物	
D	Wacker290	シラン・シロキサン	
E	クリスタルシーラー（液体ガラス）	珪酸アルカリ溶液	
F	レッカノン	珪酸・アルカリ金属化合物	
G	YMJ−1124	シリコーン化合物	
H	防水スプレー	シリコーン化合物	

3．試験結果

	塗布面への塩類の析出	塗布面の変化（フレーキング，表層剥離など）
A	・試験開始２日目	・完全に塗布面が塩類で覆われる
B	・塗布面へ析出せず	・塗布面の変化なし
C	・塗布面へ析出せず	・塗布面の変化なし
D	・塗布面へ析出せず	・実験開始 10 日目でクラックを確認 ・最終的に浸透層を境に表層が完全に剥離
E	・試験開始３日目	・実験開始６日目にフレーキングを確認 ・最終的に浸透層を境に表層が完全に剥離
F	・塗布面へ析出せず	・実験開始 10 日目でクラックを確認 ・最終的に浸透層を境に表層が完全に剥離
G	・塗布面へ析出せず	・塗布面の変化なし
H	・試験開始３日目	・塗布面の一部を除いて塩類で覆われる

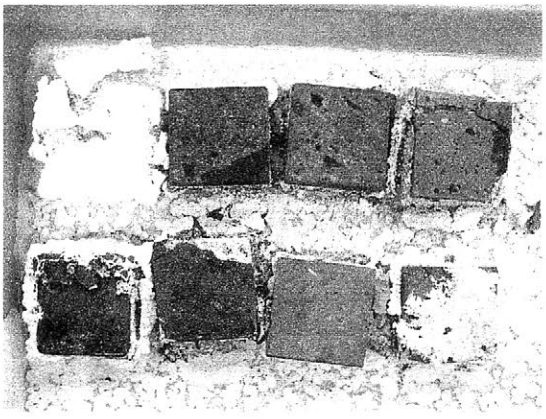


写真-２　塩類析出試験開始 15 日目

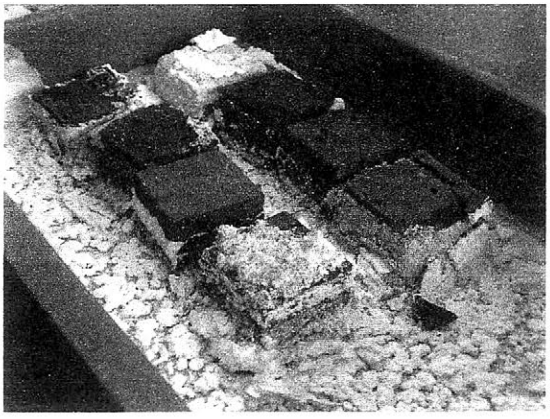


写真-３　塩類析出試験開始 15 日目

4．まとめ

「A：未処理」は塩類で全体が覆われ、「H：防水スプレー」も数日遅れで未処理同様の結果となった。「A」と「H」との時間差は樹脂処理を施したことによるものだが、浸透層が薄いため「H」は塩類が析出したと考えられる。また、「E：クリスタルシーラー」は開始から６日目に塗布面にフレーキングを確認し、さらに「D：Wacker290」と「F：レッカノン」は塗布面への塩類の析出は認められなかったものの開始から 10 日目でクラックが入り、三者とも最終的には浸透層を境に塗布面が剥離した（写真-４）。このように今回の試験で使用した樹脂７種類のうち４種類で塗布面に変化が認められた。新規材料については最後まで塩類の析出や表層剥離など変化は認められなかった。今回の試験結果から、塗布面の変化の有無は「浸透層の形成」と「主要成分」にあるのではないかと思われる。今回開発した撥水剤は、他の樹脂より浸透層が厚く形成されるため、吸水防止や塩類析出に対して非常に効果が高いことを示した。今後も石材や環境に適した材料になるよう試験を重ね、国内外を問わず石造文化財で問題を抱えている国々において今回開発した材料が選択肢の一つになることを期待している。

写真-４　Dの側面写真

P−118

七寺一切経及び唐櫃の保存環境調査

○ 吉川　也志保（一橋大学大学院）　中村　一紀（宮内庁書陵部）

1.　はじめに

本調査は、学術フロンティア「奈良平安古写経研究拠点の形成」の研究協力員として発表者が重要文化財・七寺一切経の学術調査に参加させていただいた折に、七寺住職・蟹江良三師ならびに上記プロジェクトの研究分担者である落合俊典教授のご理解の下、七寺一切経及び唐櫃の保存状態の把握を目的として実施された。

2.　調査地および経蔵の構造について

平安末期の七寺一切経および唐櫃は、指定名称「辛櫃入一切経」として明治 33 年、旧国宝に指定された。昭和二十年三月の名古屋空襲により、旧国宝の本堂をはじめ堂宇を焼失したが、からくも寄棟レンガ造り経蔵（明治 28 年建造）と、疎開していた唐櫃と一切経は焼け残った。現在、重要文化財として指定されている「七寺一切経及び唐櫃」は、この経蔵に収められている（図 1，図 2 参照）。基壇に通るアーチ型の通気トンネルなど、特徴的な換気構造およびドーム型天井は、発表者の狭い知見の中ではあるが、他に類例を見ないものでないかと思われ、空襲時に建築・設計に関する文書は焼失してしまったとは言え、当時設計に携わった人々の保存に対する意識の高さを表しており、明治期の経蔵としても貴重な建造物であろう。

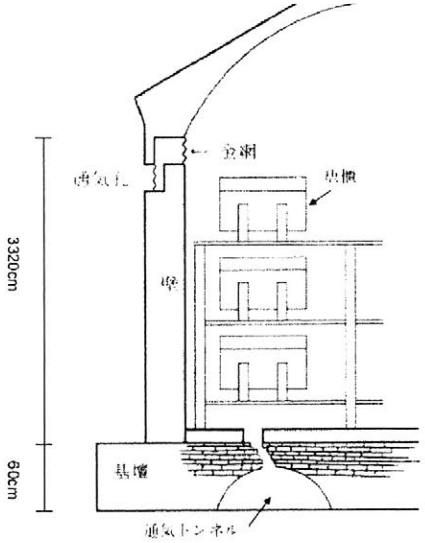


図１　唐櫃が収められた経蔵の概略図

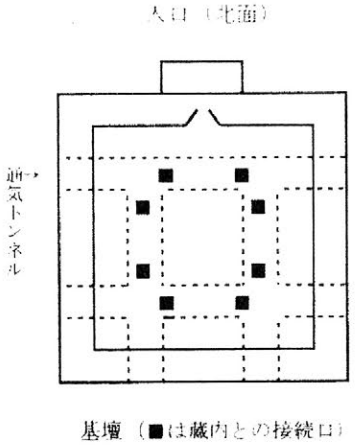


図２　経蔵基壇の構造

3.　調査方法および結果

① 温湿度調査

温湿度データロガーHOBO　H8Pro（オンセット社製）を用いて、2005 年 8 月から 2006 年 5 月までの唐櫃内、経蔵内、屋外の温湿度の推移を比較した。その結果、経蔵内でも夏季の温度上昇の影響をある程度受けていることが確認されたが、相対湿度に関しては、外気では 42%から 80%にまで偏移していたのに対して、経蔵内における相対湿度の変化は比較的ゆるやかなものであり、さらに唐櫃内では約 60%から 66%の範囲内に安定していたということが確認された。測定値の詳細については、ポスター紙面上で発表することとする。

② 付着菌調査

写本の小口に見られた微生物らしき白色部位（図３参照）を滅菌綿棒で採取し、直径 9cm の PDA 培地（ニッスイ製薬社製）等で培養したところ、*Bacillus* 属とみられる細菌が検出された（図参照）。*Bacillus* 属は、水中や土壌に普遍的に存在する菌である。また、被害は小口にとどまり、本文には影響が現れていなかったのだが、他の収蔵物への波及等を防ぐために、すみやかにエタノールを用いて殺菌した。なお、本調査の範囲内では写経からは、付着真菌が殆ど検出されなかった。

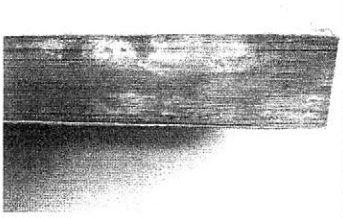


図３　写本小口

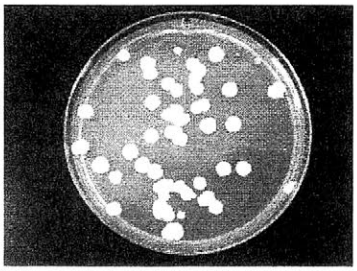


図４　PDA 培地上の *Bacillus* 属

③ 浮遊菌測定調査

対象物の微生物劣化を予防するために、2005 年から 2006 年の間、３回にわたって経蔵内の空中浮遊菌測定調査を行った。培地には、PDA、DG-18（アテクト社製）を用い、Biosampler MBS-1000（Biotesto 社製，吸引量：250ml）を用いた。25℃の環境で培養したコロニーを３日後と１週間後に計数し、CFU／m^3（コロニー形成単位／m^3）を算出するにあたっては Biosampler の換算表をもとに補正した。

Airborne mould sampling	Nomber of microbe particles(CFU/m3)			
	Inside		Outside	
DATE	PDA	DG18	PDA	DG18
Oct-05	216	620	960	1112
Feb-06	628	588	200	340
May-06	764	2096	64	2096

表１　測定結果

４．　おわりに

今回の調査では、季節によっては経蔵内部のCFU 値が若干高い傾向もみられたが、一切経に関しては、カビや害虫などの大量発生などといった問題は発生しておらず、湿気によるフヤケも見られなかったため、空調を用いず経蔵の持つ機能だけで保存してきたという経緯を鑑みれば良好といえる。現在、七寺一切経を保管する経蔵内部は、伝え聞くところによるとかつては夏でも涼しく、前述のような特徴的な換気構造が有効であったと考えられる。しかし、建造百余年を経過し、蔵を取り巻く環境は、建造時と比して大きく変化しており、本調査では、ご許可を得て、経蔵内部のクリーニングを実施し、内部の床にある通気口に活性炭フィルターを設置したが、今後も劣化予防対策として経過観察の継続が望ましく、様々な課題がある。

【参考文献】　『尾張史料　七寺一切経目録』七寺一切経保存会，昭和 43 年，p.183-227

謝辞

今回、貴重な調査の機会を与えてくださった、七寺蟹江良三師ならびに落合俊典先生には厚く御礼申し上げます。また、測定調査に有益なご助言をいただきました東京文化財研究所保存修復科学センター佐野千絵先生に深く感謝いたします。

P－119

松浦市鷹島海底遺跡出土漆製品の保存処理について

○植田直見、川本耕三、木沢直子、大国万希子、山田哲也（（財）元興寺文化財研究所）
高妻洋成、大河内隆之（（独）国立文化財機構奈良文化財研究所）
中田敦之、松尾昭子（松浦市教育委員会）

1. はじめに

長い年月海底に埋もれていた鷹島海底遺跡出土漆製品は、土中に埋もれていた遺物とは異なった埋蔵環境にあり、そのため遺物の状態も異なることが考えられた。また元寇に由来する遺物であるため国内の遺物とは異なった樹種や漆塗り技法が用いられていることが予想された。そこで、事前の調査・分析を行い漆製品の特徴や技法を調べ、その結果をもとに通常の漆製品に使用されている処理方法からより適した方法を選択し処理を実施した。その結果、一部の漆製品では国内のものと異なる挙動が見られた。これらについて、国産の漆製品と比較しながらその理由を検討したので報告する。

2. 遺跡および遺物

鷹島海底遺跡は、長崎県松浦市鷹島南岸域に所在する海底遺跡である。２回目の蒙古襲来（日本名で弘安の役、1281A.D.）において、暴風雨により多量の軍船が沈没したとされる地域に相当する。1980年代より継続的に調査され、総数3000点を超える多種にわたる遺物が出土している。この遺跡から引き揚げられた遺物の多くは、1281A.D.当時実際に使用されていたと想定でき、暦年代の特定が一般的に難しい考古資料のなかでは注目される。

その中で、漆製品は弓や弩・小札などの武器・武具といった非日常的な状況で使用されたものと皿や椀などに代表される容器類のような日常的に使用されたものの大きく２通りに分けることができ、総数では50点を越す遺物が確認された。今回、これらの中からから代表的なものを選んで報告する。

3. 分析・調査

3-1. 方法

漆製品は一部を除きそのほとんどが木胎の上に下地を施しその上に漆が塗布された構造を持つ。そのため、内部構造を確認するためＸ線透過撮影およびＸ線ＣＴ撮影を行った。さらに漆膜の断面構造を顕微鏡で観察し、下地についてはその成分を蛍光Ｘ線分析装置（セイコーインスツルメンツ㈱製　ＳＥＡ5230）により元素分析した。なお、樹種同定結果については伊東隆夫京都大学名誉教授よりご教示いただいた。

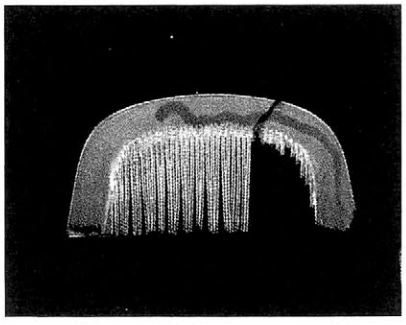


写真１．漆塗櫛のＸ線透過撮影

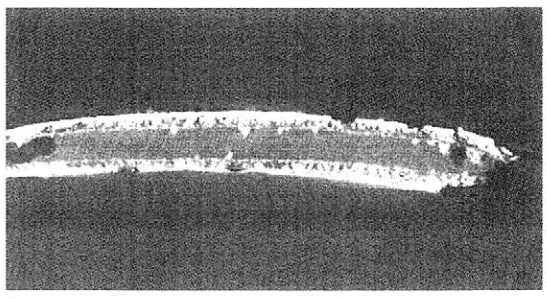


写真２．漆椀のＸ線ＣＴ撮影

3-2. 結果･考察

漆塗り櫛のＸ線透過撮影結果を写真１に示す。内部を観察した結果、フナクイムシによる木部の欠損が見られた。外観からでは欠損の程度が確認できなかったが、撮影により多くの遺物で同様な状態にあることがわかった。また、漆椀は目視による観察とＸ線ＣＴ撮影を行い、内部の木胎の構造を確

写真３．漆膜（弓）の断面（透過撮影）

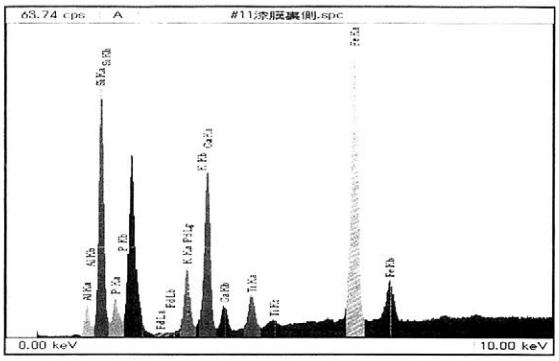


図１．漆下地(弓)の蛍光Ｘ線分析

認した。その結果、一部については券胎構造を持つものが確認できた。なお、Ｘ線ＣＴ撮影では漆膜および下地などの構造も確認できた（写真２）。さらに、一部の遺物では漆膜の断面観察（写真３）および蛍光Ｘ線分析（図１）によるP、Caの検出より、下地に骨粉が混和されていることが確認できた。

4.　保存処理

4-1.　処理方法および工程

保存処理は漆製品に一般的に用いられている真空凍結乾燥法および糖アルコール法を用いた。当初漆膜の状態が比較的良好で木胎との密着性がよいものは糖アルコール法で、一方、漆膜が木胎から剥がれかけているものおよび木部の残存状態の悪いものについては真空凍結乾燥法で処理を行なう方針で進めた。工程は事前の調査を終了した後、クリーニング、EDTA・3Naによる脱色後、PEGおよびラクチトール水溶液に浸漬し、薬剤を含浸した。その後、糖アルコール法は50℃で乾燥し、表面を温水で洗浄した。また真空凍結乾燥法は表面を保護した後、-40～-50℃で予備凍結し、真空乾燥を行なった。

4-2.　結果

今回保存処理した遺物は漆膜の構造や樹種など国内のものとは異なっていたため、薬剤含浸が通常より長時間必要であることがわかった。これはフナクイムシによる欠損のあるものとそうでないものとを比較することでも確認できた。さらに、低分子の糖アルコールによる長期含浸でも内部まで薬剤が浸透しない場合があることもわかった。その結果として乾燥時に落ち込みがみられるものも現れた。また、凍結乾燥においても内部の水分の昇華に時間がかかり通常の条件では終点に達しない場合があることもわかった。さらに、両処理法とも処理後の温湿度の変化で漆膜が反るなどの変化が見られるものも確認できた。これらは日本にはない樹種や漆膜の構造に由来すると考えられた。

加えて、これらの遺物は当初、海底に埋もれていたため、内部に海水が含まれていた。そこで、通常の処理にかかる前に脱塩を行う必要があった。しかし、直接水道水など塩分を含まない水につけると木部と漆とでその挙動に差が見られ漆膜が反るなど状態が変化するものも見られた。そのため徐々に脱塩することで変化を防ぐ必要があった。

5.　さいごに

今回保存処理を行った漆製品は海中からの出土といった特殊な環境化におかれた遺物であること、樹種や漆塗りの技法が日本製のものとは異なっていたことなどから国内の遺跡より出土した漆製品に摘要する通常の処理法では充分に対応できないものも現れた。今回の結果は今後同様な遺物を処理する場合の指針となると考えられる。処理にあたっては事前の調査･分析を充分に行い、より慎重に処理を実施していくことが必要であると考える。

最後に京都大学名誉教授伊東隆夫氏、一部の保存処理および漆膜の断面観察のためのプレパラート作成および写真撮影をしていただいた筑波大学大学院中村景子氏に感謝いたします。

P－120

水質検知管を用いた脱塩溶液中の塩素イオン濃度測定の有効性について

○松田隆嗣　（福島県立博物館）

１．はじめに

出土鉄製遺物の保存処理において、資料に含まれている塩素イオンや硫酸イオンを除去することは処理終了後のさびの進行を防ぐ上で重要である。このため、処理に当たっては脱塩液中の塩素イオンや硫酸イオンの濃度を測定し、脱塩の終了時点を決めている。塩素イオンについてはイオンクロマトグラフ法、イオン電極法、硝酸水銀(Ⅱ)滴定法、硝酸銀滴定法など[1,2]の定量法があるが、分析装置が高価、操作が煩雑などのため濃度測定には苦労されているところも多い。

今回、報告する水質検知管による分析の精度はイオンクロマトグラフ法、イオン電極法などの方法と比較するまでもないが、操作が簡単で分析時間が短いのが特徴である。しかし、水質検知管による測定に方法ついては、ほとんど知られておらず、かつ、脱塩液といったアルカリ溶液中の塩素イオンの濃度測定が可能かについても明らかではないことから実験を行った。

２．水質検知管について

現在、塩素イオンの濃度測定用として発売されている水質検知管は、光明理化学工業株式会社製のNo. 201SA(測定範囲 10～2000ppm)とNo. 201SB(測定範囲 3～200ppm)及び株式会社ガステック製のNo. 221L(測定範囲 25～1000ppm)とNo. 221LL(測定範囲 10～200ppm)がある。このうち、光明理化学工業株式会社のNo. 201SB(測定範囲 3～200ppm)について実験を実施した。

これは、3～4年前から光明理化学工業株式会社製の水質検知管(No. 201SA、No. 201SB)を使用しているが、No. 201SBが使い勝手がよくその後No. 201SBのみを使用していることによる。また、株式会社ガステックの製品については、実験を計画した時点で発売の情報がなかったためである。

実験に用いたNo. 201SBの特徴として使用説明書には、下記のようなことが記されている。

測定範囲	3～200ppm	検知限度	1ppm	試料液量	5ml以上
使用温度範囲	5～80℃	測定時間	1.5分	検知剤の変色	茶色 → 白色

反応原理　塩素イオンがクロム酸銀と反応して塩化銀を生成する($Cl^- + Ag_2CrO_4 \rightarrow AgCl$)

妨害イオン　臭素イオン・ヨウ素イオン・シアンイオン　指示が高くなる

溶存硫化物　根元が褐色に変色し、指示が高くなる

pHの影響　pH3.5～13では影響なし

産業廃棄物の「六価クロム含有のガラス及び陶磁器くず」として廃棄　と記載されている。

３．実験

３－１．試料用脱塩液について

まず、脱塩液(0.2%水酸化リチウム エタノール溶液、3%ソディウム セスキカーボネイト水溶液、5%ソディウム セスキカーボネイト水溶液、1%水酸化ナトリウム水溶液、0.5M(≒2%)水酸化ナトリウム水溶液)の倍の濃度の液を作成し、これにそれぞれ塩素イオンを添加し精製水で希釈した時点で0, 1, 2, 3, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100ppm塩素イオンを含み、適正な濃度の脱塩液となるように調整した。液の作成及び測定は10mlのメスフラスコを用いて行い測定条件を統一した。

３－２．水質検知管による塩素イオン濃度測定について

使用説明書に記されている方法に従い塩素イオン濃度を測定した。概略は以下の通りである。

①検知管の両端をカットする。②試料液を浸透させる方向を確認し一端を試料液に漬ける。

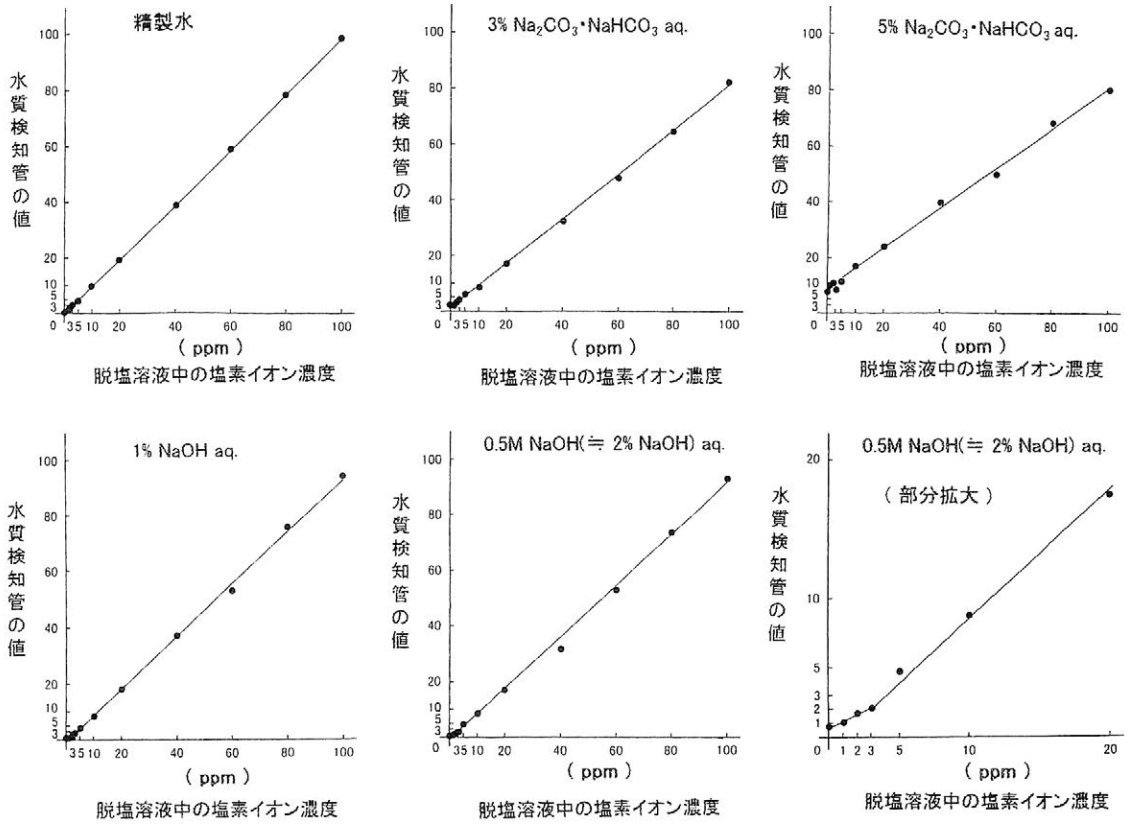
③試料液が、上端の綿栓に達したら検知管を取り出し、変色層の先端の値を読む。

尚、水質検知管のロット間の測定値のバラツキについても検討するため、4ヶ月から6ヶ月の間隔をあけて製造時期の異なる3ロットを購入し実験に用いた。

4．結果

各濃度の各溶液についておのおの3回(3ロット)ずつ測定を行い、その平均値を図－１に示す。

このうち0.2%水酸化リチウム エタノール溶液については、検知管が液を吸い上げず測定できなかった。このため、上端の綿栓よりも深く液に沈めたが液を吸い上げず測定はできなかった。



図－１　脱塩液中の塩素イオン濃度と水質検知管の測定値の関係

図－１に示すように精製水以外は、含まれている塩素イオン濃度より低い値を示すものが多い。しかし、グラフ化すると明らかなように各脱塩液により決まった比率により変化している。各ロット間のバラツキも少ないことから最小二乗法により回帰直線式(図-1、表-1)を求めた。回帰直線式により測定値を補正し、含まれている塩素イオン濃度をより正確にを求めることが可能である。また、他の脱塩液についても同様にして回帰直線式を求め、測定された水質検知管の値から実際に含まれている塩素イオン濃度を求めることが可能と思われる。

表－１　測定値から求めた回帰直線式

No.	脱塩液の種類 ＼ 範囲	$0 \leqq \chi \geqq 100$	$0 \leqq \chi \geqq 3$	$3 \leqq \chi \geqq 100$	$5 \leqq \chi \geqq 100$
1	精製水	$y = 0.98\chi + 0.15$	-	-	-
2	3%Na_2CO_3・$NaHCO_3$ aq.	$y = 0.79\chi + 1.77$	-	-	-
3	5%Na_2CO_3・$NaHCO_3$ aq.	-	-	-	$y = 0.71\chi + 9.09$
4	1%NaOH aq.	$y = 0.93\chi - 0.33$	-	-	-
5	0.5MNaOH(≒2%NaOH) aq.	$y = 0.92\chi - 0.33$	$y = 0.47\chi + 0.63$	$y = 0.92\chi - 0.78$	-

5．参考文献

1) ＪＩＳ工業用水試験方法　ＪＩＳ　Ｋ　０１０１　1998（2003 確認）日本協会規格 発行

2) ＪＩＳ工業排水試験方法　ＪＩＳ　Ｋ　０１０２　1998（2003 確認）日本協会規格 発行

P－121

青銅器時代の青銅細文鏡の復元製作技術の研究

○鄭光龍(韓国伝統文化学校) ・尹用賢(韓国国立中央科学館) ・
이현상(韓国伝統文化学校) ・李壽熙(韓国伝統文化学校)

Ⅰ．序論

青銅鏡は粗文鏡と細文鏡に分けられるが、細文鏡は韓国の青銅器文化の中で細形銅剣と共に最も特徴のある青銅器遺物である。

青銅細文鏡の中で、当代最高の合金・鋳造技術と最高レベルの手工芸細工技術・造型の水準を見せるものとして、論山出土細文鏡(国宝141呉)と和順大谷里出土細文鏡(国宝143呉)を挙げることができる。

このような青銅細文鏡の鋳造方法には大きく二つが主張されているが、失蝋法(密蝋鋳造法)と石材鋳型鋳造法を挙げることができる。

本研究は国宝141号・143号の青銅細文鏡を、失蝋法を使用して製作した。ただ、現在までに主張されている失蝋法の方法とは違って、滑石鋳型を共に使って青銅細文鏡の復元及びその製作過程を再現した。

Ⅱ．復元製作技術

国宝141号·143号の青銅細文鏡の復元に使われた製作技術は失蝋法である。失蝋法は蜜蝋で作ろうとする物の模型を作って、その上を細かい粘土で被った後、熱を与えて蜜蝋を溶かし出し粘土の鋳型を作ってそこに青銅の湯を入れ鋳造する方法である。

最近、国宝141号の細文鏡を石材鋳型鋳造法で復元した例があるが、このような 細文鏡の鋳造法には失蝋法を使って作った可能性が高いという主張が有力である。特に蜜蝋は繊細な文様をよく表現できるという長所があって、青銅器時代の細文鏡、祭祀具、三国時代の繊細で華麗な金銅百済大香炉、統一新羅時代から高麗後期までの大部分の梵鐘のような繊細な彫刻を鋳造するときにも多く使われたと主張されている。

Ⅲ．復元製作過程

青銅細文鏡の復元製作方法は次のような手順に作られた(図 1～ 図 3)。① 母型の鋳型(石材鋳型)製作 ② 母型の製作 ③ 粘土鋳型製作 ④ 蜜蝋溶解と鋳型の焼成 ⑤ 黒煙をかける ⑥ 合金及び熔解 ⑦ 青銅湯の注入 のような過程に進行した。

図1．蝋型の鋳型及び蝋型の製作

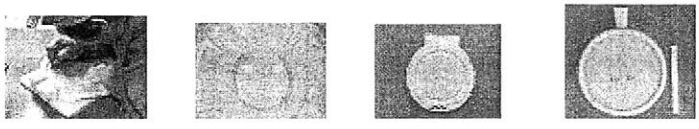


図 2. 粘土鋳型の製作

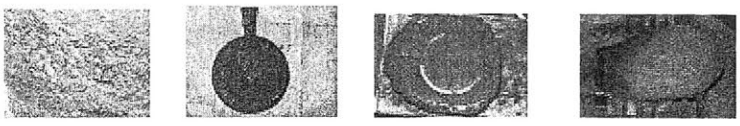
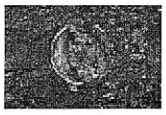
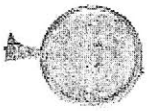


図 3. 合金及び鋳造

Ⅳ. 結論

青銅細文鏡の復元製作技術には、現在まで主張されている失蝋法の方法とは違って石材鋳型を共に使用した。失蝋法は蜜蝋で蝋型を作るが、蝋型に直接文様を彫刻して入れる方法ではなく、石材(滑石、泥岩)鋳型に文様を入れた後、溶かした蜜蝋を入れて作る方法が使用された。言わば石材の鋳型は、蝋型を作るための鋳型の役割をする。

このように意見を提示する理由は、まず韓国で発見された孟山と霊岩出土鏡鋳型(国宝231号)が、いずれも合范ではなく単范という事からである。このような事実は石材鋳型が湯を入れる用途ではないことを端的に示すものと考えられる。

二番目は青銅鏡の文様がいずれも陽刻であるということである。これは蜜蝋に文様を直接入れる時に、陽刻入れる工程上の難しさがある。したがって、石材鋳型に蜜蝋を入れる方法が使用されたと思われる。

本研究の青銅細文鏡復元製作技術は 青銅鏡復元の一つの方法を提示するものである。

P−122

金銅製品の表面青銅錆の除去技法研究

○鄭光龍・李壽熙・李周泫・朴東熙(韓国伝統文化学校)

1. 緒論

出土した金銅製品は長い間埋蔵された環境の中で腐食生成物を形成し、本来の形態と色を知ることが出来なくなる。このような金銅製品の腐食物による二次腐食の予防と原形の把握による古代技術体系を明らかにするために、保存処理の際に腐食物を取り除く。このとき使用される方法は、小道具を利用した物理的な異物質の取り除き方法と、腐食化合物と反応する薬品を利用した化学的な異物質の取り除き方法が使用されてきた。

本研究は、国内外に適用されてきた金銅製品の腐食物除去の事例調査を通じて、特に化学的な処理方法に関する特性究明に基づいて、保存処理の際に最も適当な化学的処理剤はどのようなものか、化学的処理の後、遺物に残っている薬品が遺物にどのような影響を与えるかを、科学的な分析方法を通じて安定性を評価し、処理方法に関する標準マニュアルを提示したいと思う。

2. 研究方法

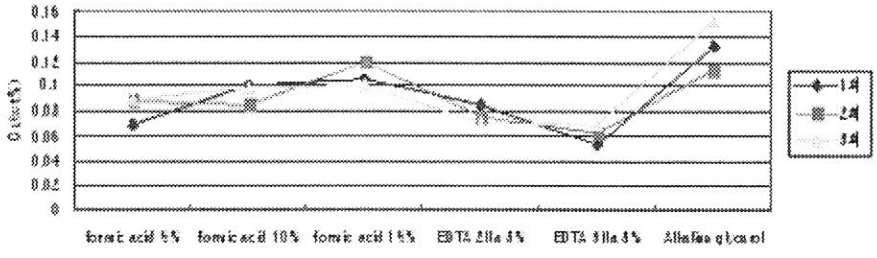
本研究は、化学的な除去技法に関する研究及び安定性の評価で、国内外保存処理の事例調査を通じて、保存処理の際に使用されている化学的な処理法であるFormic acid 5%, 10%, 15%, EDTA2Na, EDTA3Na, Alkaline Glycerol法が選定された。各薬品別に二つの主題を立てて実験した。一つは、各薬品別に素地金属に与える影響についてを主題とし、他に各薬品別、異物質の取り除きの程度及び安定性の評価についてを主題とした。

一つ目の主題は、人為的な損傷を与えた銅板に各薬品を吸収させた高吸収性樹脂を使った薬品別の安定性評価の実験であった。

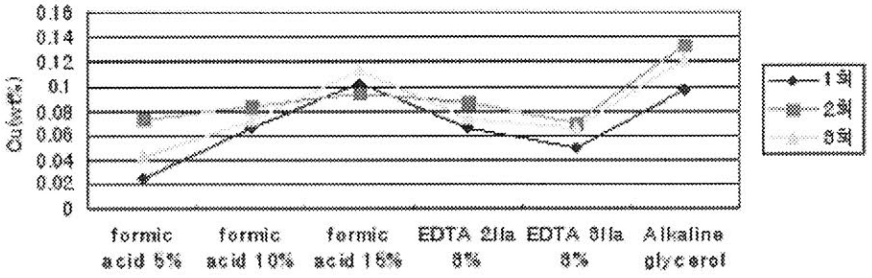
二つ目の主題は、韓国忠南瑞山 副長里から出土した金銅飾履断片中で、埋蔵及び出土環境によって腐食が進行した24点を選定した。各薬品別に一定の時間と面積を適用した時、露出した金の表面層の肉眼観察、および色度の測定を通じて、各薬品別の異物質の除去度を調査し、薬品と反応して溶出した腐食化合物に、pH、ICP調査を実施して安定性を評価した。

3. 結果および考察

(1) 素地金属に与える影響調査のため、各薬品別に薬品と反応した銅の溶出量をICPを使って分析した。その結果、溶出量は Alkaline Glycerol>Formic acid 15%>Formic acid 10%>Formic acid 5%>EDTA2Na>EDTA3Na の順となった。



(2) 各薬品別異物質の除去程度は、肉眼観察と色度変化を通じて、各薬品別に鍍金層の露出時点を基準にした。このとき Alkaline Glycerol と Formic Acid が最も早く、他の薬品はいずれも露出時期がほぼ同じだった。しかし安定性評価のために実施したpH調査結果、薬品適用後の各試片の pH は、Alkaline Glycerol の場合平均8.85であり、 Formic Acid の場合5.37を表した。



金銅製品は酸-アルカリと反応し、特に強酸性、強アルカリ性で腐食が進行するが、処理に使用された薬品は、素地金属を腐食させる恐れがあるから、仮に金銅遺物の金表面層の露出に長い時間がかかっても、異物の安定性のためになるべく中性に近いEDTA2NaやEDTA3Na、もしくは低濃度のformic acidを使用して処理するほうが良いであろう。また腐食物の取り除きの時、使用した薬品による二次腐食の進行を防ぐため、遺物内部に薬品が残らないように格別の注意が必要である。

P−123

青銅遺物保存処理用の表面強化処理剤の比較研究

조현경 • 조남철(韓国公州大学校) · 姜炯台(韓国国立中央博物館)

Ⅰ. 緒論

青銅遺物の強化処理に使われる表面強化処理剤は、保存処理機関や保存科学者によって異なるものが選択されて使用される場合が多く、またその選択の基準も明確ではない。従って本研究では最も使われている強化処理剤4種のコーティング特性を比較・実験して、青銅遺物保存処理に最も適切な強化処理剤を選択する基準を提示しようと思う。

Ⅱ. 実験方法

最も多く使われている強化処理剤4種(Paraloid B72, Paraloid NAD10, Incralac, V-flon)を選別して、溶剤には Xylene, Naphtha, Alcohol, YK-D80を使用した。溶液別には 10%と 20%溶液を製造して互いの比較・実験した。青銅試片(Cu 78%, Sn 22%)をヤスリ#200から#1200まで順次均一に研磨した後、各溶液をコーティングして AFM、接触角、書着力など多様な分析を実施した。

Ⅲ. 実験結果

1. AFM(Atomic Force Microscope)

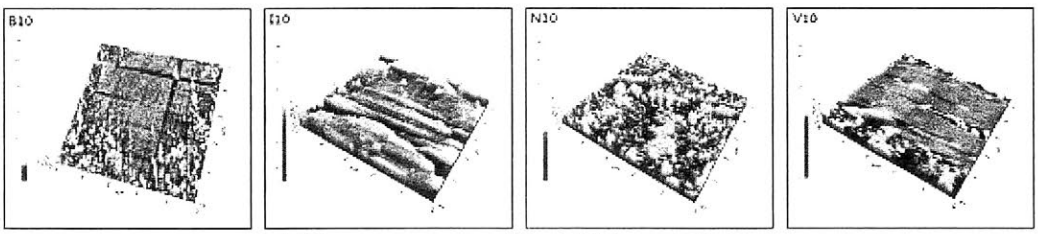


図 1. 10% 溶液でコーティングした試片の AFM 3D topography

Paraloid B72の場合、10%は下の部分にだけ樹脂が集まっていて、20%は全体的に集まっていた。Incralalcの場合10%、20%いずれも表面にBTAが形成されて粗い表面を形成した。Paraloid NAD10の場合、Emulsion粒子によって表面に凹凸を形成した。全体的に20%溶液より10%溶液の方が均された表面を形成するが、V-flonの場合10%より20%の方が均された表面を持つ。

2. 接触角と表面エネルギー

H_2Oの接触角はいずれも90°より小さく、疏水性が最も高いのが Paraloid B72であった。10%溶液の場合は10% Paraloid NAD10を除外した全てのコーティングが極性成分によって影響をもらう。20%溶液は溶液間の測定値の差が大きくなく、大体似た性質を持つ。コーティングの薄膜の均一性に関わる極性は20%溶液の方が低く、10%溶液より20%溶液の方がコーティングの薄膜が均される。

3. Scratch test

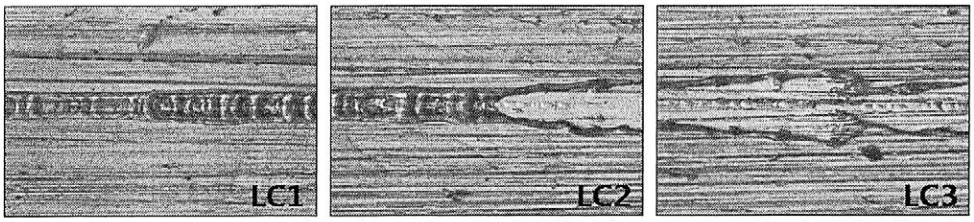


図 2. Buckling crack(LC1), delamination(LC2), total delamination(LC3)

接着力はコーティングの薄膜が剥ける時点である LC2基準にして測定した。10%溶液の場合IncralacやV-flonは測定が難しいほどの弱い接着力を持つ。20%溶液の場合はParaloid NAD10 > Parlaoid B72 > Incralac > V-flonの順に接着力が強い。

4. 黄変実験

Incralacの場合、変化の幅が広いだけではなく変動も激しい。Incralacを除外した他の溶液は、いずれも L*値の減少、a*値の増加、b*値の増加の変化様相を表した。10%溶液の場合 Paraloid B72の色の変化が最も小さく、20%溶液の場合は V-flonの色の変化が最も小さかった。

Ⅳ. 結論

1. AFMの結果、IncralacはBTAによって粗い表面を形成し、10% Paraloid B72は比較的に集まりが少ない表面を形成した。

2. 接触角の測定結果濃度に関係なしに、Paraloid B72の疏水性が最も大きい。20%の溶液は大体に同じようなコーティング性質を持ち、10%溶液より均一なコーティング膜を形成する。

3. Scratch testを通じて、IncralacやV-flonは相対的に弱い接着力を持ち、10%の溶液ではParlaoid B72が、20%の溶液ではParaloid NAD10の方が接着力が大きかった。

4. 黄変実験の結果、Incralacを除いていずれも似たような色度の変化を見せた。色差値は全体的に20%の溶液の方が低いため、黄変に安定すると判断でき、10%の溶液ではParlaoid B72, 20%の溶液では V-flonの色差が最も小さかった。

従って濃度を基準に比較する場合、10%より20%の溶液コーティングが均した表面を形成した一方黄変にも安定であるといえる。10%の溶液の中では、Paraloid B72が比較的接着力と疏水性が大きく、黄変に安定なコーティングの薄膜を形成する。

P−124

文化財調査用可搬型Ｘ線検出器の開発研究

大塚将英（東京文化財研究所）

１．はじめに

文化財の調査では、資料採取が許されず、非破壊・非接触を大前提とした手法を要求されるケースが多いことから、Ｘ線透過撮影などのＸ線を用いた調査方法は重要な役割を担ってきた。そして、Ｘ線透過撮影による調査は保存科学のみならず、絵画技法、彫刻や工芸品の構造などを明らかにするために、美術史などの研究分野でも重要な役割を果たしている。近年になって、これまで主に医療分野で利用されてきたイメージング・プレートやフラットパネル・ディテクタを使用したＸ線透過撮影も文化財調査へ適用されるようになってきた。しかし、現地調査を余儀なくされる文化財も多いことから、可搬な測定装置の必要性は今後さらに高まっていくだろう。本研究では２次元画像としてのＸ線検出を目的として、ガス電子増幅フォイル(Gas Electron Multiplier foil, GEM)を用いた検出器の信号読み出し部分にC-MOS技術を導入し、その性能評価を行った[1]。

2. GEMを用いたＸ線透過撮影用検出器の開発

今回開発した検出器の主要な部分であるGEMとは、厚さ50μｍのポリイミド・フィルムの両面を厚さ５μｍの銅で被覆した有感面積が100mm×100mmのフォイルである。この多層フォイルは、プラズマ・エッチングおよびレーザー処理で施されたφ70μｍの孔が140μｍピッチで空けられた構造をしている。増幅ガス中で数百Ｖの電圧をかけると、電子が孔を通過する時に雪崩現象により信号が増幅される、というのが動作原理である。

図１は開発したＸ線検出器の外観である。図２の検出器内部の概念図に示されている通り、３枚のGEMを間隔が2mmとなるように設置した。入射Ｘ線が光電効果を起こして光電子を放出させるためのスペース（ドリフト領域）を確保するために、最上段のGEMの50mm上流にアルミニウム製でメッシュ構造をしたドリフト板を設置した。

Ｘ線透過撮影を行うためには、検出した信号から２次元画像を構築する必要がある。このような目的のために、GEM検出器の読み出し方法として、次節に示されているようなC-MOS技術を導入した。従来のＸ線フィルムと比較すると、本検出器を用いればデジタル化された画像データとして記録することができる。また、イメージング・プレートやフラットパネル・ディテクタと比較すると、測定システム全体の規模を大幅に縮小できる可能性がある。

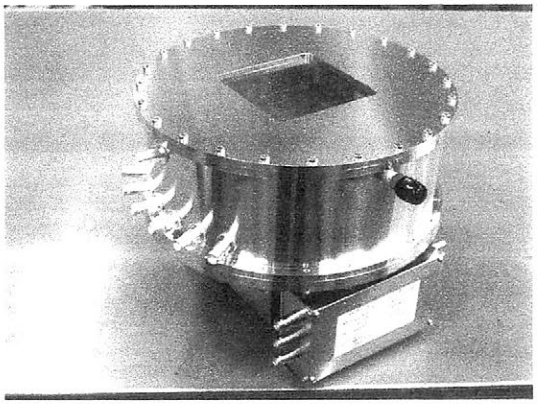


図１　GEM検出器の外観

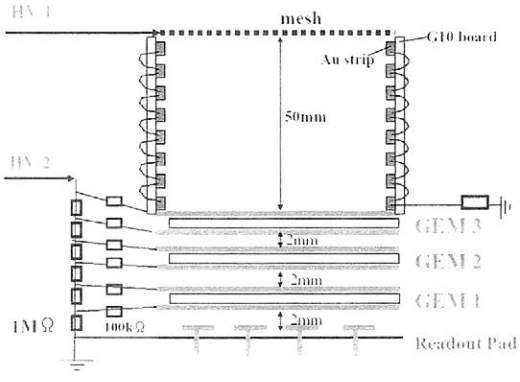


図２　検出器内部の概念図

3. C-MOS センサーモジュール

GEM によって増幅された電気信号から２次元画像を得るために、アクロラド社製の C-MOS センサーモジュールを信号読み出し部分に設置した。図３上はセンサー表面の写真であり、図３下が積分回路やホールド回路で構成されるセンサー裏面の写真である。センサー表面には、80μm 角の電極が 100μm ピッチで微細 ASIC 上に実装されている。一枚あたりの ASIC の面積は 23.0mm×12.5mm であり、図３に示されているように検出器中央部に４枚並べて 23.0mm×50.0mm の領域をカバーするように配置した。ASIC の後段では、AD 変換器によりアナログ信号からデジタル信号へと変換される。以上のシステムは USB ケーブルを介して PC に接続されており、専用ソフトウェアによって、各ピクセルの位置情報と各ピクセルに蓄積された電荷情報が記録される。

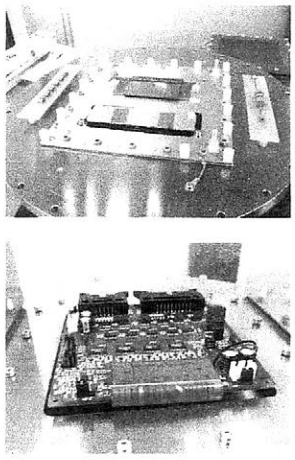


図３C-MOS センサー

4.X 線テストチャートを用いた実験結果

検出器の入射窓から 770mm の距離に、可搬型Ｘ線管球（ターゲットはタングステン）を設置した。照射実験時に管電圧と管電流はそれぞれ 40kV と 3mA とした。被写体として、Ｘ線テストチャートを検出器の入射窓に設置した。このテストチャートは 0.1mm の厚さの鉛シートに図４に示されているようなパターンが刻まれている製品である。

全てのピクセルに記録された電荷情報を解析することにより、各ピクセルのシグナルの有無を判断し、シグナルを有するピクセルの位置を散布図として示したのが図５である。図５に示されている通り、Ｘ線テストチャートに刻まれているパターンを反映した２次元情報を得ることに成功した。

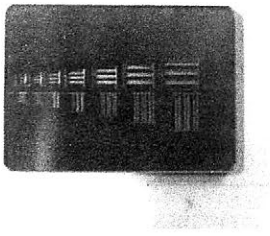


図４ Ｘ線テストチャート

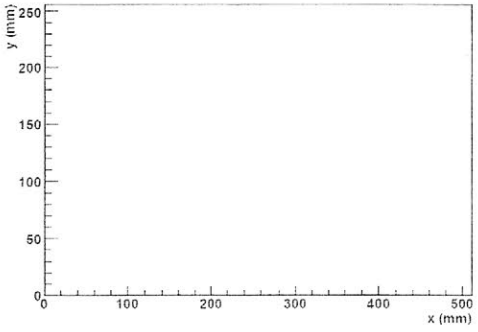


図５ テストチャートを被写体とした時の２次元情報

今回は電荷信号が記録されたピクセルの位置情報のみを散布図として示した。しかし、現段階では２次元画像上に濃淡を表すための充分なダイナミックレンジが得られていない。今後さらに様々な照射条件での実験を行い、定量的な評価をすることにより、検出器の改善を行っていく予定である。

参考文献

1) 犬塚将英、李栄篤：ガス電子増幅フォイルを用いた文化財のＸ線透過撮影のための検出器の開発、保存科学 46 (2007) 95-103.

本研究は平成１９年度文部科学省科学研究費補助金若手研究(A)「文化財の透過撮影および材質調査を目的とした新しいＸ線検出器の開発」によるものです。

P－125

日本酸性土壌における考古試料の
アミノ酸ラセミ化率とDNA保存性の関連性

○覚張隆史・太田博樹（東京大学・大学院新領域創成科学研究科）・大谷進（神奈川歯科大学高次口腔研究所）・米田穣（東京大学・大学院新領域創成科学研究科）

【背景】

近年、遺跡より出土した動植物の遺存体からのDNA分析が盛んに行なわれている。硬組織からのDNA分析は、多くの欧米諸国では、同一試料におけるアミノ酸のラセミ化率を測定した後、実施されている。これはラセミ化率とPCR増幅効率との間に相関があると考えられているからである。

アミノ酸のラセミ化率とは、同一種のアミノ酸に存在する光学異性体のL型およびD型の比率を意味し、D/Lとして表記する。生体においては、局所的な例外を除いてL型アミノ酸のみが存在し、代謝が停止することでD型アミノ酸が蓄積される。最終的にL型：D型＝１：１となり、平衡状態となる。アミノ酸のラセミ化率は時間、温度、湿度、pHなどの環境要因に応じて反応速度が変化することが知られている。一方、DNA分析を行なう際に一般的に利用されているPCR法は、DNAの脱塩基反応（deprination）の程度が高いほど、検出が困難とされる。Deprinationは熱反応の影響により130kJ/molで進行することが報告されており（Lindhal et al 1974）、アミノ酸のラセミ化率から試料の温度履歴を抽出することで、deprinationの程度を確認し、PCR増幅の可能性を大まかに把握できることが報告されている（Collins 1999）。

アミノ酸のラセミ化率の測定はDNA分析に比べ、1/100と極めて微量で測定が可能である。ラセミ化率を測定することで、試料のむやみな破壊を避けて、必要最小限の破壊によるDNA分析を可能にし、分析結果の信頼性の指標ともなっている。ラセミ化率とDNA保存性との関係は、硬組織が保存されやすいヨーロッパや北米の乾燥地帯や石灰質地帯においては、基準化が試みられている（Poinar et al 1996）。この先行研究により、アスパラギン酸（Asx）のラセミ化率が、D/L=0.08以上の値を示すサンプルでは100bp以上のPCR増幅は困難であることが報告されており、この値がヨーロッパ以外の地域でも基準として使用されている。。

しかし、Lindhal et al 1974で示されたdeprinationの熱反応の数値は、水溶液中におけるpH7.4で測定され、水分含量とpHによる影響を考慮していない。よって、保存環境が劣悪とされる温暖湿潤・酸性土壌である日本列島においては、前提となる反応速度が異なると予想される。しかし、日本におけるアミノ酸のラセミ化率とDNA保存性の関連性の検証は皆無である。

【目的】

ヨーロッパと北米の先行研究におけるDNA保存性に対するアミノ酸のラセミ化率の基準を実験的に検証し、日本土壌におけるPCR増幅性の基準が変動する可能性を確認する。加えて、実際の日本土壌における生物遺存体中のアミノ酸のラセミ化率とPCR増幅効率の関係を調査し、日本における有用性の確認と基準の検証を目的とした。

【試料および方法】

分析試料は日本の遺跡及び洞窟採取の馬歯骨（神奈川・五島・宮古島・二戸・博多）、野

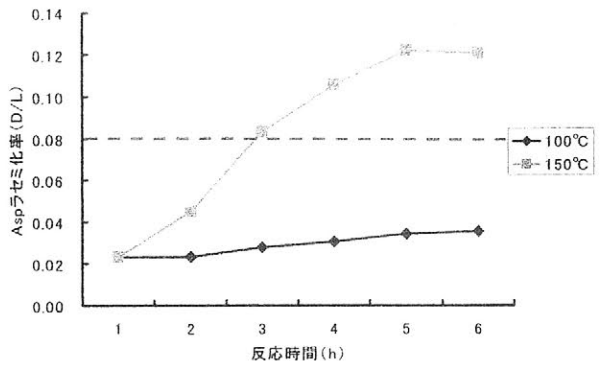
ざらしになっていた表採馬歯骨、乾燥地域（近東）における遺跡出土人歯を用いた。

分析方法は、分析試料を凍結粉砕し、Ohtani(2007)によるアミノ酸（アスパラギン酸）のラセミ化率を測定し、同一試料より Oota et al(1999)による DNA 分析を行い、以下の３つの項目を検証した。

① 現生歯骨を乾燥状態で実験的に加熱し、ラセミ化率測定と DNA 分析を行なった。
② 現生歯骨を pH の異なる水溶液中で加熱し、ラセミ化率測定と DNA 分析を行なった。
③ 考古試料および白骨化遺体のラセミ化率測定と DNA 分析を行なった。

【結果および考察】

①熱反応量が高いほど、アミノ酸のラセミ化率は高い値を示した。また、ラセミ化率の値が上昇するにつれ、PCR によるより長い DNA 検出が困難になり、D/L=0.08 まで PCR 増幅が確認された。これは、ラセミ化率が温度履歴の情報として有効であるとともに、DNA の deprination による断片化が生じることで、PCR が困難になることが確認された。また、先行研究の基準値である D/L=0.08 と同じ値を示し、乾燥状態における基準値の有用性を示した。

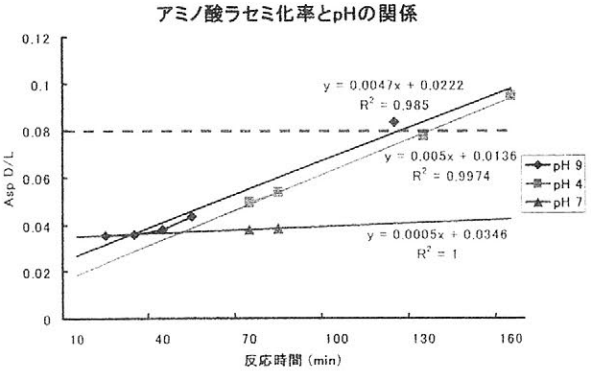


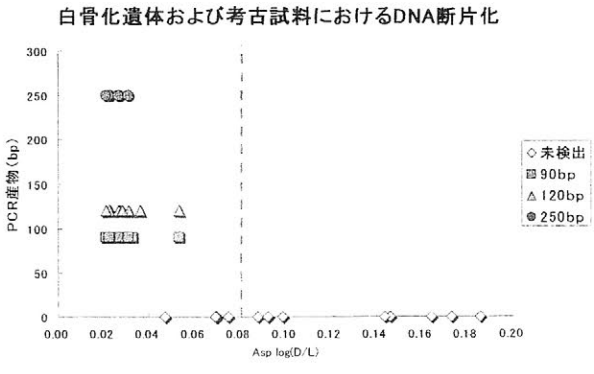
100℃	D/L	510bp	250bp	180bp	120bp
untreated	0.0232	−	**	*	**
1h	0.0234	−	**	**	**
6h	0.0277	−	**	**	**
12h	0.0307	−	**	**	**
18h	0.0344	−	−	*	*
24h	0.0357	−	−	*	*

150℃	D/L	510bp	250bp	180bp	120bp
untreated	0.0232	−	**	*	**
1h	0.0450	−	−	*	*
6h	0.0831	−	−	−	*
12h	0.1055	−	−	−	−
18h	0.1218	−	−	−	−
24h	0.1206	−	−	−	−

（記号）−(未検出)・*(低増幅)・**(高増幅)

②pH7 に対して、pH4 及び pH9 のラセミ化反応速度は 10 倍以上速いことが示された。また、PCR 増幅が可能と予想される D/L=0.06 以上では増幅が確認されないため、pH7 と pH4 及び pH9 のラセミ化率に対する deprination の反応速度が異なる可能性が示唆された。





③実際の考古試料及び白骨化遺体によるラセミ化率は様々な値を示した。また、PCR 増幅が確認された試料のラセミ化率は D/L=0.06 以上で確認されなかった。これは、先行研究において示された基準値である D/L=0.08 とは異なる値を示す可能性が示唆された。今後、多様な土壌地域から分析試料数を増やすことで、日本におけるアミノ酸のラセミ化率と DNA 保存性の基準化を試みる予定である。

P−126

ステレオ移動撮影による簡易形状計測手法を用いた泉崎横穴のデジタル化

○ 杉津信明 (東京文化財研究所)　○ 運天弘樹 (凸版印刷)　三橋徹 (凸版印刷)

1　はじめに

装飾古墳の壁画に関して，保存と公開との兼ね合いが問題となることが多い．すなわち，純粋に壁画の保存だけを考えれば，公開は行わない方がよいが，それだとその壁画の持つ情報を有効に活用できない．逆に壁画を有効に活用しようとすれば，保存のためには好ましくない環境を与えるという矛盾が生じるのである．

こうした問題を解決する一つの方向性として，古墳の持つ情報を正確に計測してデジタル化することで，古墳の保存を図りつつその情報を公開する方法を筆者らは提唱してきている [1]．しかしながら，通常のレーザー三次元計測装置は一般に大型で取り扱いが困難な場合が多く，計測には多大な時間と労力を要する．ステレオカメラによる計測方法も知られるが，広範囲を一度に撮影することは困難なため，部分ごとに得られた情報を組み合わせる段階で手間が生じることになる．本研究では，こうした問題を解決するために，ステレオカメラで動画撮影を行うことで広範囲の情報を一度に取得し，労力を大幅に軽減して三次元情報を獲得することを試みた．以下に，その方法を紹介するとともに，福島県の泉崎横穴 [2] において得られた成果について報告する．

2　方法

本手法での計測者の作業は，ステレオカメラを動かしながら対象全体を動画撮影する (図 1) のみであり，以降のデータ処理は全自動で行うことが可能である．データ処理の流れは，1) ステレオマッチング，2) 前フレームの画像との対応点探索，3) カメラ移動の推定，4) 位置合わせであり，ニアリアルタイム処理により，計測現場で計測状況を確認しながら計測作業を進めることが可能である [3]．

本手法の最大の特徴は，用いる装置の最小限の構成が，ステレオカメラ，ノート PC，及び接続用 1394 ケーブルのみであり，非常にコンパクトな点である．このため，大型機材の設置や移動が困難な場所での計測も容易である．さらに，本手法で用いたステレオカメラは 1394 ケーブルを通してノート PC より電源供給され，ノート PC のバッテリがあれば外部電源を必要としないため，大容量の電源が必要なレーザー計測器とは異なり，電源の確保が不可能な場所での計測が可能である点も特徴の一つである．

上記の通り，コンパクトで簡便な手法であるので，非常に短時間で計測を行い，その場で計測結果を確認することが可能である．実際，泉崎横穴の計測では，二名の計測者により約三時間で計測作業，データ確認を終えることが可能であった．なお，対象全体を計測するために，冗長なデータも含め，約 30 回の動画撮影を行い，1 回の撮影時間，データ処理時間がそれぞれ 1 分，4 分程度であった．また，対象から約 1m 離れた位置から，撮影時の画像ブレがあまり見られない速度にてカメラを動かした場合，1 回の撮影で約 2m×1m 程度の領域を計測可能であった．

泉崎横穴の計測結果を用いた精度検証は行っていないが，実験室での較正物体を用いた精度検証においては，約 5mm の精度が得られている．高精度の計測が必要な場合は，レーザー計測器を利用することが望ましいが，簡便に対象の概形を得たい場合や，レーザー計測器の設置が困難な対象の計測に関しては，本手法は非常に有効である．

3　結果とその評価

今回得られた情報に基づき，泉崎横穴の床面・天井面および各側壁面に対してそれぞれ法線方向に無限遠から見た状態での各面の見え方（正射影画像）を図 2 に示す．これは考古学における平面図・立面図にそれぞれ相当する図ということになるが，壁画の形状や文様の存在位置を厳密にプロットした状態での，各面の図面をこのようにして極めて簡易に得ることが可能である．また，横穴上方に視点をおいたときの横穴内部の見え方を図 3 に示す．現実には岩盤が存在するため，その位置に人間が

実際に目を持っていって見ることはできないが，コンピューター上ではその位置からの横穴の見え方をシミュレーションすることが可能である．このようにすれば，従来の観察だけでは得ることのできない，横穴の持つ様々な情報を引き出すことができると期待される．

なお，このようにして得られたデジタル情報は，ムービーの形で泉崎資料館にて上映されており，見学者が同横穴を理解することに役立てられているばかりでなく，壁画が公開されない期間には，代替公開の役割も果たしている．

謝辞

調査にご協力いただいた，泉崎村教育委員会の嶋村一志氏に感謝申し上げます．

参考文献

[1] 朽津，増田，猪狩，池内，三橋，松戸："スペクトル計測に基づく王塚古墳壁画の任意光源下での色再現"，日本文化財科学会第 22 回研究発表要旨集，pp. 102–103 (2005)．

[2] 朽津，三橋，池内："泉崎横穴における損傷壁画の画像修復"，日本文化財科学会第 24 回研究発表要旨集，pp. 24–25 (2007)．

[3] 運天，増田，三橋，安藤："ステレオカメラ移動撮影による VR モデル自動生成手法の検討"，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，**12**，1，pp. 127–135 (2007)．

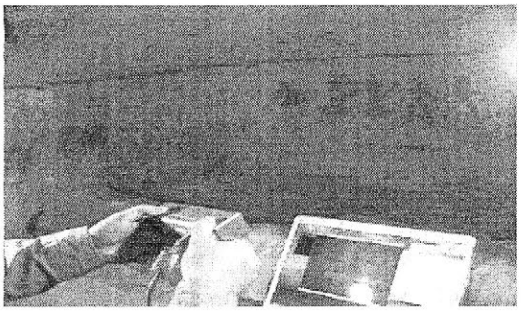


図 1: 泉崎横穴計測の様子

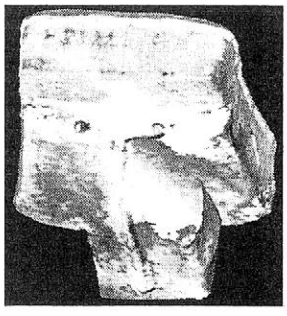


図 3: 上方からの泉崎横穴の見え

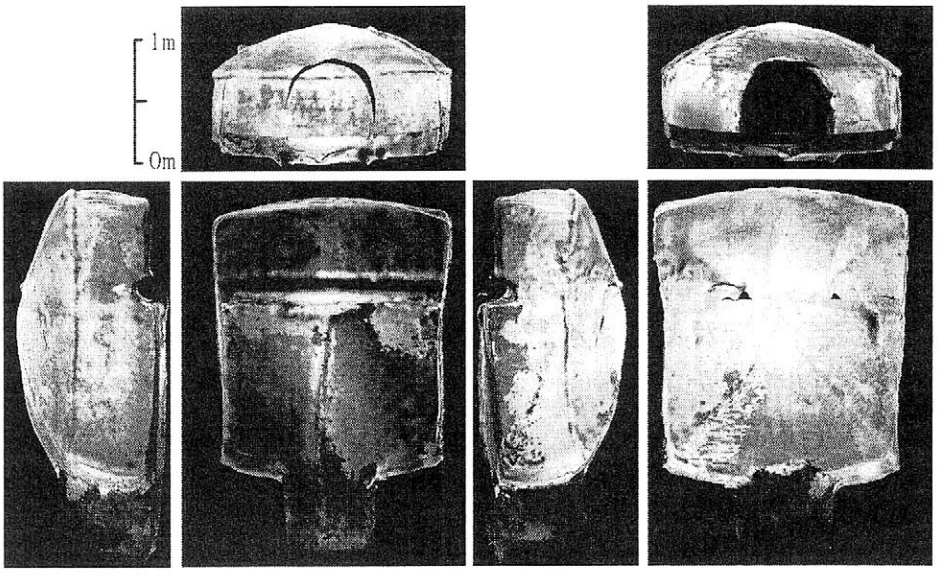


図 2: 泉崎横穴正射影画像

P－127

三次元デジタルデータを用いた考古資料の比較研究
～同型鏡の製作工程の検討～

○水野敏典、○奥山　誠義、岡林孝作、山田隆文、樋口隆康（奈良県立橿原考古学研究所）

1.　はじめに

全国各地に分散して所蔵されている考古資料の三次元形状計測を行い、PC上で擬似的に資料を一覧できる環境を構築することを目標として、これまでに三角縁神獣鏡約250面を含む700面ほどの銅鏡や、銅鐸、塼仏などの考古資料の三次元計測・データ化を進めている。三次元デジタルデータ化により二次的に作製された画像は、一見すると白黒写真のようであるが、コンピュータグラフィックス（CG）である。そのため、目的に応じて同一条件の陰影をつけるなどなどの観察条件の統一が容易である。三次元計測データからの計測値の利用は、測定時の誤差が生じやすい物差しやノギスより精密な計測が可能であり、考古資料にとって非接触での形状計測を可能とした点に大きな利点がある。

本研究では、三次元データに基づき、より客観的なデータによる比較研究を行い、同型鏡間の笵傷と鏡径の収縮について分析を行い、製作技法の検討を行った。

2.　分析方法

銅鏡製作技法として、真土を用いた踏み返しを行えば、乾燥の際に収縮し、その鋳型から製作された銅鏡は原鏡に対して一回り小さくなると推定されており、踏み返し技法使用の有無の確認のために鏡径の検討を行った。

しかし、各同型鏡は、三次元データとして厳密には異なる物体であり、その直接的な比較は困難である。

そこで、鏡背面上に可能な限り同一ラインを設定し、それに沿った断面図を複数箇所作製し、その対比を行った（図1）。留意点として研磨を受けない圏線に注目した。分析対象は、24面の同型鏡をもつ画文帯同向式神獣鏡のうち計測した6面である（表1）。また、計測精度と鏡径収縮現象の意味を検討するために、三角縁神獣鏡の同笵鏡についても鏡径変化についての検討を行った。あわせて同型鏡の笵傷の観察による比較を行った。

3.　分析結果

①「同型鏡」の笵傷

観察において、同一箇所の笵傷の拡大傾向は認められず、多くの笵傷は複数個体で共有されるものと、1回のみの笵傷に大別できる（1回性の笵傷）。これは原鏡の笵傷を写し共有される笵傷と、踏み返しの際に発生した1回性の笵傷に分かれるためとみられる。今回、共有される笵傷から大きく2群を確認できる（表 2）、これは川西宏幸氏の観察を基本的に追認するものである（川西 1992）。

②「同型鏡」の収縮

大きくみて大小2群に分かれることを確認した（表1・図 2）。圏線を用いた2点間の距離は、ヒビや歪み、ライン設定時の誤差を含んでいる。あえて数字を出せば雀宮牛塚鏡（A ライン）が 173.7mm に対して、伝下川路鏡 172.0mm と 1.7mm の収縮で、その収縮率は 0.98%およそ1%となる。

③「同笵鏡」の収縮

三角縁神獣鏡「同笵鏡」の同一文様鏡については、0.5mmを超える収縮は確認できなかった。

4.　まとめ

「同型鏡」においては、銅鏡の笵傷でのグループと、圏線径の収縮によるグループに対応関係がみられた。圏線径の収縮については、「同笵鏡」で明確な変化が確認できないことから、計測精度以外の製作技法による要因を認めることができる。

今回、分析した「同型鏡」の製作工程は、A群が原鏡Aを踏み返して量産され、A群の1面を原鏡Bとしてこれを踏み返して B 群を製作したと想定する。原鏡Aのみから踏み返さず、原鏡を少なくともう1面採用していることと

なり、時間的な関係は不明ながらかなりの大量生産を行っている可能性がある。

なお、本研究において挙げた収縮率の検討について、これ以上の詳細な数値はさらに検討が必要である。

表1 同型鏡の圏線間距離一覧

	雀宮牛塚	奥ノ原	新沢109号	江田船山	午文茶臼山	伝下川路
Aライン	173.7	173.1	173.2	172.8	172.2	172.0
Bライン	173.6	173.0	173.3	172.9	172.5	172.2

小数点以下4桁 までの数値を2桁で四捨五入した数値(単位mm)

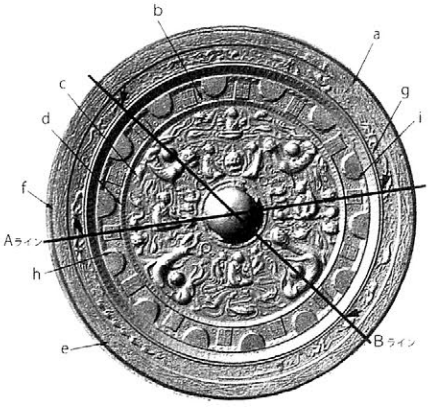


図1 断面図作成ラインと笵傷

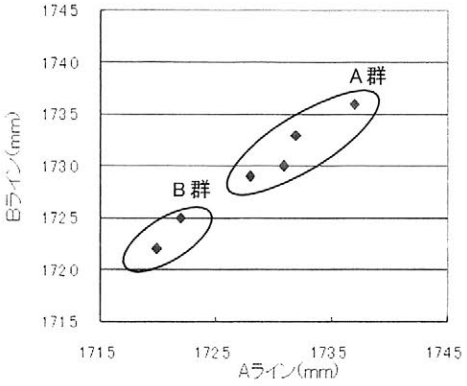


図2 圏線間距離の相関図

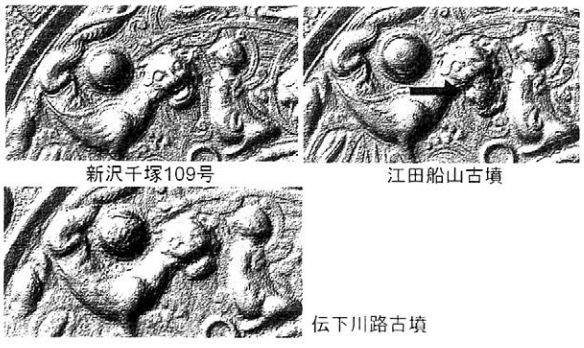


図3 1回性の笵傷

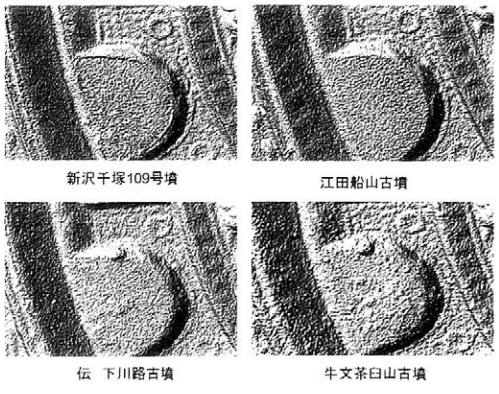


図4 笵傷 h (上段A群、下段B群)

本研究は、文部科学省科学研究費補助金「課題番号 18202025」基盤研究 A(研究代表樋口隆康)「考古資料における三次元デジタルアーカイブの活用と展開」の成果の一部である。

本研究にあたり、古谷 毅・鈴木 勉・徳田誠志・森下章司・今津節生・高木祐介から有益な助言、支援をいただいた。また、資料収集にあたり、以下の機関から協力を受けた。記して感謝したい。東京国立博物館・宮内庁書陵部・京都大学総合博物館・奈良県立橿原考古学研究所

表2 共有される笵傷

	笵傷 a	b	c	d	e	f	g	h	i	
雀宮牛塚古墳	●	●	●	●	●	●	●			A群
奥ノ原古墳	●	●	●	●	●	●	●			
新沢109号墳	●	●	●	●	●	–	●			
江田船山古墳	●	●	●	●	●	●	●			
午文茶臼山古墳	●	●	●	●	●	●	●	●	●	B群
伝下川路古墳	●	●	●	●	●	●	●	●	●	

〈参考・引用文献〉

川西宏幸 1992「同型鏡の諸問題—画文帯重列式神獣鏡」—『古文化談叢第27集』

樋口隆康・水野敏典・今津節生・岡林孝作・山田隆文・森本国広 2006「同笵鏡」にみる三角縁神獣鏡における笵複製の可能性—三次元デジタル・アーカイブの考古学的活用—」『日本考古学協会第72回総会研究発表要旨』

水野敏典—2005「笵の複製を行う同笵鏡」の製作工」『三次元デジタル・アーカイブを活用した古鏡 の総合的研究』橿原考古学研究所研究成果第8冊

奈良県立橿原考古学研究所編『三次元デジタル・アーカイブを活用した古鏡 の総合的研究』橿原考古学研究所研究成果第8冊

三次元プリンタを用いた実体模型の展示・研究における活用

○ 今津節生・鳥越俊行・輪田 慧（九州国立博物館）

1. はじめに

本研究の目的は、三次元計測やX線CTスキャナ等の精密デジタル計測機器による測定結果を基に三次元プリンタで作成した実体模型を活用することにある。三次元プリンタで実体化した模型は、実物からの縮小・拡大・反転が自由に行える点で、実物の代替えとして発展してきた従来の複製品（レプリカ）の概念を大きく覆す。また、X線CTスキャナによる内部構造データを活用することで、実物では表現できない内部構造模型を作成することもできる。本研究では、博物館の展示と教育の立場から、三次元プリンタで実体化した模型の活用方法について提案する。

2. ラピッドプロトタイピング（RP）の方法

最近、非接触で計測した遺物の精密なデジタルデータを基にラピッドプロトタイピング（RP）技術により複製品を作成する研究が活発化している。すでに2004年の本大会で光造形法により樹脂製品を、粉末焼結積層法により金属製品を作成する研究を紹介した[1]。今回は、三次元計測器（ATOS、VIVID）あるいはX線CTスキャナで計測した三次元データから三次元プリンタ（商品名：Dimension Elite STRATASYS(US)社）を用いて縮小・拡大・反転した模型を作成する。

先ず、遺物の精密なデジタルデータから取得した400万点におよぶ点群をノイズ除去、平均化処理、サーフィス作成の手順でSTL化した。このデータを用いてプラスチック（ABS樹脂）を熱で溶かしながら0.17mmのピッチで積層して24〜48時間で立体模型を造り出す。この三次元プリンタは、これまでの模型製作法とは異なり、通常のプリンタのように簡単に操作でき、制作時の溶剤臭もなく、丈夫な模型を形成することができる。

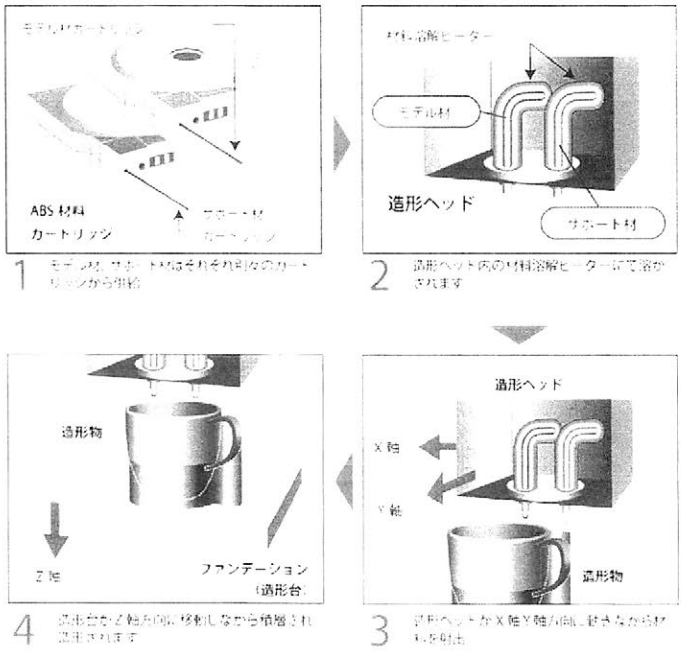


図 1 三次元プリンタの構造

3 立体模型の活用方法

三次元プリンタを使って原寸・縮小・拡大・部分などの様々な複製品を必要に応じて出力することが可能となる。この技術を利用することによって、従来のように実物の代用品であった複製品とは異なる活用の可能性を検討することができる。たとえば、以下のような活用方法を提案したい。

① **触って感じる文化財**——視覚障害者からの要望が多い“触って感じる文化財”の展示を行う。展示ケースに置かれた実物を前にして、来館者に模型を触っていただき、質問や解説などを加えることによって文化財をもっと身近に感じて興味をもっていただくことができる。

② **実物の理解を深める**——実物からの縮小・拡大・反転が自由に行えるので、展示品の隣に

置いて理解を深める。たとえば、強調したい展示物の部分拡大や断面表示、あるいは鋳型に残る文様を反転させて鋳型と共に鋳造品の模型を展示することによって、実物だけでは得られない文化財の製作技術・造形などに興味を呼び起こすことができる。

③ **脆弱な文化財の補強材料**——補強を必要とする不安定な文化財の裏面を三次元計測して反転した"受け型"を製作することで、脆弱で不安定な文化財にかかる力を分散しながら安全な展示を行うことができる。

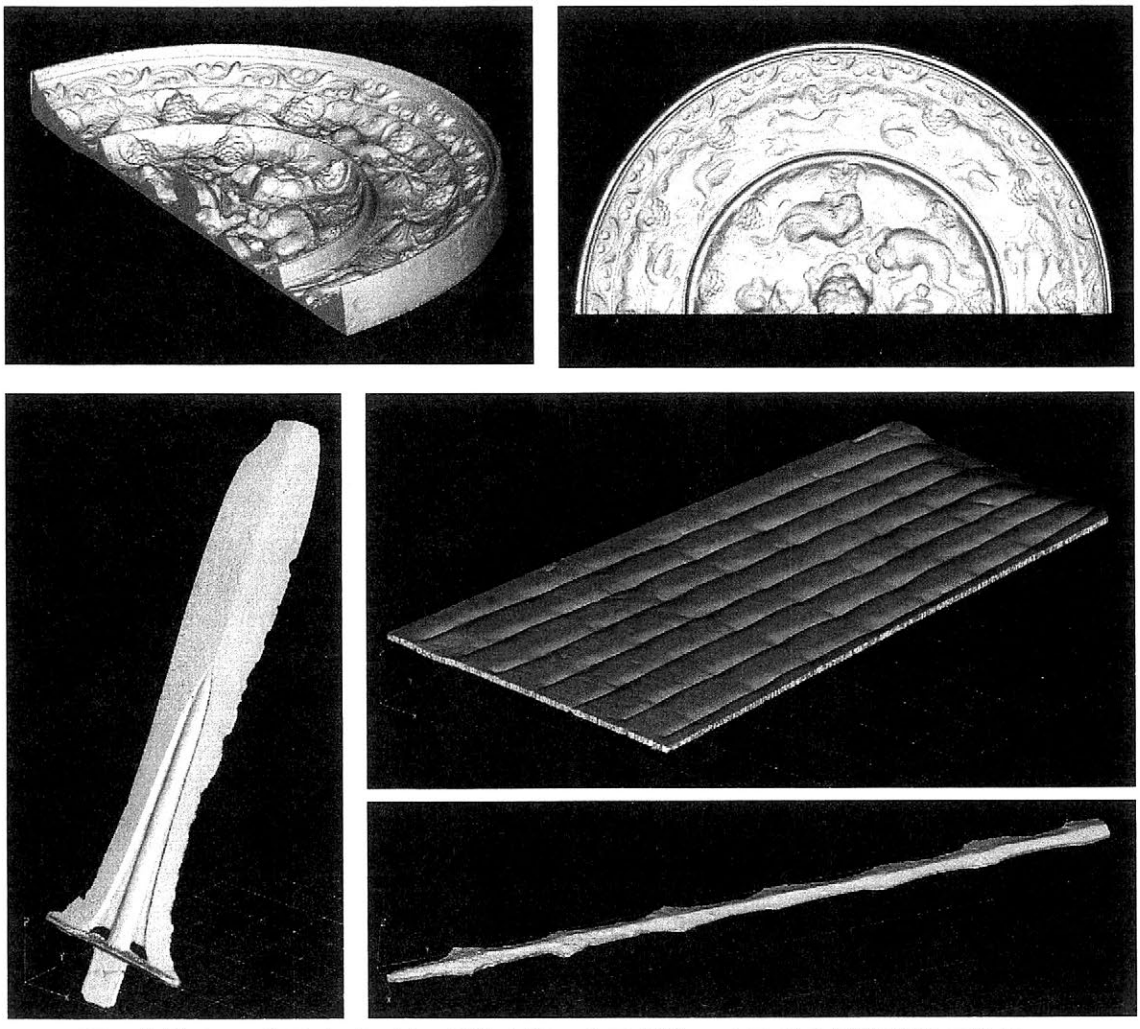


図 2 複製品の三次元データ（上：半裁した鏡、 左下：銅戈、 右下：鏃の鋳型と製品モデル）

4. まとめ

三次元プリンタを使って実体化された模型は、実物に肉薄するリアルな形状をもち、必要に応じて縮小・拡大・反転が自由に行える特徴を利用して、展示ケースの中にある実物のそばに置いて理解を深め、触って感じる実体模型として活用できる可能性がある。さらに今後は、学校教育、博物館学教育、ミュージアムグッズなど、文化財への市民の興味と理解を深めるために、この技術を活用することが期待できる。

【参考文献】

(1) 徳田誠志・本田 卓・今津節生「三次元デジタルデータを活用した複製品の作成」、日本文化財科学会第 21 回大会研究発表要旨集 2004 年

P−129

X線CTスキャナによる今和泉島津家墓地出土品の科学的調査

中摩浩太郎(指宿市考古博物館)・荒木祐一郎(葵文化)・
鳥越俊行・○今津節生(九州国立博物館)

1. はじめに

今和泉島津家墓地は指宿市岩本に所在する今和泉島津家代々の墓地であり、初代の島津忠郷から6代の島津忠冬までの各代当主とその家族が葬られた13基の墓石がある。

このうち、7号墓・10号墓発見の埋納遺物についてX線CTスキャナおよび赤外線調査を実施した。その結果、赤外線による文字の解読から7号墓は今泉島津家2代当主の島津忠温の墓と推定されるに至った。また、10号墓埋納遺物からは、X線CT調査によって長さ50cmにもおよぶ遺髪を発見したことから2代当主(あるいは初代当主)に近い近親者であることが判明した。

2. 調査方法

7号墓・10号墓発見の埋納遺物についてX線CTスキャナおよび赤外線調査を実施した。九州国立博物館に設置されているX線CTスキャナはY.CT Modular 320 FPD(エクスロン・インターナショナル社製)である。この装置は、最大320kVのX線を回転台に載せた対象物に連続的に照射して2000×2000画素のフラットパネル検出器で高速にデータ化する。このフラットパネルは16bitの幅広いダイナミックレンジをもち広範囲の画像を捉えることができる。本装置は断層表示に加えて立体表示することが可能で、かつ自在に任意の断面を見ることができるので、内部構造の立体的な把握に効果を発揮する。

3. 調査結果

7号墓の木製箱と金属容器: X線CTスキャナによる分析の結果、金属容器(錫製の可能性)は5枚の金属板を組み合わせ作られており、継ぎ目をハンダのようなもので接着したものと考えられる。金属容器の中には紙のような薄い材質の巻物が内蔵されていた。薄い巻物は斜めに入っており縦に四つ折りになっている。X線CTスキャナ画面上における計測では、内容物を広げると約20cm×30cm程度の大きさとなる。また、木製箱外面に残る墨書文字の赤外線写真から「居○」「秋八月」など被葬者や没年を示す文字が発見された。

10号墓の木製箱内容物: X線CTスキャナによる分析の結果、髪束を3周以上巻いて納めていることが判明した。髪の端部は縛られているか固められている可能性がある。箱に納められた遺髪の長さは、50cm以上になり、女性の遺髪と推定できる。

4. まとめ

発掘現場から取り上げた遺物をそのままの状態で室内に持ち込み、X線CTスキャナ等による科学調査を実施することによって、発掘現場だけでは得られない豊富な情報を得ることができる。今和泉島津家墓地の調査では、遺物の科学調査から風化によって戒名が消えた2基の墓石の被葬者を特定するための重要な情報を得ることができた。

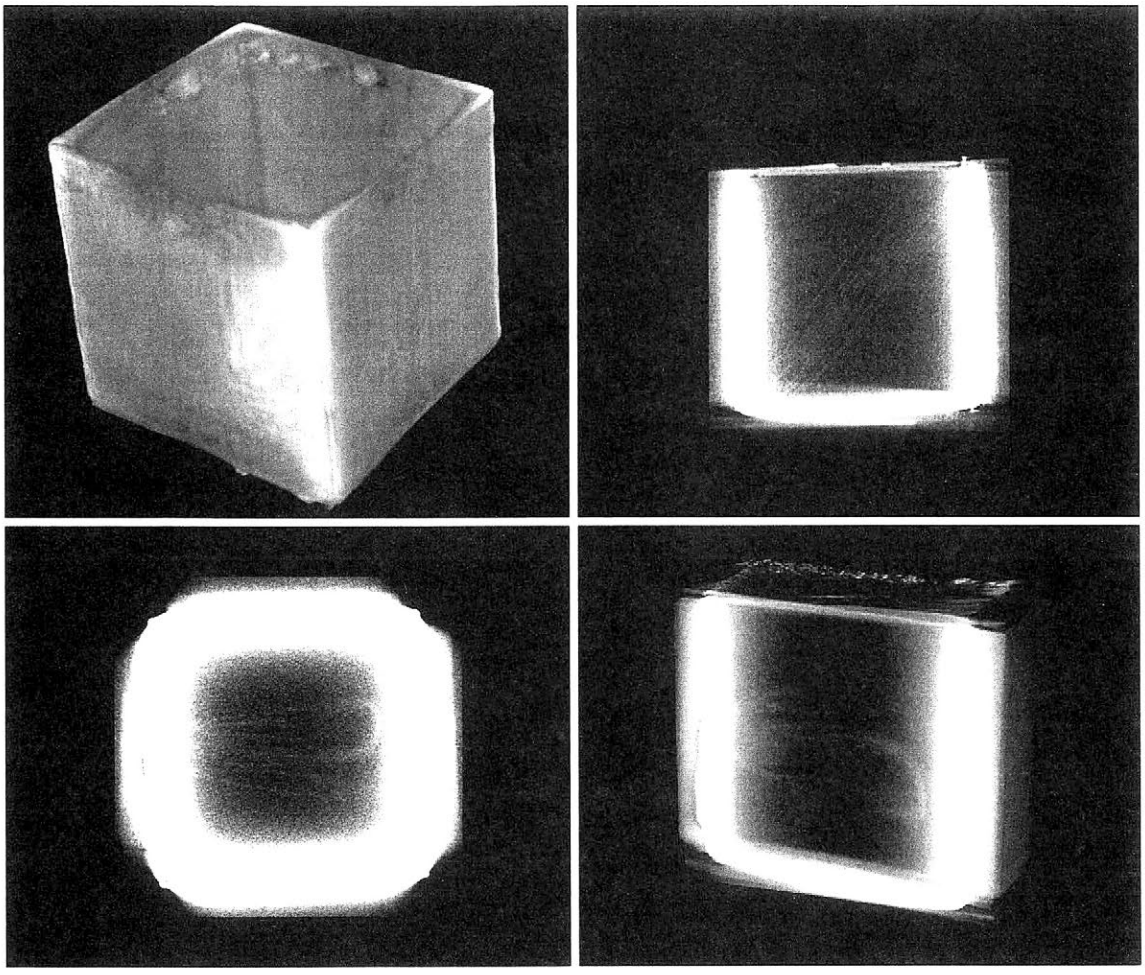


図 1　7 号墓金属容器（薄い巻物状のものが内蔵される）

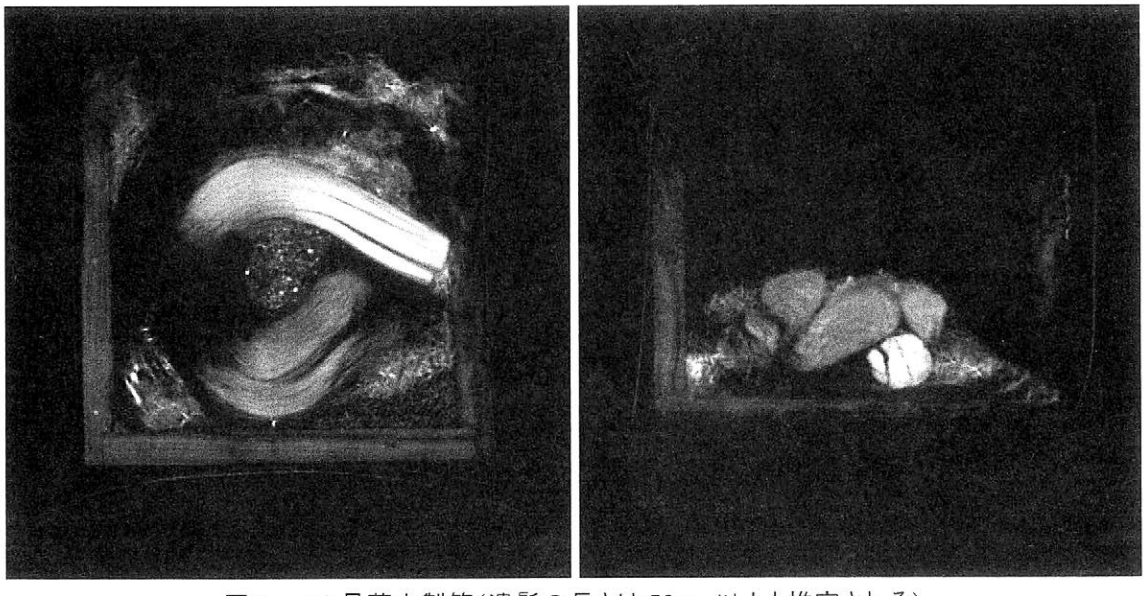


図 2　10 号墓木製箱（遺髪の長さは 50cm 以上と推定される）

P−130

蛍光X線による西本願寺書院虎の間における障壁画の顔料分析

清水俊貴（龍谷大学大学院理工学研究科大学院生），○森　正和，江南和幸，岡田至弘（龍谷大学デジタルアーカイブ研究センター），河野益近（京都大学大学院工学研究科）

1. はじめに

西本願寺には様々な時代に描かれた，数多くの障壁画が現存している．それらの障壁画は，当時の文化や絵画の技法を知るための貴重な文化財である．そのひとつが書院虎の間に現存する「竹虎図」である．「竹虎図」の設置環境は屋外環境に近く，位置や向きによって，顔料の変色や退色，剥落などが見受けられる．さらに，保存処理のために全面に塗布されたと考えられている樹脂の黒色化によって大部分が黒色を呈している．そのため，目視では障壁画の彩色状況を全て知ることはできない．現在，「竹虎図」をはじめとする障壁画の修復および復元を行うことを目的として，赤外線カメラでの撮影によって，肉眼では見えない絵画の特徴の抽出や残留する顔料の反射スペクトル測定による顔料解析が行われている[1]．障壁画に使用されている顔料の推定は，障壁画の修復および復元を行うために重要な情報のひとつである．

本研究では，「竹虎図」修復および復元を行うために必要な情報である，障壁画に使用されている顔料の推定を行うことを目的としている．そこで，西本願寺内において多数の測定を正確に素早く実施するための測定システムを構築し，ポータブル蛍光 X 線装置による元素分析を行い，測定結果より使用顔料の推定を試みた．

2. 調査対象

西本願寺書院，虎の間に現存する障壁画「竹虎図」18 枚を調査対象とした．これらの障壁画は，保存処理のために塗布されたと考えられている樹脂の黒色化により全体的に黒色を呈していた．また，日光の照射などの影響により，設置箇所や障壁画の向きによって顔料の現存状態が大きく異なっていた．主な測定点は，障壁画中の虎の体，口，柄および竹の幹や節とした．

3. 調査方法

西本願寺書院内にて，ポータブル蛍光X線分析装置（OURSTEX 100F，アワーズテック）を用いて，障壁画中の各測定対象における蛍光 X 線測定を実施した．測定条件は管電圧 25 [kV]，管電流 1.0 [mA]，測定時間は 200 [s]とした．管球は Pd（パラジウム）である．標準試料として日本画に使用されている顔料を蛍光 X 線測定も同一条件にて実施し，障壁画から得られた測定結果との比較検討を行い，作者として伝えられている流派の技法や使用顔料についても調査を行った．

4. 調査結果

蛍光 X 線による測定を実施した「竹虎図」の 1 枚を図 1 に示している．図中の測定点 A から C は，それぞれ，竹，虎の額，虎の口の測定点である．測定点 A から得られた測定結果を図 2 に示している．得られた特性 X 線のピークは，それぞれ，8.015 [keV] および 8.868 [keV]であった．両者のピークは，Cu-K_α (8.040 [keV]) と Cu-K_β (8.904 [keV]) に対応すると考えられる．「竹虎図」は，狩野派の絵師によって描かれたと考えられており，狩野派が使用したといわれる顔料において，Cu（銅）を含有する顔料には緑青（$CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$）と群青（$2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$）が挙げられている[2)-3)]．例えば，蛍光 X 線の測定結果だけでは，どちらの顔料を使用したかを断定することはできないが，目視による絵画の形もしくは赤外線カメラによる絵画の抽出によって，測定箇所に用いられた顔料を推定することが可能となる．また，狩野派が描いたとされる二条城「竹林群虎図」の竹は緑青とみられる緑色で描かれている．

同様に，虎の額や虎の口における測定も実施した．虎の額からは，Fe（鉄），虎の体からは Fe（鉄）や Hg（水銀）が検出された．よって，虎の額は黄土（$Fe_2O_3 \cdot H_2O$）単体にて，虎の体は黄土と辰砂（HgS）の混色であると推定した．また，虎の口から主に Fe（鉄）が検出されたため，辰砂が使用されたと推定した．

以上のように，蛍光 X 線だけではなく，他の手法と組み合わせることによって，より確かな顔料推定ができると考えている．

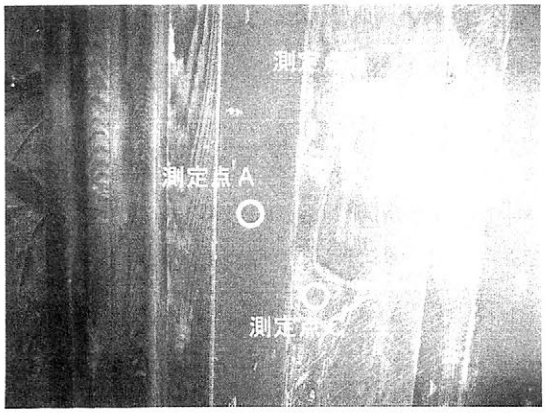


図 1　「竹虎図」と測定箇所（竹，虎の額，虎の口など）

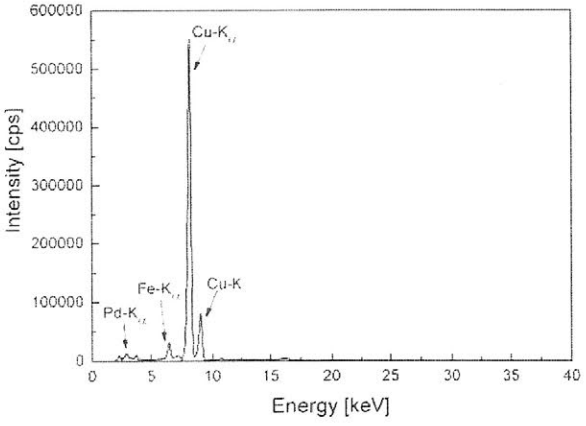


図 2　「竹虎図」測定点 A における測定結果

参考文献

1) 廣瀬翼，相井孝仁，森正和，岡田至弘：「西本願寺杉戸絵デシタルーカイブの構築」，人文科学とコンピューターシンポジウム論文集，pp. 327-332 (2007)

2) 伊東征司郎：「顔料の事典」，朝倉出版，pp. 149-153 (2000)

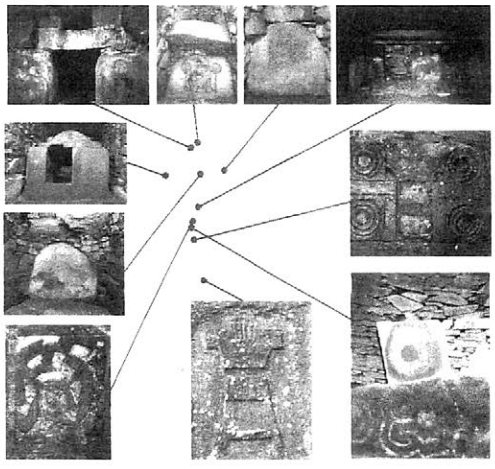
3) 九州国立博物館：「本願寺展　親鸞と仏教伝来の道」，pp. 200-207 (2007)

VR 画像を活用した

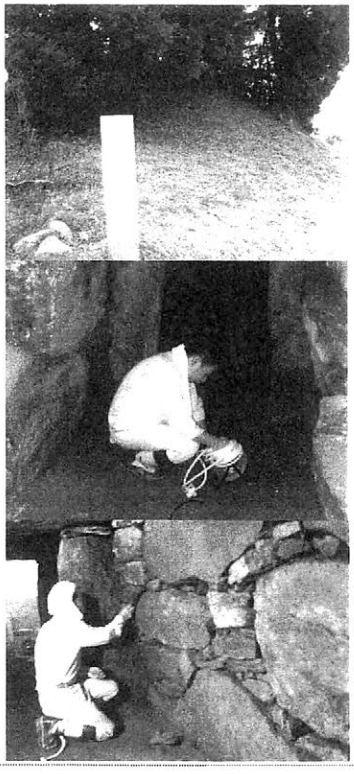
装飾古墳の壁画保存・展示のためのデジタルアーカイブ

○河野一隆・赤司善彦（九州国立博物館）・武廣正純・天賀光広・村上浩明（㈱とっぺん）
協　力：池田明生（熊本県立装飾古墳館）・石山勲・石丸洋・久留米市教育委員会・うきは市教育委員会・筑紫野市教育委員会・九州歴史資料館

日本列島に約 600 基存在する装飾古墳は、約半数が福岡県・熊本県を中心とする北・中部九州に所在する。本研究では、写真測量を応用して壁画に影響を与えることなく VR 画像を作り出し、装飾古墳の石室全体を客観的に記録する方法を開発した。これにより、石室と壁画の記録方法が従来の実測図の作成と比べて飛躍的に迅速化しただけでなく、壁画とカビ等の汚損や石室の崩壊などの石室内における位置関係を３次元的に記録できた。また、製作した VR 画像は、通常は内部に立ち入れない装飾古墳を博物館で展示することにも活用できる。VR 画像は文化財の保存・普及に新しくかつ最適な記録手段であることを提唱したい。



第１図　九州に分布する主な装飾古墳



現地調査

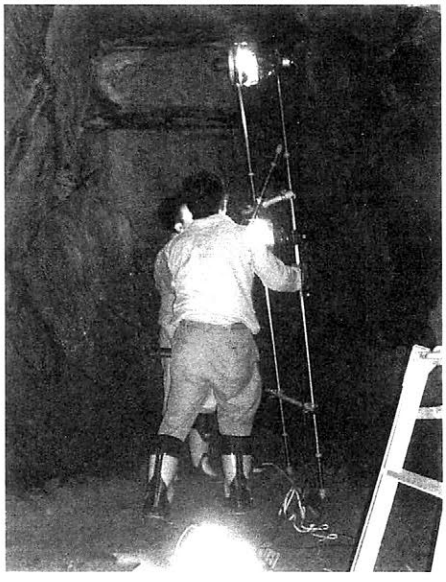
着手前に現地調査を実施する。石室開口方向や墳丘の樹木繁茂状況も確認する。

器財搬入

器財を搬入して、電源を確保する。

標点設定

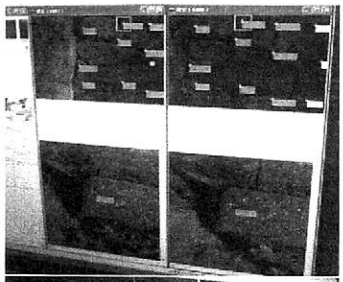
石室内壁や天井・床面にマチ針を打つ。測量後、回収する。



写真撮影

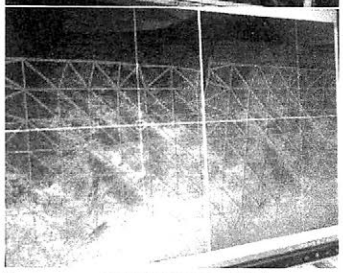
紫外線防止ライトの照明によって影を消し、水平方向から撮影する。60％オーバーラップを行う。

第２図　現場作業のながれ　（福岡県久留米市下馬場古墳での調査事例）



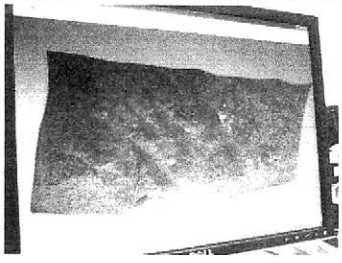
位置合わせ

オーバーラップさせた２つの画像を並べ、標点を基準に位置合わせをする。



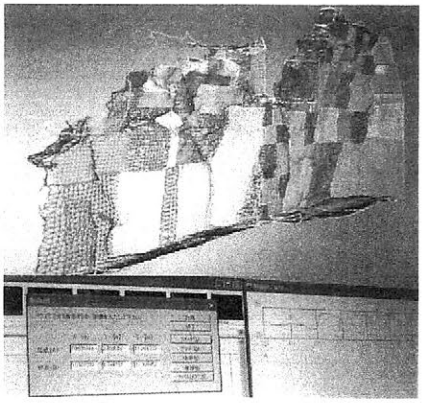
TIN変換

位置あわせした２つの画像から標点を合わせ、TIN(小さな三角形)を発生させ、ポリゴン化する。



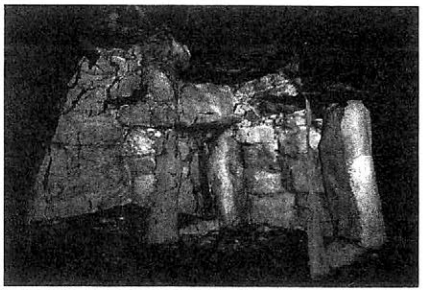
立体図形化

TINどうしを合一させて、立体図形を生成する。1㎡ずつを目安に立体化を進めていく。



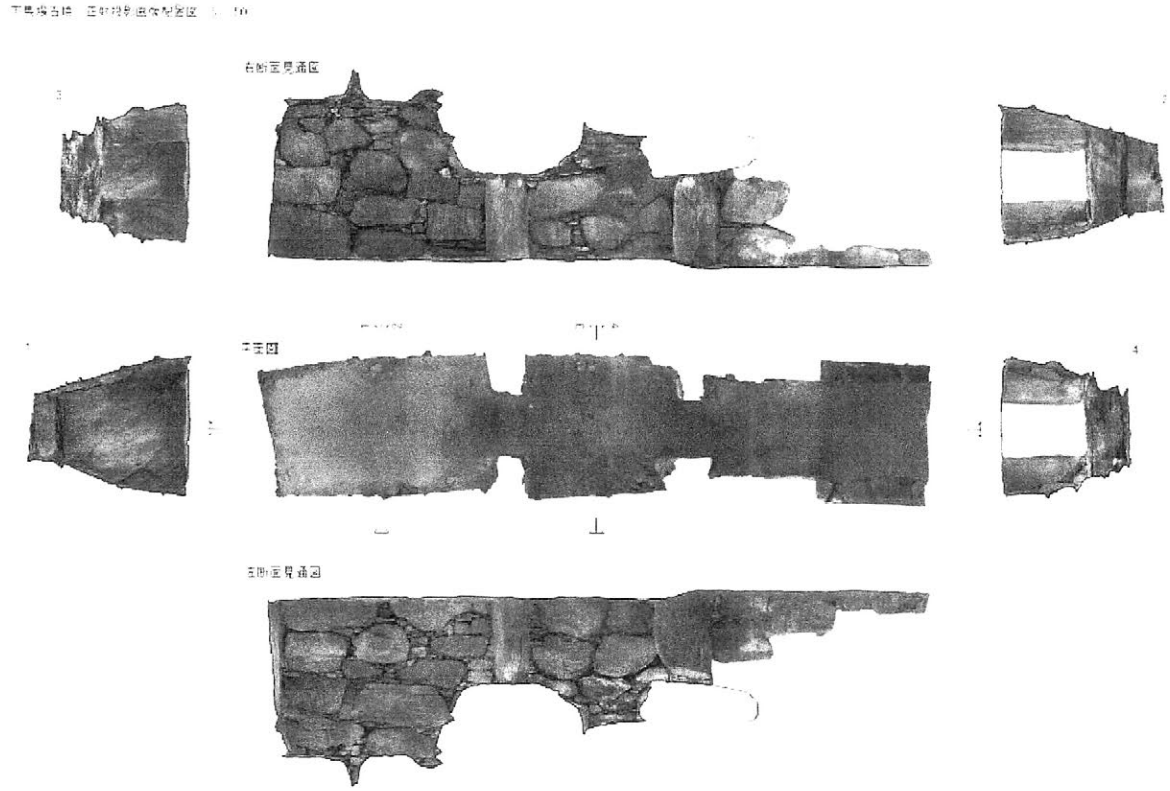
画像統合および断面図作成

個別図形を統合し、断面図を作出する。



完成

第３図　屋内作業のながれ　(福岡県久留米市下馬場古墳・中原狐塚古墳での事例)



第４図　完成したオルソ(正射投影)画像　(福岡県久留米市下馬場古墳)

本稿は、科学研究費(基盤研究A)「VR画像を活用した日本装飾古墳デジタルアーカイブの構築」(平成19～23年度)の一部である。

P−132

大谷コレクション「本草集注序録」・「比丘含注戒本」用紙の科学分析

坂本　昭二*，○江南　和幸*，岡田　圭弘*，森　正和*，滝澤　昌子*，河野　益近**
*龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター，**京都大学大学院工学研究科

緒言　大谷コレクション「本草集注序録」は末尾に「大智度論」が加わったうえ，その裏面全面に「比丘含注戒本」が記される長大な巻子本である．すなわち本経典は「比丘含注戒本」として首尾一貫した巻子本ではあるが，歴史的文書資料としてはより重要と思われる「本草集注序録」の裏面を流用したもので，従来もっぱら「本草集注序録」として解読が行われていたものである．1997 年に龍谷大学善本叢書 16[1]として表裏全巻が写真版により出版され，上記 3 点の経典・本草書の全貌が明らかにされ，目視による用紙の解析も行われた．目視観察によれば，用紙は統一されたものではなく，本紙 4 種類，修復紙 2 種類からなることが認められているが，科学的分析は行われていない．「本草集注序録」には，開元六年（718 年）の記年があり，盛唐の時期の紙を今に残す貴重な資料である．また，「本草集注序録」用紙に継ぎ足された末尾の「大智度論」は初唐の書体を残すとされ，用紙も初唐のものとされている．このように偶然とはいえ，ひとつの巻子に初唐～盛唐の複数の種類の紙を持つ資料についての科学的分析は中国の紙の歴史の解明に寄与するものと思われる．

実験方法　キーエンス社製の高精度デジタル顕微鏡により，巻子本を直接顕微鏡架台に乗るように注意深く工夫して，各用紙の主要部分の顕微鏡観察を行った．また透過光スキャナー撮影による未解読の修復紙裏面文字の判読を試みた．蛍光 X 線分析による用紙上の元素分析，後代の書き入れとされている朱点の元素分析を行った．

結果１．用紙：　龍谷大学善本叢書 16，藤枝晃教授解説になる巻子本構成図によれば，用紙は原表紙（第 1 紙）は麻紙，「比丘含注戒本」第 2 紙及び第 8～44 紙は同一の楮紙，第 3～7 紙は別の楮紙，第 45～52 紙（末尾大智度論部）は，典型的な唐麻紙で．紗漉きの技法で作られたものとされている．その他に 裏面「本草集注序録」側に，数か所の修復紙が見られる．

今回の観察結果によれば，第 1～44 紙については，以下の写真 1～3 に示すように上記の結果と一致しそれぞれ，麻紙と楮紙であった．

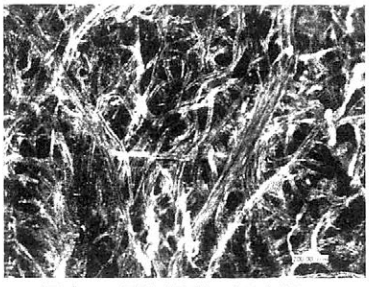


写真１　原表紙(第1紙)麻紙

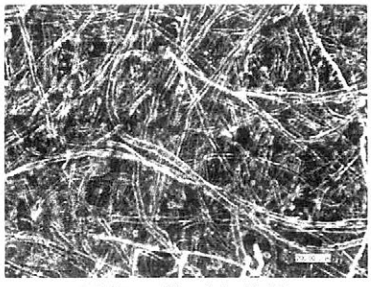


写真２　第６紙　楮紙

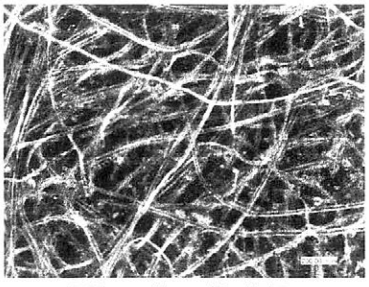


写真３　第 10 紙　楮紙

一方「大智度論」用紙は，写真 4 に明らかなように，太さの揃う均一な繊維と，繊維が鞘に包まれるという特徴をもつ，典型的な楮繊維からなる純楮紙であった．[1]の麻紙という目視評価は訂正されなくてはならない．また，透過光スキャナーによる写真を，FFT 解析[2]した結果では，明らかに簀の目が観察され，この点も[1]の紗漉きという評価は疑わしい．

なお，裏面の修復紙については，いずれも麻紙であることが判明した．

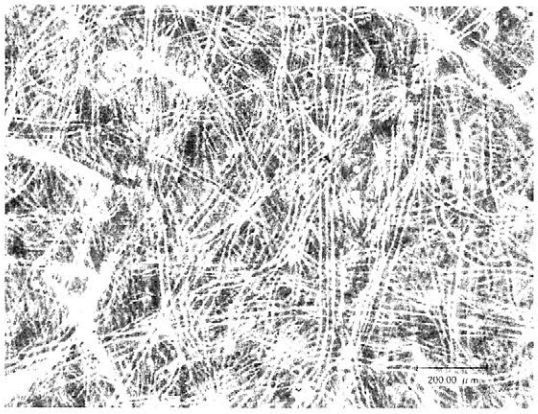


写真 4a　大智度論第 2 紙　楮紙

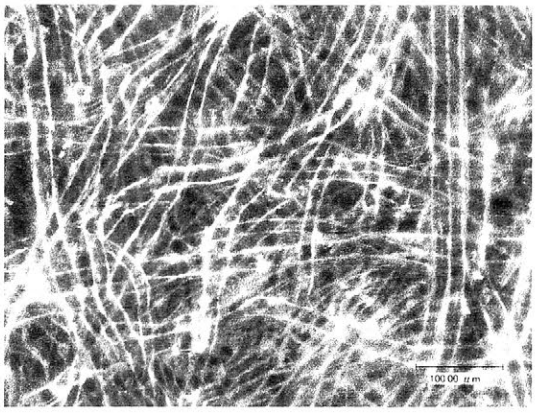


写真 4b　大智度論第 2 紙(拡大)楮紙

結果２．透過光スキャナーによる裏面修復紙の文字の解読：　「比丘含注戒本」の第 4 紙の裏側には写真 5 のように大きな修復紙（21.7×10.2cm）と小さな修復紙（1.8×7.6cm）が貼られている．今回，これら修復紙の部分を透過光スキャナーでスキャンし，得られた高解像度画像に対して，裏面に書かれている文字が見えるように明度とコントラストを調整して文字の読み取りを試みた（写真 6）．これらの修復紙は道教経典の一部分が切り取られて使われており，これまでに，その移録が[1]に報告されていたが，今回の実験によってこの移録文中の少なくとも 5 文字（曰，録，其，其，之）が間違って読み取られていることを確認した．さらに別の数文字も違っているようである．

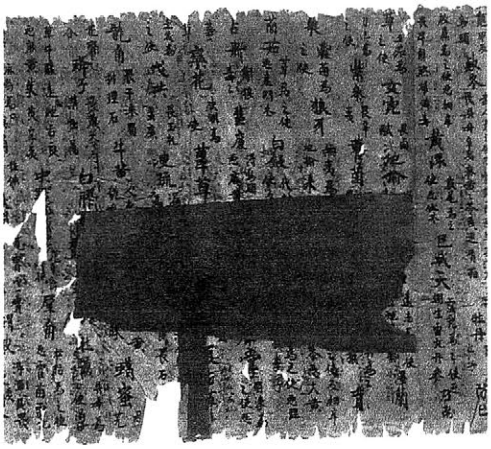


写真 5　第 4 紙 中央に修復紙

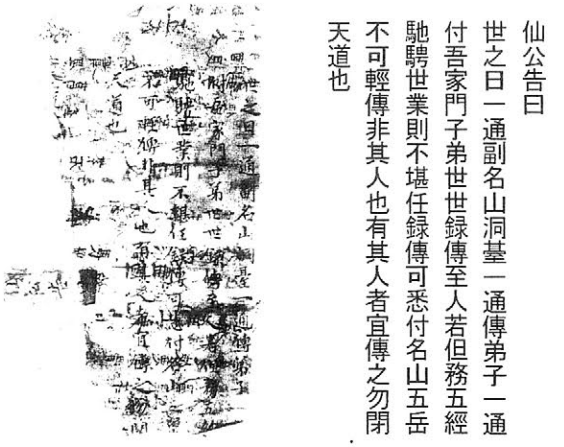


写真 6　画像処理を施した修復紙の画像とその解読結果

結果３．蛍光 X 線分析による朱点，朱鍵書き込みの元素分析：　写本「本草集注序録」には，後世のものとされる，朱点と朱の鍵括弧が存在する．これらは一見して朱色の色調が異なるため，蛍光 X 線顕微鏡にて分析した結果，色の薄い朱点からは Fe，色の濃い朱点からは Hg，がそれぞれ検出された．鍵括弧からは Fe が検出された．顕微鏡観察の結果も，Fe が検出された点と，Hg が検出された点では筆跡も全く異なる．異なる時代に異なる注釈者が施したものと考えられる．

参考文献

[1] 上山大峻 責任編集，敦煌写本 本草集注序録・比丘含注戒本，龍谷大学善本叢書 16，法藏館，1997

[2] Masato KATO et al., A novel method of analyzing laid-lines of paper, Scientific Analysis, Conservation and Digitization of Central Asian Cultural Properties, Ryukoku University, pp. 41-46, 2005

P−133

大谷コレクション五代時代経典「妙法蓮華経」,「維摩詰所説経」の用紙の科学分析

○江南　和幸*, 坂本　昭二*, 岡田　至弘*, 上屋　和三**, 河野　益近***, 増田　勝彦****
*龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センター, **龍谷大学文学部, ***京都大学大学院工学研究科, ****昭和女子大学

緒言　龍谷大学古典籍デジタルアーカイブ研究センターでは大英図書館国際敦煌プロジェクト(IDP)との協同作業による中国, 中央アジア古文書, 経典のデジタルアーカイブ化と同時に大谷コレクションの経典・古文書の科学分析を進めている. 今回, 大谷コレクションの仏教経典のうち, 書誌学的研究によれば, いずれも五代時代(907～959年)の典型的な書体とされている, 五代写「妙法蓮華経」(IDP#MS00512),「維摩詰所説経」(IDP＃MS00524) の2点につき, 用紙を高精度デジタル顕微鏡により分析し, 用紙の同定を試みた.

実験方法　従来古文書用紙の分析は極く微量の繊維を取り出して顕微鏡観察により繊維を同定する方法がとられていた. しかしこの方法は, 複数の植物原料から作られた紙の同定には必ずしも正しい結果を示すとは限らない. 今回, 経典のデジタル化の機会を得て, 貸出しを受けた写本を, キーエンス社製の高精度デジタル顕微鏡により巻物のまま一部を広げて直接顕微鏡架台に乗るように注意深く工夫して, 各用紙の主要部分の顕微鏡観察を行った.

実験結果と考察

(1)「妙法蓮華経」用紙:経典全体としては, 主として大麻紙とみなされる. 一部に明瞭な糸が見られた. その繊維の組織は大麻の繊維によく似ている. 糸の存在は紙が少なくとも一部は大麻布を原料としていたことを示すものである, 写真1, 2.

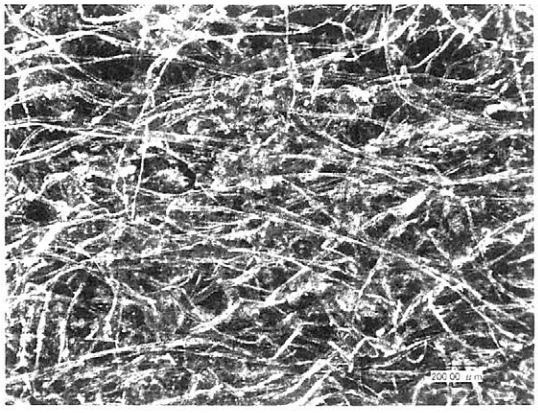


写真1「妙法蓮華経」MS00512 用紙組織写真

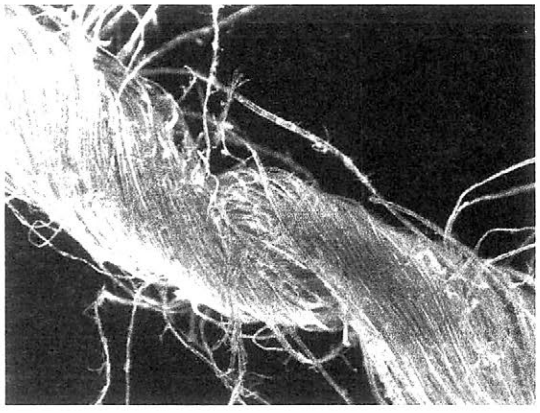


写真2「妙法蓮華経」MS00512 で見つかった糸

また各所にイネ科植物のものと思われる茎, 葉が見られた. 写真3, 4. これらの植物痕を現代の日本産イネ科植物と比較し, また中国産イネ科植物繊維図鑑とも比較した結果, 稲の茎および葉であること

が判明した．用紙中にも，大麻紙特有の束ねられた繊維に混じり，細長いどちらかといえば直線的な繊維が多数見つかった．現代中国の稲藁紙繊維によく似ており，また茎も現代中国稲藁紙中のものと酷似している．以上の結果はこの経典用紙は大麻繊維（布）を主原料としながら，少なくとも一部には稲藁を原料とする繊維が使われた初期の稲藁紙の原型と結論できる．

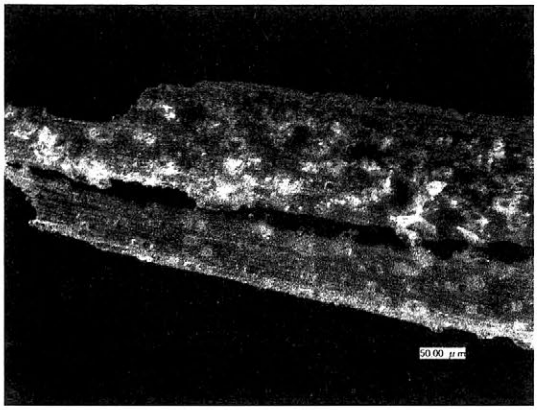


写真3 妙法蓮華経 MS00512 中の茎残存物

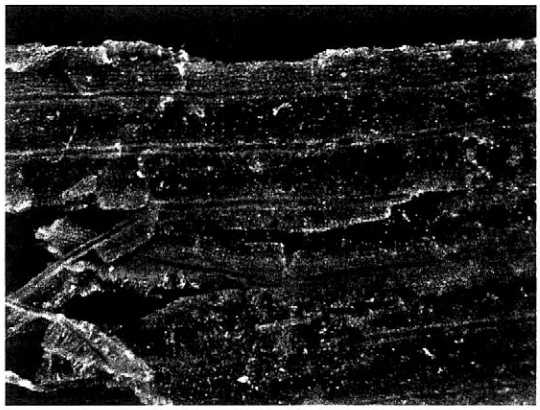


写真4 妙法蓮華経 MS00512 中の葉残存物

(2)「維摩詰所説経」用紙：経典全体としては大麻あるいは苧麻紙であるが，裏面に別の繊維の塊が散在し，また本紙中にも植物茎が多数見られた，写真５，６．

写真５には竹紙でよく見られる竹細胞の薄膜（矢印）が見られる．写真６の植物茎は，マダケの茎組織とよく似ていることも判明した．以上の結果はこの用紙が少なくとも一部に竹由来の繊維が使われた初期の竹紙の原型と推定される．

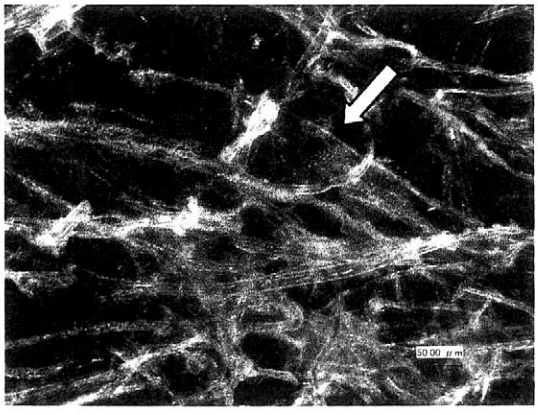


写真5 維摩詰所説経 MS00524 用紙中の竹細胞

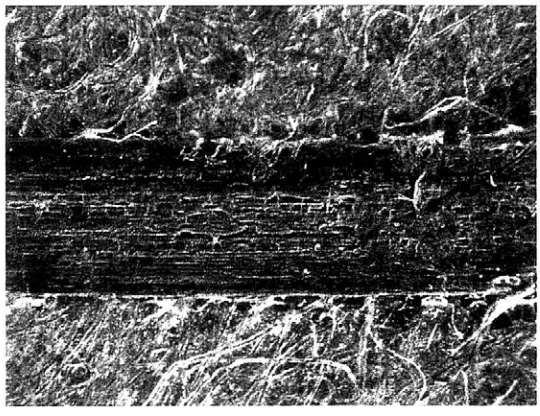


写真6 維摩詰所説経 MS00524 用紙中の竹茎

唐時代の麻紙，楮紙に代わって竹紙，稲藁紙などが出現したのは一般に宋時代以降とされている．中国の紙の歴史の書物には９世紀初期には竹紙が現れたとされるが当時の実物はまだ見ない．稲藁紙は北宋に記録があるとされているが，それ以前の紙の実物はまだ見ない．唐末五代時代は，中世中国最大の混乱の時代であり，政治的のみならず経済的にも厳しい状態に置かれた．ここに見た五代時代の紙は，五代時代の混乱こそ，必要は発明の母，それらの紙の普及のルーツであることを示すとも考えられる．

P−134

文化財総合情報システム STIS の開発と応用

−ローカルナリッジとしての文化知の可視化と定量評価に向けて−

津村宏臣[1] ・ 鎌倉快之[1] ・ 澤田砂織[2] ・ 寺村裕史[3]
([1]:同志社大学文化情報学部 ・ [2]:京都高度技術研究所 ・ [3]:総合地球環境学研究所)

はじめに

有史以前より、人類は様々な文化的活動を通して、多くの有形・無形の痕跡を現実時空に残し、それを後世に伝えてきた。だが、その資料情報化の現状は、研究レベルにおいても、歴史学・考古学・文学などの人文社会科学領域、さらに細別された研究領域で、特定の目的に従って一部の断片的な(合目的的な)情報化がなされているにすぎず、取得データの共有化やそれを用いた領域横断的な研究は困難を極めている。

本研究では、文化財を1つのデータのかたまり(Entity)として取り扱い、文化現象を総合的に分析するプロトコルの開拓と実践的実装を行う。1つの文化財に付随する各種のデータを計量・取得し、さらに、それを基準(時空間情報)により標準化し、それらの時空間的な動態を地理情報システムを基盤技術として解析することで、文化生態を"可視化"する方法である。

統合型文化遺産資料情報システム STIS の開発

1枚の絵画については、Fig.1のような情報の Entity となる。文化財科学で実践されている理化学分析値から絵画の物性情報が取得できる。また、芸術学的方法論により、絵画の形状や論理情報が取得でされる。配色のパターン化や表現技法の定量評価データから絵画描出のコンテクストに近接する。こうした、文化財そのものに内在する情報は、その実在情報としての時空間情報をもつ。これにより、情報の Entity を標準化すると、文化現象の時空間連関が明らかとなる。

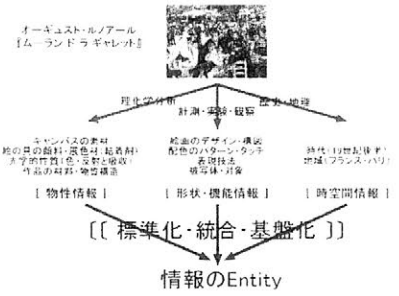


Fig.1 文化財情報の Entity の考え方

こうして明らかとなった時空間連環は、Fig.2 のように、個別の情報レイヤーに分解され、属性情報レイヤーとして GIS に格納される。定量的分析を経て時空間座標系で標準化された情報は、空間統計や時系列解析手法により、多次元情報解析がおこなわれ、それらの定量的評価に基づいた時空間現象評価が可能となる。このレイヤーは、文化現象の時空間断面であり、シミュレーションや内挿によって文化を"可視化"する(Fig.3)。

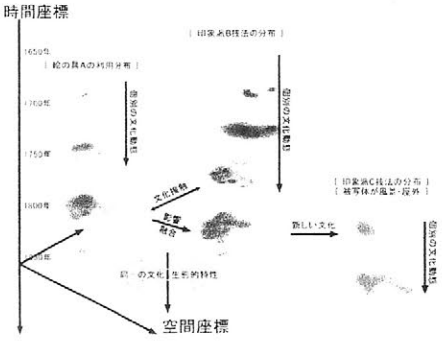


Fig.2 時空間文化現象の連関分析

可視化された文化は、Fig.3 のように、サイバーな時空間座標系において、対象となる文化要素固有の形態的特性を顕現する。これを数理・解析的に表現することで、文化や社会のコンテクストをより定量的に理解、解釈することになる。

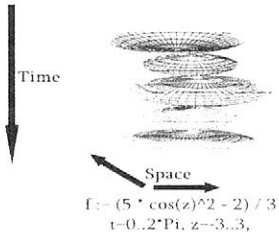


Fig.3 時空間内挿と文化の可視化

本研究では、アーカイブは単にデジタル化、することではなく、「情報化 ⇒ 解析 ⇒ 文化に関する新しい知見 ⇒ 公開・共有」に関するプロトコルの開拓と、その実践的応用を実現する。

文化財情報標準の設計

①地理情報標準への応用スキーマでの対応

GIS に情報を格納する以上、地理情報標準に準拠した応用スキーマを設計し、実装することが理想だが、高度情報化に対応した地理情報標準に正規準拠する応用スキーマの構築には、研究分野間での用語整理や、各調査内容の些細な分析が必要となり、膨大な時間と労力が必要であった(Fig.4-1)。

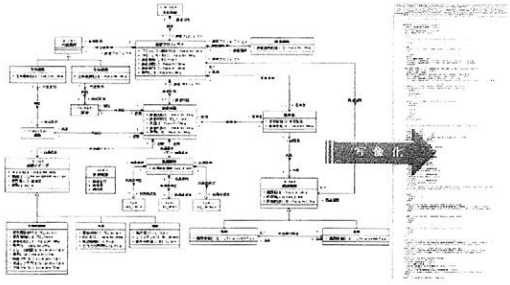


Fig.4-1 オリジナル応用スキーマの設計

②地理情報標準に準拠したメタデータの利用

地理情報標準の交換メタデータ(ISO19115)に準拠したメタデータを標準化する。例えば、Fig.4-2 のグレーの範囲を利用することで、メタデータ記述に必要な情報が標準化される。この部分を入力時のテンプレートとして準備することで、最低限必要な標準化されたデータ入力をサポートする。最も妥当だが、各細別の研究分野の詳細な情報基盤の構築には不向きとなり、文化財情報の管理や蓄積が目的の場合にはよいが、データを用いた現象解析などを想定する場合には、情報の質の劣化が明確となった。

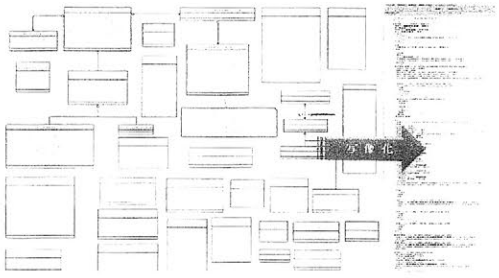


Fig.4-2 地理情報標準に準拠したメタデータ利用

③地理情報標準に準拠しないオリジナル規格

完全に独自の企画を開発する。現在一般的に行われている方法ではあるが、具体的には、GIS でデータを持つのではなく、リレーショナルデータベースとして実装を進める方向性が妥当とも考えられる。

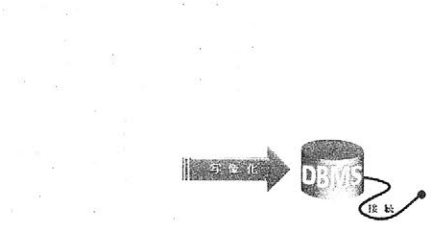


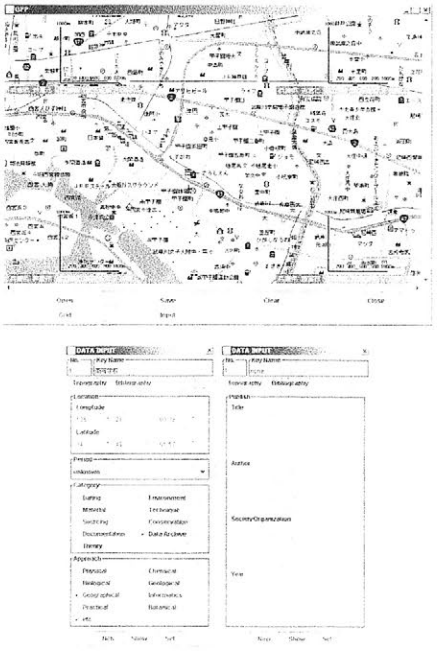
Fig.4-3 オリジナル規格

Fig.4 文化財情報標準の設計

標準規格の入力テンプレートの実装

Web-Server の構造は、2006 年度の本大会で既報であり、新たに入力テンプレートについて検討した。 文化財に関する空間情報の多くは、紙媒体で記録・保管されるのが一般的で、位置座標情報の再計測が不可能な場合が少なくない。テキストベースの位置情報(住所)記載もあり、空間の分解能、精度いずれにおいても、統一が困難な状況にある。①紙媒体を簡単にデジタル化すること、②デジタル化した地図から空間座標を再計測できること(画像の位置情報の変換)、③その際に標準化の問題をクリアすることが開発の課題となった。

本研究では、スキャンした画像行列値の置換で対応することとし、画像に 3 点のコントロールポイントを設定して、幾何補正をかけ、画像全体が簡易的にジオ・コーディングされるシステムとした。入力の際に、地点をマウスでクリックすると、入力ウィンドウが開き、その地点の座標情報とデータ項目の入力選択画面で、最低限の情報を入力する。ここで開く入力ウィンドウは、オリジナルの規格で標準化する場合には、独自のカスタマイズが可能となっている(独自の規格設計が必要)。



P－135

山形県置賜地方における江戸時代建立の草木塔の保存と活用について
～保存状態調査とGISによる視覚化の試み～

東北芸術工科大学院　吉田由希・○松田泰典

1．はじめに

山形県置賜地方には、「草木（供養）塔」と刻まれた自然石を用いた石造遺産群が伝存している（図 1）。この草木塔は、薪や材木として伐採された木材を供養し、森林や自然に感謝するために建立された文化遺産であり、最初期の建立は江戸時代中期に遡る。草木塔建立の基となる考えは、自然に対峙して生活する人々から自然に湧き上がる信仰と、主に天台宗・真言宗の修験者において説かれた、生きとし生けるものには全て仏性が宿るという「草木国土悉皆成仏」の考えが合致したものと考えられている。このような考えは、地域の生業である林業および伐採した木材を河川によって運搬する木流しといった技術など、自然を利用した生活を背景にして広まったと考えられている。自然そのものを対象とした供養塔は全国的に見ても稀であり、草木塔は山形県特有の地域文化遺産ということができる。

図 1. 山形県米沢市の草木塔

草木塔を例とする地域文化遺産は、地域住民にその存在の意味を理解され、保存したいという意志が生まれてはじめて保護への志向が生まれる。しかし今回対象とする草木塔群において、一部で地域住民からその存在する位置や建立意義が忘れられてしまったものも存在した。このような草木塔を恒久的に保護していくためには、専門家による石塔の保存修復処置のみならず、草木塔建立の歴史や意義、保存の重要性を地域住民が再確認し、活用を展開する必要がある。一時的な保存処置の実施にとどまらず、草木塔を守ろうとする地域住民の機運を盛り上げ、世代を超えて活用していく運動が今後の永続的な草木塔保護に通じると確信する。

2．研究方法

このような地域の貴重な文化遺産を後世に伝えるため、本研究では山形県に存在する江戸時代に建立された３２基の草木塔すべてについてGPSによる緯度・経度の確認と劣化状態の調査を行った。この悉皆調査によって、草木塔の位置情報および保存状態の確認をおこなった。

同時に、GIS（地理情報システム）という地図表現ツールによって、多層レイヤーとして草木塔の位置情報図、河川図、建立背景情報図、住宅分布図等を作成した。上記のような情報をGISにより視覚化を行うことにより、草木塔文化の共有、そして過疎化等の現状の問題点を明確に提示することが可能となった。

3．結果と考察

草木塔悉皆調査から、劣化の顕著な草木塔の所在、および劣化の特徴が明らかになった。本研究では、対象草木塔３２基中５基を、碑面摩耗・欠損・亀裂の著しいものとして分類した。以下は、それらの劣化の著しいものについて中心に述べる。

劣化の著しい５基の岩石の材質は、２基が流理構造と小孔を伴う流紋岩質、３基が凝灰岩であった。これらの岩石の特徴として、流紋岩質は小孔や流理構造を要因とする亀裂をもち、凝灰岩は比較的に間隙が多いという点が挙げられる。この特徴により、降雨または地下からの水分を蓄えやすいという共通点がある。

草木塔の所在は、河川を利用した材木運搬技術「木流し」を行った人々により建立されたという背景から、３２基中１０基が河川沿いに存在するという比較的湿潤な環境にあった。今後、これらの環境の草木塔劣化に対する影響を仔細に観察する必要がある。

さらに本研究では、湿潤な環境という条件以上の劣化要因を発見するに至った。草木塔が伝存する集落は、前述のように過疎化高齢化が進行する。これらの変化がもたらす影響は、草木塔にも及ぶ。劣化の顕著であった草木塔 5 基は、かつては山仕事の往来や集落の境界として、多くの住民の目に触れる環境にあった。しかし 5 基中 1 基が存在する集落は現在廃村となり、また 1 基は 1983 年から 2007 年の間に、集落数が 20 戸から 2 戸へと減少していた（図 2）。この変化は GIS により視覚化することにより、明確に問題点を表示することが可能となった。このような草木塔では、筆者が悉皆調査に訪れるまでの数年来、所有者によっても存在を確認されず、基台からの落下や草木塔に絡みつく草木の繁茂等により、人知れず劣化が進行していたという現状が明らかになった（図 3）。

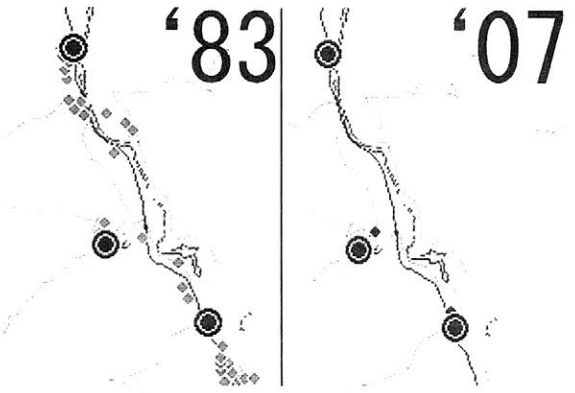


図 2. 米沢市口田沢地区の住宅減少（1983 年/2007 年）

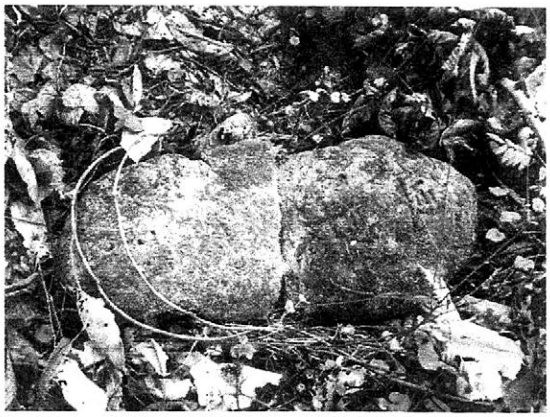


図 3. 山形県川西町の劣化が進行する草木塔

4．まとめ

本研究により、江戸時代建立の草木塔の劣化の現状が明らかとなった。これらの劣化を食い止め、草木塔を保護していくためには、今後、地域住民の草木塔文化への意識喚起や価値観の共有を促し、草木塔の持続的な保存・活用システムの構築へ繋ぐ必要がある。草木塔の保護は、地域住民の草木塔の存在意義の理解、保護志向なしにはあり得ない。地域住民が主体となる保護意識が再重要項目である。そのため、草木塔建立背景となる歴史や、草木塔の材質等、科学的に草木塔観察を行った結果、そして本研究から明確になった草木塔劣化に関する問題点を、地域住民と共有し、交流する場を設けたいと考える。

この意見交換の場は、昨年度は草木塔建立地の米沢市の NPO 団体、森の仲間ネットワークによる企画「草木塔との語らい」において可能となった。「草木塔との語らい」では、地域住民の草木塔への関心の厚さ、保存への意識の高さが窺えた。以下に、地域住民の意見の一部を挙げさせていただく。

『（草木塔は）地区では一番の財産と思われます。』

『昔の人の草木を愛する心、気持ちを私たちも今一度見つめなおし、子供たちに教え遺していくべきものだと思います。』

『大切な遺産なので広く働きかけて守っていければと願うばかりです。』

これらの意見を持つ、多くの地域住民の協力がなければ、本研究の目的である草木塔の保護活動は成し得ない。今後も過疎化等の問題を孕んだ地域の中で、如何に保護志向を高め、持続的な活動に繋ぐかを考えていかなければならない。

謝辞

本研究を行うにあたり、草木塔建立の地である山形県米沢市の田沢コミュニティセンター、森の仲間ネットワークはじめ関連機関の皆様、地域史研究家の皆様、本研究にご協力いただいたすべての方々に厚く御礼申し上げます。

P－136

GIS/CAD/VRによる長岡京の3次元ビジュアライゼーションとその活用

○河角龍典（立命館大学）・橋本隆憲（(株) キャドセンター）・矢野桂司・高瀬裕（立命館大学）

1．研究の目的

近年，飛鳥京，平城宮，平安京などの日本の古代都市遺跡において，CG（コンピュータ・グラフィクス）やVR（バーチャル・リアリティ）の技術を駆使した景観復原が積極的に試みられている[1]．しかし，平安京を除く，藤原京，平城京，長岡京などの広域に市街地を持つ古代都市においては，その市街地全体とその周辺の地形を復原範囲に含む3次元ビジュアライゼーションの研究は実施されていない．本研究では，古代都市遺跡において大量に蓄積された空間情報を対象としたGISデータ構築に関する研究の一環として，GIS（地理情報システム），CAD（キャド），VRの技術を総合的に活用した景観の3次元ビジュアライゼーションを行う．

研究対象地域としては，長岡京を設定した．長岡京は，平城京と平安京の間（西暦784年～794年）に，現在の京都府向日市，長岡京市付近に造営された古代の計画都市である．本研究では，この長岡京の景観を3次元で視覚化したコンテンツである「バーチャル長岡京3Dマップ」を構築した．ここでは，このコンテンツの特徴や構築プロセス，さらには博物館展示コンテンツや景観シミュレーションツールとしての活用の可能性についても検討する．

2．「バーチャル長岡京3Dマップ」の特徴と構築方法

「バーチャル長岡京3Dマップ」は，コンピュータの中に生成された長岡京の3次元空間である．このコンテンツでは，3次元で復原された長岡京の街並みを自由に行動でき，視点を変化させることができる．いわば，長岡京の景観シミュレーターであり，人の目線に立って街並みを移動できるウォーク・スルーや鳥瞰的な視点から移動できるフライ・スルーの機能が備えられている．

「バーチャル長岡京3Dマップ」は，地盤データ，土地利用データ，建物データの3つから構成される．地盤データには地形形状，条坊街区形状，土地被覆に関するデータが含まれ，土地利用データには条坊街区単位の土地利用情報および建物類型の情報が含まれる．地盤データと土地利用データは，おもにGISソフトウェア（ESRI社ArcView）を用いて構築した．

建物データの構築にはCADのソフトウェア(e-frontier社Shadeなど)を用いた．データ構築の第一段階においては個々の建物単位でのモデリングを行い，第二段階においては条坊街区単位で建物形状モデルの再配置や塀や門の配置を行った．

これらの3つのデータの統合には，リアルタイム3次元ビューワーのソフトウェア（㈱キャドセンター社UrbanViewer）を使用した．地盤データおよび土地利用データは，同一の座標系で管理しているため，正確な重ねあわせが可能である．建物データの配置は，土地利用データに含まれる建物類型の属性情報を基に配置した．

4．「バーチャル長岡京3Dマップ」による景観シミュレーション

「バーチャル長岡京3Dマップ」では，再現された長岡京の町並みと周辺の山並みをリアルタイムでシミュレーションすることが可能である．広域に大量に配置された建物形状モデルをリアルタイム

でレンダリングできる点にシステムのとしての特徴がある.

景観シミュレーションの結果，長岡京の中軸線を北に延長した部分にランドマークとして認識できるような山の頂を発見することができた．この山の頂は沢山という名称である．シミュレーション画像では朱雀門の屋根の上に沢山の頂が突出している様子を確認できる（図１）．現在の長岡京跡では，都市化が進行しているためこうした景観を見ることはできない．失われた景観を再現するツールとしてこのコンテンツは有効である．

５．博物館展示における活用

「バーチャル長岡京 3D マップ」は，国立歴史民俗博物館において開催された企画展「長岡京遷都―桓武と激動の時代―」（2007 年 10 月 10 日～12 月 2 日）に出展したコンテンツである．このコンテンツは，デジタル化されたジオラマとして位置づけることもできる．アナログのジオラマ（模型）と比較すると，今回構築したバーチャル長岡京 3D マップのシステムは，スケーラブルなシミュレーションができる点，データの修正や更新が可能である点，コンテンツが劣化しない点などにおいて有利である．

歴博における展示期間中には，利用状況調査を実施した．その結果，利用者は全企画展閲覧者の約 3 割であることを確認した．特に 60 歳以上の入場者の利用率は，他の年齢層に比べ低い．利用者全体の平均的な操作時間は 3 分程度であった．「バーチャル長岡京 3D マップ」は，長岡京の景観を理解するために有効なコンテンツであるが，極めて短時間で操作方法が理解できるようなインターフェイスの構築が博物館の展示の際には必要である．

引用文献

1　河角龍典,塚本章宏,磯田弦,佐古愛巳,高瀬裕,矢野桂司:宮都研究と GIS,条里制・古代都市研究,第 22 号, pp.1-18,2007.

角田 哲也, 大石 岳史, 小野 晋太郎, 池内 克史:バーチャル飛鳥京:複合現実感による遺跡の復元と観光案内システムへの展開,生産研究,Vol.59-3,pp.172-175,2007.

天目隆平,神原誠之, 横矢直和:平城宮跡ナビ：ネットワーク共有コンテンツデータベースを利用した端末非依存ヒューマンナビゲーション, 日本バーチャルリアリティ学会第 9 回大会論文集, pp. 85 - 86, 2004.

2　河角龍典「平安時代のバーチャル京都」（矢野桂司,中谷友樹,磯田弦編:バーチャル京都－過去・現在・未来への旅－,ナカニシヤ出版,2007.）pp.92-109, 所収.

図１　長岡京の朱雀大路から見た朱雀門と沢山

P−137

考古遺跡調査へのRFID技術の導入　～ミューチップの耐性実験～

安藤涼介・長瀬智（東京工業大学）・岡本篤志（東北芸術工科大学）・○亀井宏行（東京工業大学）

はじめに

考古遺跡調査においてRFID技術を導入し、遺物や遺構の管理をより容易に行えるシステムの開発を行っている。

RFIDとは、Radio Frequency Identificationの略であり、ID情報を埋め込んだタグと電波を用いた近距離の無線通信によって情報をやり取りするもの、およびその技術全般のことである。流通業界でバーコードに代わる技術として研究されてきたが、近年ではそれだけに留まらず、様々な分野で使用されている技術である。

考古遺跡調査へのRFID技術の導入を考えた場合、屋外に晒される場合や、保存修復過程で、色々な薬品や、放射線類を浴びる可能性がある。そこで、本研究ではそれらの状況にICタグが耐えられるかを調べた。

考古学に応用する際に遺物などに添付することを考慮すると、RFIDのなかで世界最小のサイズを持つ、株式会社日立製作所が開発したミューチップが最適であると判断した。本研究では、その中でも2つのミューチップのインレットに関して実験を行った。一つは、日立化成工業株式会社が製造している超小型インレット「MC1-IN0403-HT」（4×2.5mm）である。これは、ミューチップをアルミとPETでカバーしたインレットである。二つ目は、株式会社日立プラントメカニクスが製造している屋外用インレット「スカイメタル」（32×5×3mm）である。このスカイメタルは、ミューチップとアンテナをセラミックでコーティングし、耐熱性や耐酸化性などをより向上させたインレットである。（写真1）

導入のための条件

考古学の分野にRFIDを導入するためには、以下のような条件が必要であると考える。

- 考古遺物にタグを添付することを考えた場合、土器や木片にタグを貼付けることになる。そこで、剥がれにくく、かつ可逆性を持つ接着剤を選ぶ必要がある。
- 考古遺物にタグを添付することを考えた場合、保存や修復の過程で使われる薬品がタグにつく可能性がある。そこで、それらの薬品に対して耐性を持っている必要がある。
- 考古遺物は、内部を調査するため、X線を照射することがある。そこで、タグはX線に対して耐性を持っている必要がある。
- 考古遺物は屋外など、様々な環境下で保存される可能性がある。そこで、タグはそれら様々な環境に対して耐性を持っている必要がある。また、屋外に保管される場合を考えると、汚れやチリなどが付着しても機能を失わない必要がある。

実験内容

・耐薬品性実験

超小型インレットを薬品に浸けて、機能を失わないか調べた。使用した薬品はエタノール、アセトン、トルエン、キシレン、ブタノンの5種類であり、それぞれの薬品に。本実験では、43時間各薬品に浸けた直後、さらにその後薬品から出して24時間放置した直後の2回、読み取りの試験を行った。その結果、アセトンとブタノン中に浸けた場合は、ミューチップが

機能を失うことがわかった。

また、アセトンに浸けた超小型インレットを顕微鏡で観察したところ、超小型インレットにもともと使われていた溶剤が溶け出していることが確認できた。

ブタノン中に浸けた超小型インレットも顕微鏡で確認したが、こちらは特に異常は見られなかった。

・ 木板及び土器への接着実験

超小型インレットを文化財に貼付ける時、どのような接着剤が適しているかを調べるため、木板には 16 種類（表１）、土器には７種類（表２）の接着方法を試みた。その結果、メチルセルロース、ヒドロキシセルロース、ポリビニルアルコールで接着した場合はすぐにはがれてしまった。その他の接着方法は、201 日経過した現在でもはがれていないため、継続して実験中である。

・ 耐Ｘ線実験

超小型インレットとスカイメタルの耐Ｘ線性を調べた。この実験では、上記の接着実験で作成した超小型インレットを貼付けた木板に、さらにスカイメタルを貼付け、Ｘ線を照射した。照射時の条件は、電圧 90kV、電流 3mA、照射時間 3 分間、照射口からの距離 1m とした。その結果、超小型インレット、スカイメタルともに機能は失われなかった。

・ 耐候性実験

ミューチップとそこに使われる接着剤が屋外での使用に耐えうるかを調べるため、超小型インレットを東北芸術工科大学で、スカイメタルをエジプトのハルガオアシスにある、アル・ザヤーン神殿付近（写真 2）でそれぞれ屋外曝露している。現在、実験継続中である。

表１　木板への接着実験

	素材
1	酢酸ビニル樹脂エマルジョン
2	セルロース系樹脂
3	変性シリコーン樹脂系
4	水溶性ウレタン樹脂エマルジョン
5	水溶性アクリル樹脂エマルジョン
6	水溶性アクリル樹脂+セラミック
7	膠
8	漆+小麦粉
9	漆+小麦粉+木粉
10	PVAC(ポリビニルアセラート)
11	エポキシ
12	メチルセルロース
13	パラロイド
14	ヒドロキシメチルセルロース
15	シアノアクリレート
16	PVAL(ポリビニルアルコール)

表２　土器への接着実験

	製品名
1	セメダインＣ
2	ガラス用セメダイン
3	アクアセブン
4	アクリルクレーバー　498HV
5	PVAC
6	吸着テープ（PowerStrips）
7	ミューチップ用シール

本研究は、H19－22 年科学研究費補助金基盤研究(A)
課題番号 19254002
「考古遺跡調査への情報技術導入実験―エジプト・アルザヤーン神殿遺跡」による

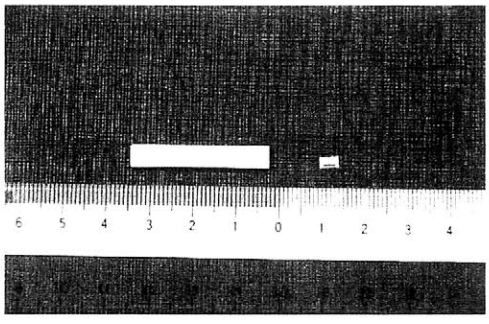


写真１　スカイメタル（左）と超小型インレット（右）

写真２　スカイメタルの土壁への埋め込みの様子

P－138

凝灰岩における塩類風化被害の形態分析と定量評価の試み

○神田涼（筑波大学大学院）アンドラス・モルゴス（筑波大学大学院）松井敏也（筑波大学大学院）

目的と概要

塩類被害にある石造文化財の保護対策として樹脂処理を行うことが一般的であるが、その樹脂処理が塩類の析出状況や石材の形態変化にどう影響するか検証された事例は少ない。そこで本研究では、上記の課題についての比較検討のために下記のような室内実験を行った。塩の種類と環境の差、樹脂処理の有無によって生じる塩の析出と石材形態の変化、写真撮影により比較した。また、一軸圧縮強度による比較も並行して行うことで樹脂の効果についての課題を整理し、塩類被害状況の判定やその対策検討のための指標となることを目指している。

実験と分析

（使用石材と実験手順）

栃木県宇都宮市より採石された凝灰岩（大谷石）を 5cm×5cm×15cm に整形し、105℃で恒量になるまで乾燥させた後、含水比や密度等の物性を測定した。また軟岩ペネトロ計（SH-70）による一軸圧縮強度の測定を行った（図1の A-1～3、B-1～3）。その後、密閉容器に石材を差込み、硫酸ナトリウム（Na_2SO_4）と塩化ナトリウム（NaCl）の 20℃における 50％飽和溶液に浸漬させた。

塩溶液は常に 2cm の高さを維持するように 24 時間毎に塩溶液を補充した。溶液の補充は密閉容器に設けた注入用の穴から行い、塩溶液が石材表面からのみ蒸発が起こるようにしている。

塩溶液の補充の前後に重量計測を行い、石材内部への塩溶液の浸入量の把握を行った。同時に写真撮影も行い形態の変化を撮影した。実験期間は未処理石材が 14 日間、樹脂処理石材については、より劣化の進行が緩やかであることも予測されたため 20 日間継続して行った。実験終了後には一軸圧縮強度の測定を再度行い、実験前後の強度変化を比較した。

（樹脂処理）

樹脂処理石材に用いた樹脂はエチルシリケート（$Si(OC_2H_5)_4$）を主とするシラン系樹脂（商品名 OH100）である。石材の空隙内において SiO_2 を形成し石材の空隙を充填することで、脆弱化した石材の強化を図る撥水性を持たない樹脂を使用した。樹脂処理は石材を絶乾させたのちに樹脂の液中に浸漬し、減圧デシケータ内で 30 分間 0.06mPa にて減圧含浸の後、10 分間常圧にして含浸させ 6 日間乾燥を行った。

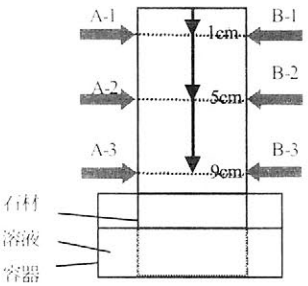


図1　一軸圧縮強度測定箇所概略図

実験条件（温湿度）

以下の 3 種の環境下で比較実験を行った。各条件下及び 2 種の塩の種類ごとに 3 個のサンプルを使用し、コントロールとして蒸留水に浸漬したサンプルを各 1 個用意した。

Desiccator (D)　平均相対湿度 92～95％に調湿したデシケータ内にサンプルを設置。平均温度（室温）は 10～20℃。

Oven (O)　50℃に設定したオーブン内にサンプルを設置。平均温度 48℃、平均相対湿度 12～19％

Cycle (C)　デシケータ（D）とオーブン（O）を 1 日おきに移動。

実験結果と考察　（形態と色調、強度の変化）

実験結果の一部を図2-a～d に示す。

条件（D）は未処理石材（Un）ではいずれの塩においても形態の変化は確認できず、樹脂処理石材（OH）でも同様の傾向を示した。また、石材の濃緑色への色調変化が観察できた。未処理石材（Un）においては石材強度は全体的に弱くなる傾向を示し、塩溶液から最も遠い測定箇所である A-1 や B-1 でも、実験

前の 40～60％程度の強度を示した。本環境ではデシケータ内の湿度が飽和に近く、石材表面からの蒸発も起こりにくいため塩溶液の一日毎の変化も小さくなっている。しかしながら、石材全体の強度が低下する傾向は、他の条件と比較して広範囲にわたり石材中に塩溶液が広がっていると考えられる。これは環境中の湿度が石材全体への塩の広がりを助長する環境であるとも言える。

条件（O）では、樹脂処理の有無と塩溶液の種類によって形態の変化に顕著な差が見られた。いずれの塩においても、樹脂処理を行った石材が未処理石材よりも亀裂の発生は少ない。しかし、樹脂処理石材（OH）では塩類の析出と皮殻の形成が著しく（図 2－b）、強度についても未処理石材よりは強い強度を実験後も保持してはいるが、石材の下部（図 1 における A-3、B-3）部分で実験前の 10～20％程度の値を示すなど著しく強度が低下している。未処理石材（Un）では、石材の中程部分よりも下部において濃い色調に変化し亀裂も発生したが、それよりも上部での色調変化は起こらなかった（図 2－a）。これは亀裂による空隙の広がりにより、毛管現象による塩溶液の上昇が抑制されたとも考えられる。樹脂処理の際の皮殻の成長を、維持管理上どう扱うかは今後も検討していく必要があるだろう。

条件（C）での形態の変化は塩の析出と剥離による変化に特徴づけられる。未処理石材（Un）ではまずオーブン（O）内で塩の結晶化が起こり石材の中程部分が膨張し、続いてデシケータ（D）の環境下において膨張した部分が湿度により重量を増し崩落する（図 2-c）。一方樹脂処理石材（OH）では約 1 週間で塩の析出が起こりはじめるが、実験終了の 20 日まで塩の析出量は増加していくものの、亀裂などは発生せず、急激な形態の変化は起こらなかった（図 2-d）。つまり石材の形態を維持する上で、樹脂処理による効果を最も確認できた条件とも言える。オーブン（O）条件下よりも高い位置で石材の亀裂と塩の析出が起こる傾向を示すため、デシケータ内の湿度が石材表面から浸入して影響を与えていると考えられる。一軸圧縮強度は石材の下部（A-3、B-3）が実験後に弱くなる傾向を示した。

結論

石材の形態変化が少なかった常温高湿（D）の条件下では、強度の比較から樹脂処理による効果を確認し、また、高温乾燥（O）と高温乾燥と常温高湿を繰り返す（C）の 2 種の環境下においては、石材の形態の比較から処理の効果を改めて確認した。しかし、図 2-b に見るような皮殻の発達は、未処理石材に比べ石材本体への影響は少ないものの外観に与える影響は大きい。そのため、公開（露出展示）に向けたより詳細な判断基準の検討を行う必要があるだろう。

樹脂処理によって生じる問題とされる可逆性や色調の変化について、その判断基準は明確ではない。今後は室内実験や現地調査を行い上記課題についての検討を行い、また、脱塩効果についての検討も行うことで劣化状況の評価のみならず維持管理方法の評価についても取り組んでいく予定である。

謝辞

実験サンプルに使用した大谷石の入手には、栃木県宇都宮市教育委員会、有限会社高橋佑知商店にご協力をいただきました。記して謝意を申し上げます。

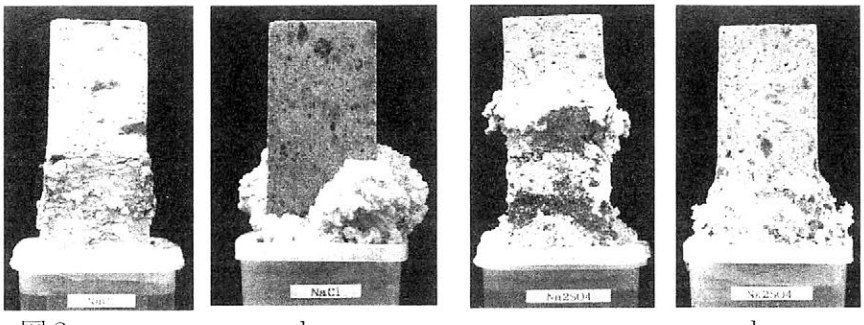


図 2 - a　- b　- c　- d

図 2 - a　実験開始 14 日目　未処理石材（Un）条件（O）塩化ナトリウム
図 2 - b　〃　樹脂処理石材（OH）条件（O）　〃
図 2 - c　〃　未処理石材（Un）条件（C）硫酸ナトリウム
図 2 - d　〃　樹脂処理石材（OH）条件（C）　〃

P−139

土器に残存する塩の検出方法の開発:製塩土器の同定に向けて

○堀内晶子[1]、落合暢夫[1]、宮田佳樹[2]
[1]国際基督教大学教養学部、[2]国立歴史民俗博物館

1. はじめに

古代から現代にいたるまで、製塩は日本の重要な文化の一つである。最古の製塩技法は土器を使って海水を加熱濃縮する方法で、縄文時代から塩田が広まる平安時代まで、全国各地の遺跡から大きさも形も異なる様々な製塩土器が出土していることからも明らかである。しかし、これまで製塩土器を化学的に同定する方法は確立されていなかった。そこで、我々は海水中に微量溶解しているステロール類が海水を繰り返し濃縮する製塩過程で土器内部に吸着・残留することを実験製塩土器を使って明らかにし、報告した[1]。本研究では、水に良く溶けるため直接検出することが難しいと考えられていた塩そのものを、主成分である塩化ナトリウム(NaCl)由来の塩化物イオン(Cl^-)として実験製塩土器から抽出、検出・定量することに成功したので、ここに報告する。

2. 背景

土器を構成する粘土は化学種毎に吸着し易さが異なるイオン交換能を有することが知られている[2]。そこで、塩の主成分であるNaCl由来のCl^-陰イオンが土器マトリックス内に保持され残留する(保存性Cl^-が存在する)可能性を、実験製塩土器を使って検討した。NaClは隔離された特殊な環境以外では、雨や地下水などの天然水によって溶け出してしまう。しかし、もし保存性Cl^-が土器に保持されており、それが回収できるのであれば、土器を用いて古代の塩の痕跡を復元できる可能性がある。課題は、水で水溶性Cl^-を十分除去した後、さらに残留している保存性Cl^-をいかにして回収するかである。本研究では、粘土の主成分であるケイ素に親和性の高いフッ化物イオン(F^-)がCl^-とイオン交換することを期待し、フッ化アンモニウム(NH_4F)溶液を抽出溶液として使用した。

Cl^-の検出には安価で簡単に操作できる塩化物イオン電極(CL-2021 及び Portable ion/pH meter IM-22P, TOA-DDK Co. Ltd)を使用した。この電極は広範囲のCl^-濃度(1~35000 mg Cl^-/L)を広範囲のpH下(pH2~pH 14)で測定することができ、Cl^-濃度が10^{-1} mol/Lで、最高1,000倍のF^-が共存できる。

3. 実験

試料: 御所野遺跡(岩手県一戸町)の粘土採掘鉱周辺から採取した粘土を用いて作成した土器を使い2004年11月、千葉県千倉海岸で海水を加熱濃縮する直煮製塩法(素水製塩)で塩を作り実験製塩土器とした。実験に用いた粘土は,海成粘土ではないため、製塩作業前の土器胎土に海水からの塩の混入はないと考えられる。製塩作業後、内部に析出している塩を分けとり、土器を縦半分に切断し試料とした。土器はさらに細かく口縁部(T=top)、胴上部(UM=upper middle)、胴下部(LM=lower middle)、底部(B=base)に分け、土器の部位と塩化物イオンの残留量との関係がわかるようにした。図 1.に試料として用いた実験製塩土器の塩の蓄積状況と各部位を示す。底部に塩が蓄積していたことから、底部が最もCl^-の残留性が高いと考え、最適条件の確立実験には底部の土器片を使用した。まず、土器片を蒸留水(DW)中、硝酸銀溶液で塩化銀の白色沈殿(溶解度積:$K_{sp}=1\times10^{-10}$)が生じなくなるまで、繰り返し超音波洗浄し、土器表面の塩分を除去した。乾燥させた土器片を、粉砕器(Heiko Sample Mill TI-200)を用いて粉砕し、試料とした。すべての試料は3セット用意し、その平均値を実験結果とした。

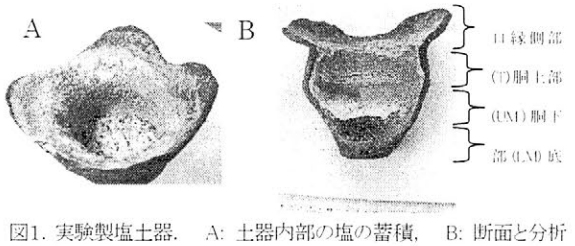


図1. 実験製塩土器. A: 土器内部の塩の蓄積, B: 断面と分析

塩化物イオンの回収と定量:

a. **水溶性塩化物イオンの抽出と定量:** 土器表面を超音波洗浄した後も水溶性Cl^-がまだ残留している可

能性があるため、1.00g土器粉末に20mL DWを加え20分間超音波した後、3,000 rpsで10分間遠心分離し、5.0mLの上澄液を取り、0.5mLイオン調整剤(TOA-DDK Co. Ltd.)を加えた後、電位を塩化物イオン電極で測定した。Cl^-濃度は予め作成した同濃度のイオン調整剤を含む検量線から算出した。次に上澄液を除去した後、新しい20mL DWを加え同様に抽出し、Cl^-濃度が塩化物イオン電極で検出限界以下、硝酸銀を加えても塩化銀の白色沈殿が生成しなくなるまで繰り返し行った。

b. **フッ化アンモニウム溶液を用いた塩化物イオンの抽出と定量:** DWで水溶性Cl^-を十分除去した上記土器粉末に、NH_4F溶液を加え、上記同様にCl^-が検出できなくなるまで繰り返し抽出を行い、抽出ごとにCl^-濃度を求めた。用いたNH_4F濃度はCl^-濃度1g/Lと当量である0.028 M、2倍濃度の0.056 M, 10倍濃度の0.28 Mである。Cl^-濃度を求める検量線にはイオン調整剤と共に抽出NH_4F溶液濃度と当濃度になるようF^-を加え、定量時のF^-の影響を極力抑えた。

3. 結果と考察

最適分析条件の確立: 粉砕した土器にはまだDWで回収できるCl^-が残留していた。そこで水に溶ける可能性のあるCl^-をさらに除去した後、土器に吸着されている保存性のCl^-をイオン交換するために最適なF^-濃度を求めるため、濃度の異なる3種類のNH_4F溶液を抽出溶液として検討した。まずCl^-濃度1g/Lと当量である0.028 Mを加えて抽出したが、この条件ではCl^-をほとんど回収できなかった(データ掲載せず)。そこで、NH_4F溶液濃度を2倍の0.056 Mにして同様に実験を行った。すると、最初の抽出で0.039±0.004mg Cl^-/g potteryのCl^-を回収することができた。このことから土器マトリックスには製塩実験の際に吸着した保存性のCl^-が確実に保持されていること、またF^-が対応するCl^-を回収するために有効であることが初めて明らかになった。しかし、図2に示す様に、NH_4F溶液で繰り返し抽出してもCl^-濃度値はあまり変化しなかった。この結果はF^-濃度が足りないため、Cl^-との交換反応が不十分である事を示している。そこで、NH_4F溶液濃度を10倍の0.28Mにし、再度実験を行った。その結果図3に示すように、第一回目の抽出Cl^-濃度が約2倍に増加し、抽出回数を増やすごとにCl^-濃度が減少し、F^-濃度が十分であることが明らかになった。従って、0.28 M NH_4F溶液を使って水に流出しない残留Cl^-濃度を抽出、測定することにした。なお、DWで十分に洗浄した後、粉砕前土器片に0.28M NH_4F溶液を加えても、Cl^-は抽出できない事から、Cl^-とF^-が交換する為には土器を粉砕し、表面積を増やす必要があることが明らかになった。

実験製塩土器の部位によるCl^-濃度の差: 実験製塩土器の部位ごとの総Cl^-量を抽出毎のCl^-濃度の和として算出した結果を図4に示す。一番塩が蓄積されていた底部Cl^-濃度が一番高いと推測したが、予想に反

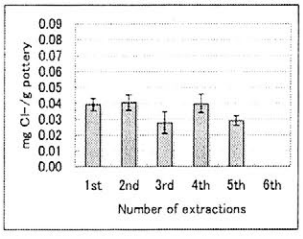


図2. 実験製塩土器底部(B)から0.056MNH$_4$F溶液を使用した抽出毎ごとの塩化物イオン濃度

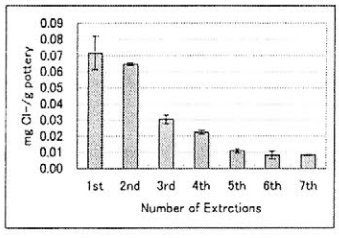


図3. 実験製塩土器底部(B)から0.280 MNH$_4$F溶液を使用した抽出毎ごとの塩化物イオン濃度

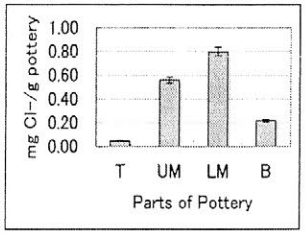


図4. 0.280 MNH$_4$F溶液を使用して抽出した実験製塩土器の部位ごとの総塩化物イオン濃度. T:口縁部, UM: 胴上部, LM:胴下部, B:底部

して、胴部の濃度が一番高くなり、分析試料としては胴部が一番適していることがわかった。差の原因としては、海水を濃縮する際、胴部に繰り返し海水が浸透し、濃度が高くなった可能性、直接火があたる底部のCl^-が土器構成成分と反応し、回収量が減少した可能性などが考えられる。最後に、製塩土器を提供してくださった総研大博士課程の村本周三さんと製塩実験を行った加曽利貝塚博物館に感謝の意を表します。

[1] 堀内晶子、森山英範、宮田佳樹、「実験製塩土器に吸着されたステロール類の研究」、日本文化財科学会第24回大会発表要旨集、296-297, 2007

[2] Koji Wada, Yutaka Okamura, Measurements of exchange capacities and hydrolysis as means of characterizing cation and anion retentions by soils, *Proc. Int. Semin. Soil Environ. Fertil. Manage. Intensive Agric.*, 811-15, 1977

P－140

豊前地方の鉄生産の成立

－古墳時代後期遺跡出土の鉄滓の分析をとおして－

村上久和*、○山田拓伸**
(*大分県埋蔵文化財センター、**大分県立歴史博物館)

1. はじめに

現在、鉄は鉄鉱石を原料に製鉄(製錬)を行い、さらに精錬の工程を経て得られている。日本で製鉄が始まるのは、発掘調査で検出された遺構で確認できるものとしては6世紀に入ってからである。また精錬については、弥生時代後期には鍛冶工房として確実に存在していた。製鉄が始まった頃の工法は判然としないが、その後、製鉄と精錬を同時に行う日本独特のタタラへと変貌を遂げていく。

鉄の製産からは鋼だけでなく夾雑物の混じった鉄滓も生じる。鉄滓の出土は主に鉄の製産遺構からであるが、中には古墳などから副葬品として出土することもある。そのような例が福岡市周辺や岡山県内で集中して見られる。大澤正己の研究によれば、出土した鉄滓の分析から原料はそのほとんどが砂鉄を使っていたという。

周防灘に面した福岡県から大分県にわたる豊前地域については、鉄滓の出土例が少ないこともあり、分析したという報告がなかった。そこで、空白地域を埋める意味も込め、この地域の古墳など3ヶ所から出土した鉄滓を分析し、古墳時代後期における鉄の製産とその被葬者との関わりについて報告したい。

2. 鉄滓の出土遺跡

試料1……上ノ原14号横穴墓(大分県中津市三光)、6世紀後半～末頃
試料2～4……福丸1号墳(福岡県行橋市大字福丸)、6世紀後半～7世紀中頃
試料5～12……市場遺跡(大分県中津市大字湯屋字市場)、6世紀後半～末頃

3. 分析結果

分析は、大分県立歴史博物館の蛍光X線分析装置を用いて行った。図3がその結果である。試料は、鉄滓の表面を少し剥がした部分、および割れたものはその内部からそれぞれ1～2g採取した。したがって、土中に埋まっていた時に内部に入り込んだ土も一緒に分析されていることを考慮する必要がある。

試料2・3・11は、鉄の含有が高く夾雑物も少ないことから、精錬によって得られた鋼といえる。試料5は鍛冶滓と思われるが、海綿状で重さは軽く、夾雑物が多いことから、製錬滓の可能性も否定できない。その他の試料は鍛冶滓と考えられる。なお、試料1および4は形状から椀型滓(鍛冶滓の一種)である。各試料については、試料2・3・11を除き、原料としてはチタン(Ti)を含んでいることから砂鉄を用いたことがわかる。

4. 考察

鉄滓を副葬する古墳の性格については、福丸1号墳では須恵器製の土馬や滑石製の立方体状の玉が認められるところから、これらの遺物がいずれも祭祀に使用されたものであり、この古墳が祭祀権を持つ小波瀬川流域の首長墳の一つであることを表している。このような古墳に椀型滓、鉄塊系遺物などが副葬されているということは、この首長墳が製鉄集団をも把握している証となる。さらに7世紀中頃前後に築造される徳永泉古墳(福岡県行橋市大字徳永字泉)には、椀型滓炉壁片が副葬されており、小波瀬川最上流域の首長墓群が製鉄集団を把握している証となろう。なお、小波瀬川流域の首長墓の変遷は、福丸1号墳－徳永泉古墳－願光寺裏山古墳と続き、それに福丸1号墳と擬制的同族関係を持つ福丸群集墳が築造されるものと考えられる。

京都平野内には、6世紀後半～7世紀中頃までの鉄滓副葬の古墳は前述した2基の古墳以外には、製

鉄・鍛冶炉跡なども含め、現在まで発見されていない。小波瀬川最上流域地域の首長が、鉄生産の権利を有していた象徴が福丸1号墳および徳永泉古墳に副葬された鉄滓であろう。

この小波瀬川最上流域範囲は、後に藤原広嗣の乱に際し兵五百騎を率い朝廷軍に帰順し活躍した京都郡大領楉田勝勢麻呂の本貫地であり、古代郡領域の範囲を示しているとともに「勝」姓をもつ集団は、渡来系集団と考えられる。このような歴史的背景のなかで、鉄滓を副葬する古墳が出現し、さらに8世紀前半頃には、椿市廃寺が造立されるのである。

上ノ原14号横穴墓出土の椀型滓は、横穴墓の最終埋葬時に羨門付近で須恵器杯、高坏、椀型滓などの上に川原石を置き周辺で晩火を行っている。この横穴墓は、墓道より多量の鉄鏃や馬具が出土しており、中位クラスの横穴墓である。これに椀型滓が伴うということは、まさに小鍛冶集団の墓と考えられよう。

市場遺跡は、上ノ原横穴墓群から南に約1kmのところにある6世紀後半～末頃の小鍛冶炉である。鞴羽口や椀型滓が多量に出土しており、上ノ原14号横穴墓との関係が期待された。しかし分析からは同一の物であるという確証は得られなかった。周辺に小鍛冶があることから、今後の研究に期待したい。

5. おわりに

豊前地域で古墳などから出土する鉄滓は少なく、したがって今回分析した試料から直ちに当該地域の古墳時代の鉄製産の様相について結論づけるのは早計である。今後も当地域で鉄滓が出土した場合は、その補充の意味も込め分析を試みたい。

最後に、分析のために快く試料の提供をいただいた福岡県行橋市教育委員会小川秀樹、山口祐平氏、大分県中津市教育委員会浦井直幸氏には心よりお礼を申し上げます。

図1　上ノ原横穴14号墓出土鉄滓　試料1

図2　福丸1号墳出土鉄滓　試料3

試料	主成分	副成分	微量成分	形体
1	Fe	Mg、Al、Si、P、K、Ca、Ti、Mn、Cu	S、Cl、Cr、Sr	鍛冶(椀型)滓
2	Fe	Mg、Al、Si、P、Ca、Cu	S、Cl、K、Cr、Pb	鉄塊(鋼)
3	Fe	Al、Si、Cl、Ca、Cu	S、K、Cr	鉄塊(鋼)
4	Fe	Na、Mg、Al、Si、S、K、Ca、Ti、Cu	P、Cl、V、Cr、Mn	鍛冶(椀型)滓
5	Fe	Na、Mg、Al、Si、P、S、K、Ca、Ti、Mn、Cu、Sr、Ba	Cl、Cr	鍛冶滓？
6	Fe	Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、Mn、Cu	Cr、Sr、Ce	鍛冶滓
7	Fe	Na、Mg、Al、Si、P、K、Ca、Ti、Mn、Cu	S、Cl、Cr、Sr、Ce	鍛冶滓
8	Fe	Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、Mn、Cu	Cr、Pb	鍛冶滓
9	Fe	Na、Mg、Al、Si、P、S、K、Ca、Ti、Mn、Cu	Cl、Cr、Sr	鍛冶滓
10	Fe	Mg、Al、Si、P、K、Ca、Ti、Mn、Cu	S、Cl、Cr、Sr	鍛冶(椀型)滓？
11	Fe	Al、Si、S、Cl、Cu	P、K、Ca、Cr、Pb	鉄塊(鋼)
12	Fe	Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、Mn、Cu	Cr、Sr	鍛冶(椀型)滓？

図3　鉄滓の蛍光X線分析結果

P−141

狩猟動物の解体・加工と骨角器製作からみた縄文時代の動物資源利用
−中国地方の遺跡出土資料を中心として−

石丸 恵利子　（ 総合地球環境学研究所 ）

1．はじめに

動物資源の利用については、出土動物相や解体痕などの人為的な痕跡の観察によってその一端を知ることができる(本郷 1991 など)。本報告では、骨角器製作に関わる素材の獲得を目的とした消費活動に注目して、主要狩猟動物であるイノシシとニホンジカに残る解体痕・打割痕などの人為的痕跡の観察を実施し、骨角器の素材となった部位や器種構成などの情報を加えて、縄文時代における動物資源の利用のあり方について検討する。ここでは中国地方に位置する縄文時代の遺跡資料を中心に、立地の異なる遺跡との比較によって、動物利用の地域性や遺跡の機能についても追究する。

2．資料と方法

分析は、中国山地に位置する帝釈観音堂洞窟遺跡(広島県:以下観音堂)と、瀬戸内沿岸部に位置する彦崎貝塚(岡山県:以下彦崎)を対象とする。分析の視点は、イノシシとニホンジカの四肢骨において、毛皮を剥ぐことや筋肉と骨を分離する際に付くと考えられる解体痕、四肢骨内部の骨髄をとるあるいは骨角器製作の工程で残ると考えられる打割痕、さらに鹿角製品の素材獲得の際に残る加工痕に注目し、各遺跡の縄文時代前期から後期にかけての痕跡の特徴を読み取る。また、骨角器の器種構成や素材となった部位と人為的痕跡との対比を行う。当日のポスターでは、鳥浜貝塚資料に認められる痕跡の特徴についても言及する。

3．結果と考察

観音堂と彦崎のイノシシとニホンジカは、分析したいずれの時期においてもほぼ全身の部位が出土しており、遺跡は1個体すべてを遺跡に持ち込んで消費した生業活動の拠点的な場所であったと推定できる(石丸 2007, 石丸 2008)。観察できた人為的な痕跡からは、以下のような特徴が導き出せ、このような分析視点は、縄文時代における遺跡内での動物資源の消費活動の様相を具体的に明らかにする情報を得るために有効であると考えられる。

【 解体痕 】上腕骨の遠位、橈骨や大腿骨などの両端部で多くの解体痕が確認でき、イノシシとニホンジカによる差、両遺跡における差、特徴の時期的な変化は認められない。痕跡は、解剖学的に筋肉の腱や関節をはずすために処理が必要な部位に集中している。

【 打割痕 】橈骨や脛骨に残る打割痕の位置から、尺骨や腓骨(イノシシのみ)を切り離した後に打割されたと考えられる痕跡が確認できる。また、ニホンジカの中手骨・中足骨には、近位から遠位にかけての側面に多くの打割痕が確認できる。痕跡の遺跡による差や時期的な変化は認められない。四肢骨の打割行為には、内部の骨髄を採取する目的に加え、骨角器の素材として利用するために動物種や部位形態が意識されたことが指摘できる。

【 加工痕 】未成品に残る加工痕は、切断したい部分に工具の刃部を複数回打ち付けて刻みをいれ、その後に折り取った状態であるが、成品(鹿角製)と考えられるものには、刃部を反復運動することによって刻みをつける加工方法が確認できる。素材獲得の際の方法と、調整の段階で技法を使い分けていた可能性がある。素材獲得方法における遺跡差は確認できない。

【 骨角器の素材と人為的痕跡の関係 】骨角器の素材として選択された部位には、その形態をそのまま活かすため、加工の痕跡が少ないものや、必要な部位を取り除いた後に処理されたことを示すもの、または特定の場所に痕跡が集中するなど、動物種や部位の取り扱いの差が認められる。観音堂では、骨角器の素材となった部位と未成品を含む同一部位に確認できる痕跡の出現頻度が比例しており、遺跡内で製作したものが同時に使用されたと考えられる。

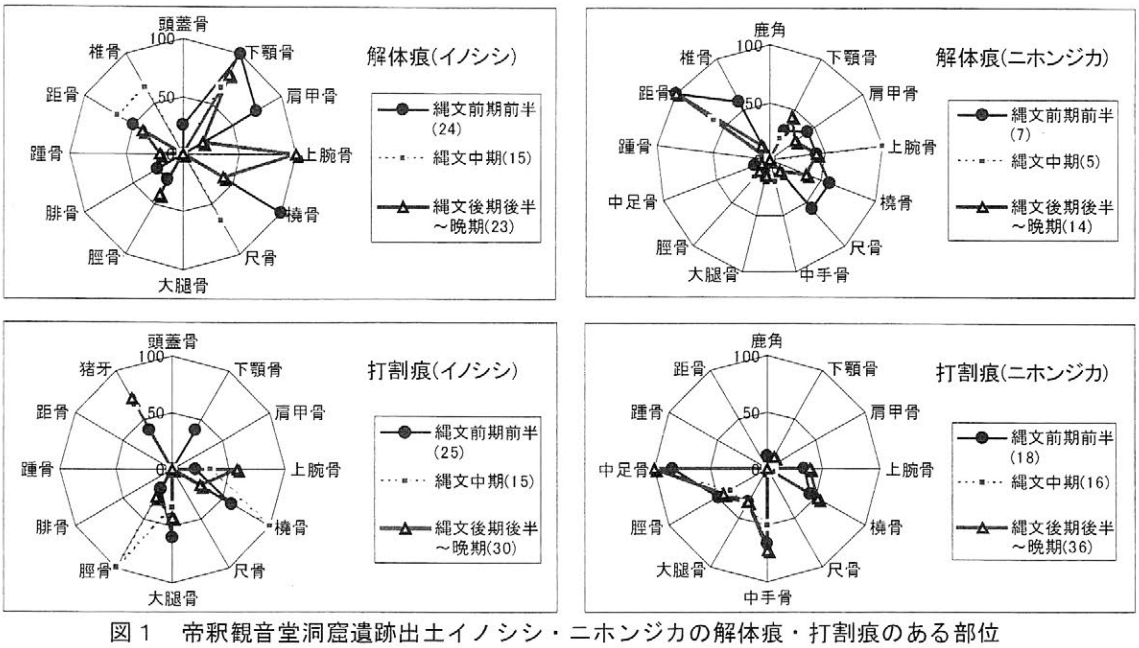
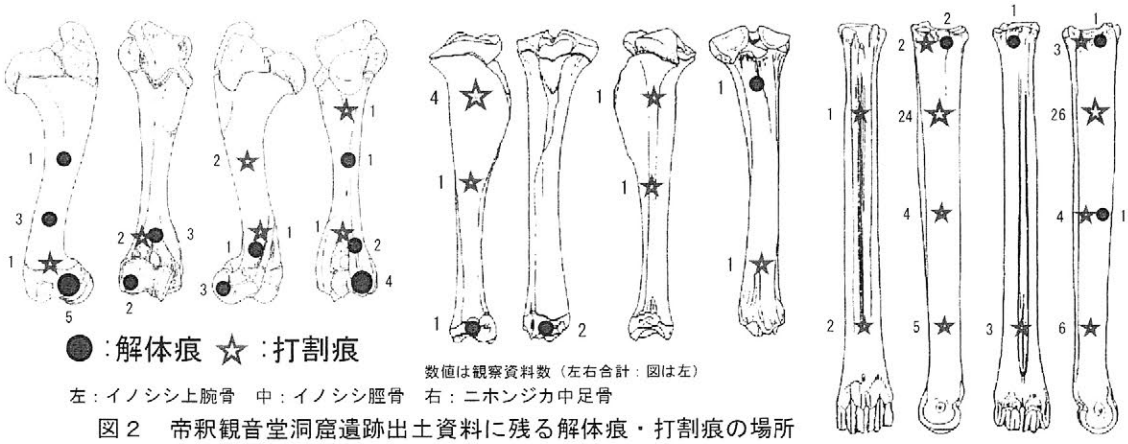


図１　帝釈観音堂洞窟遺跡出土イノシシ・ニホンジカの解体痕・打割痕のある部位

＊最も痕跡のある部位に対する比率　単位：%　　凡例の（　）内は観察資料数



左：イノシシ上腕骨　中：イノシシ脛骨　右：ニホンジカ中足骨

図２　帝釈観音堂洞窟遺跡出土資料に残る解体痕・打割痕の場所

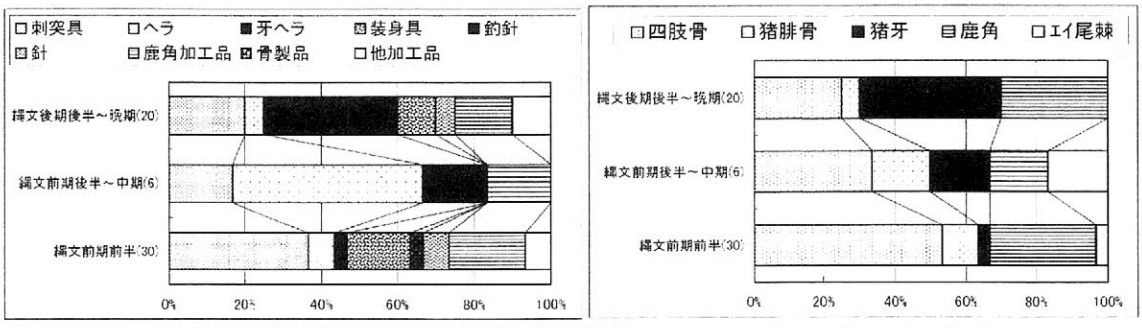


図３　帝釈観音堂洞窟遺跡出土骨角器時期別組成　　左：器種別　右：素材部位別

参考文献

○石丸恵利子 2007「山間地域における縄文時代の狩猟と遺跡の利用形態－帝釈峡遺跡群の洞窟・岩陰遺跡の検討－」『動物考古学』第 24 号　動物考古学研究会

○石丸恵利子 2008「動物遺存体からみた縄文集落－中四国地方を中心として－」『西日本の縄文集落－その実像と研究の到達点－』考古学研究会岡山例会第 12 回シンポジウム要旨集　考古学研究会岡山例会

○本郷一美 1991「哺乳類遺存体に残された解体痕の研究－鳥浜貝塚 85 区出土の獣骨をとおして－」『国立歴史民俗博物館研究報告』第 29 集　国立歴史民俗博物館

＊本研究は総合地球環境学研究所プロジェクト“日本列島における人間－自然相互関係の歴史的・文化的検討”の補助を受けている。

東京都中央区日本橋一丁目遺跡より出土した江戸時代の建築用材の樹種

○鈴木伸哉（早稲田大学）・能城修一（森林総合研究所）

1. はじめに

東京都中央区日本橋一丁目遺跡より江戸時代初期から近代に至る遺跡が出土した。当該地は江戸時代には万町（よろずちょう）という、問屋の集中する商業の中心地であった。この遺跡から出土した遺構に伴う土木・建築材の樹種を同定し、江戸の町家における土木・建築用材の変遷とその背景について検討した。

2. 試料と方法

17 世紀初頭から幕末・近代にかけて形成された 14 の検出面から出土した遺構のうち、下水木樋・枝樋 86 基から 468 点、土蔵跡（基礎部分）17 基から 859 点、穴蔵 23 基から 592 点、井戸 5 基から 14 点の、あわせて 131 基から 1934 点の試料を採取し、樹種を同定した。樹種同定は木材切片のプレパラート観察によりおこなった。

3. 結果と考察

針葉樹 16、広葉樹 21 の、あわせて 37 樹種が同定された。遺構の種類ごとに用材傾向は異なっており、それぞれの用材には、江戸時代初期から幕末・近代にかけて変化が認められた（図 1）。これらはとくに 17 世紀中葉と 18 世紀後葉に顕著であった。

17 世紀中葉以前には、下水木樋・枝樋ではサワラが主体を占め、広葉樹や関東周辺には自生しないトガサワラなどの利用が認められた。また穴蔵では多様な針葉樹・広葉樹が用いられていた。

17 世紀中葉以後には、下水木樋・枝樋の用材はアカマツが主体をなすが、その他の針葉樹も多く認められた。この時期に穴蔵は、大径のアスナロ（ヒバ）が多く用いられていた。土蔵跡は 18 世紀に町方での建設が活発になった当初から、基礎部分にアカマツ、クリ、スギ、ツガ属、モミ属、アスナロ（ヒバ）が多く認められたが、胴木・枕木には転用材が多く用いられ、遺構や部位ごとの用材に一定の傾向は見出せなかった。

18 世紀後葉以降には、下水木樋・枝樋、土蔵に、ヒノキ科やモミ属、ツガ属の減少と、アカマツ、スギの利用の増加が認められた。穴蔵にはアスナロ（ヒバ）が用いられる一方、カヤやカラマツ属、スギを多用して製作されたものも認められた。

これらの結果から、江戸の町家における土木・建築用材の変遷について推定した。17 世紀中葉以前には、近世初期の未発達な木材生産・流通と、徳川家康の江戸入府（1590 年）前後における都市建設に伴う木材需要の急増によって、近隣や遠隔地から多様な木材が搬入されたが、17 世紀中葉以後、全国的な天然林資源の枯渇と、江戸近郊をはじめとする植林の活発化や、それに伴う木材生産の拡大・流通網の整備に伴い、利用される樹種が限定され、用途や木材価格に応じた樹種選択がなされた。一方、樹種や寸法に拘束されない部分では転用材を用いるなど、資源の節約もおこなわれた。18 世紀後葉以降、天然林資源の枯渇は顕著になり、利用可能な樹種もさらに限定されるのに伴い、植林によって生産されたスギ、アカマツや、江戸周辺の森林から得られる成長の速い陽樹の利用拡大というかたちに遷移した。

また、こうした変遷の背景に、都市人口の増加とそれによる木材消費の拡大、明暦の大火（1657 年：第 12 面）、目黒行人坂の大火（1772 年：第 4 面）をはじめとする、江戸市中で頻繁に起こった火災による木材需要の増加の影響を推定した。

本研究をおこなうにあたり、植田弥生氏、（株）パレオ・ラボよりご助力を賜った。また（財）トステム建材産業振興財団平成 18 年度（第 15 回）助成を用いた。記して御礼申し上げる。

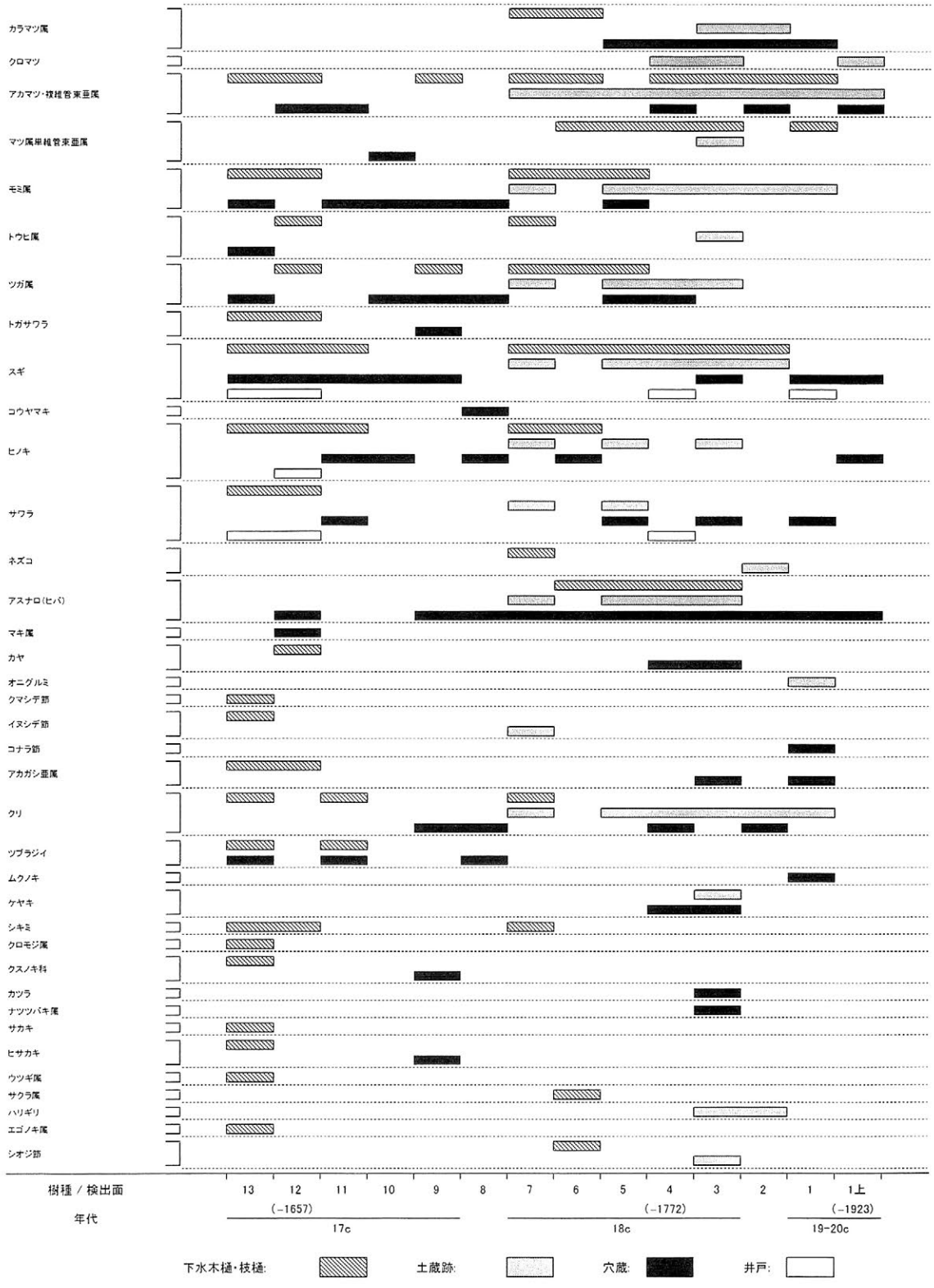


図 1. 中央区日本橋一丁目遺跡より出土した下水木樋・枝樋、土蔵跡、穴蔵、井戸の用材変遷.

P−143

美術品輸送に関する文化財用免震装置の開発（１）

○塚本敏夫・雨森久輝（元興寺文化財研究所）駒井利定（有限会社 CP 輸送）
小島誠・横尾淳一（株式会社エーエス）

1. はじめに

文化財の公開は、社会教育という点からたいへん重要であり、そのためには輸送が不可欠である。ここ数年、全国で開催される企画展などは拡大の一途をたどり、その中で美術品輸送のモラルが問われてきている。現在の傾向として博物館等での予算の削減や入札の導入により、美術品輸送専門業者でないものが輸送を担当することも増えてきている。特に考古遺物の中で太刀などの長尺遺物は、資料自体が脆弱化しており輸送時の振動等によって破損することも多い。

尚且つ考古遺物・民俗資料等は、保存処理以前と後では、その強度にも違いが出る。しかし現状では、保存処理後の強度の設定に的確な判断基準を持ち合わせていないのも現実である。

2. 研究の経緯と今回の目的

2. 1. 研究の経緯

元興寺文化財研究所では文化財の保存の立場から、保存処理後の文化財に関して強化処理評価は最も遺物にストレスがかかる輸送時に行うべきであるとの視点から、走行実験を行ってきた。

走行実験では輸送時における衝撃等の負荷が遺物や資料にどのように影響をおよぼすか。また、輸送手段の相違（美術品専用車による輸送・一般車両による輸送）により資料に与える負荷の相違や、資料に及ぼす影響を明確にデータ化することをにより、より良い美術梱包・輸送方法を確立する事を目的としている。

その走行実験により、従来安全とされてきたエアーサスペンション仕様の美術品輸送車においても、非常に大きな加速度が発生することがわかってきた　特に、上下方向の加速度が想定より大きく発生していることが判明した。

2. 2. 今回の研究目的

美術品輸送車においても大きな加速度が発生することから、輸送時に搬送物への振動を防ぐ免震装置が必要であることに着目した。そこで美術品輸送車でなくとも安全に輸送できる免震装置として文化財輸送用の防振パレットを開発することを目指している。

本研究では、まず美術品輸送車における防振パレットを開発する上で最適な防振材を探る目的で防振パレットの性能確認走行および振動測定試験を行ったので、その結果の一部を発表する。

3. 振動測定走行試験

3.1.測定日時

2008 年 2 月 14～15 日（2 日間）

3. 2. 対象車両

文化財診断車　法量　全長 7235mm
　　全幅 2308mm　全高 3366mm
サスペンション
　フロント：テーパーリーフサスペンション
　リア　　：４バックエアサスペンション

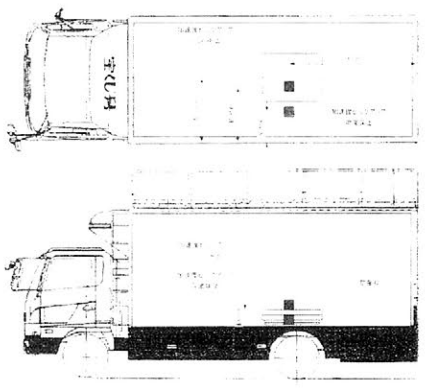


図１　測定位置

3.3. 測定方法と測定位置

文化財診断車で一般道を走行し、その時の荷室床上及び防振パレット上の加速度（上下、左右、前後方向）を測定する。防振パレットは防振材として①ワイヤーロープ防振器②シリコン系防振材③シリコン系防振材＋コイルばねの3水準で各種条件を変えて行った。図1に測定位置を表1に測定種類一覧を示す。

表 1 測定種類一覧

測定番号	付図	防振材	サンプリング周期	フルスケールレンジ*1	防振材上ウェイト	備考
E-0	1	ワイヤーロープ防振器（4個）	5ms	×10	53kg	スライダ付
E-1	2		5ms	×10	53kg	
E-2	3		5ms	×100	74kg	
T-0	4	シリコン系防振材*2（4個）	5ms	1ch・3ch ×10 2ch ×100	48kg	排気口全開
T-1	5		5ms	1ch・3ch ×10 2ch ×100		排気口オリフィスφ0.5mm
T-2	6		5ms	1ch・3ch ×10 2ch ×100		排気口密閉
T-3	7	シリコン系防振材＋コイルばね*3（4個）	5ms	1ch・3ch ×10 2ch ×100	74kg	排気口全開
T-4	8		5ms	1ch・3ch ×10 2ch ×100		排気口オリフィスφ0.5mm
T-5	9		5ms	1ch・3ch ×10 2ch ×100		排気口密閉
G-0	10	-	1ms	×100	-	荷室床上のみ
LR-0	11	-	1ms	×100	-	荷室床上のみ

*1 レンジ×10の時、測定できる最大加速度は10.5m/s²、×100の時は105 m/s²
1ch 左右方向 2ch 上下方向 3ch 前後方向
*2 ばね定数 約 10kN/mm（1個）
*3 ばね定数 約 9.5kN/mm（1本）

3.4. 測定装置仕様

（1）振動ピックアップ［リオン製：PV-93型］
（2）振動計ユニット　［リオン製：UV-05A型］
（3）データレコーダー[キーエンス製：NR-2000]

4. 測定結果と考察

4.1. 加速度最大値

加速度の最大値一覧を表2に示す。

4.2. 考察

①スライドの効果は確認できなかった。
②ワイヤーロープ防振器は上下・水平方向ともに防振効果を発揮した。しかしより効果を発揮するためにはたわみを大きくとらなければならず、復元力に不安を感じる。
③シリコン系防振材は、上下方向には防振効果を発揮したが水平方向にはほとんど効果はなかった。
④上下方向に着目すると、ワイヤーロープ防振器は45Hz以上、シリコン系防振材75Hz以上の周波数の振動に対して防振効果を発揮し、シリコン系防振材のほうが効果は高かった。

5. おわりに

美術品輸送車における防振パレットを開発する目的で最適な防振材を探る目的で振動測定試験を行った。防振パレットの性能確認をおこないその基礎データが得られた。現在、このデータを開発資料として文化財用免震パレットの開発を行っている。今後は早期の実装を目標に開発を進めていく予定である。

表 2 加速度最大値一覧

測定番号	付図	左右方向		上下方向		前後方向	
		荷室床上	パレット上	荷室床上	パレット上	荷室床上	パレット上
E-0	1	(10.50)	6.10	(10.50)	9.16	6.44	3.67
E-1	2	(10.50)	4.90	(10.50)	8.75	5.41	2.67
E-2	3	11.03	3.24	19.34	7.24	4.20	3.10
T-0	4	(10.50)	(10.50)	17.62	7.46	4.51	3.23
T-1	5	(10.50)	7.95	19.73	9.72	5.79	4.66
T-2	6	9.79	8.01	19.00	8.00	5.17	3.57
T-3	7	9.80	7.07	17.40	11.21	6.92	4.23
T-4	8	(10.50)	7.50	20.09	9.02	4.22	3.63
T-5	9	(10.50)	9.53	16.77	9.16	7.26	3.30
G-0	10	26.4		17.57		14.17	
LR-0	11	左	右	左	右	左	右
		20.87	17.17	23.75	20.64	12.87	10.10

単位　m/s²

＊　(10.50)：オーバーレンジ

P−144

展示ケース内装用シートの透湿特性

宮野則彦（日本大学）

1．まえがき

博物館等における保存及び展示用ケースは、対象となる文化財の安全で良好な展示環境を実現するために、その材料、形態及び機能面等で、さまざまな改善が進められてきている。

本報では、調湿建材を展示ケースの壁面等に施工する場合の内装仕上げ用シート類の透湿特性について測定した結果を報告する。

今回の測定では、現在広く使用されている壁装材料の中から、代表的な４種類のシート状材料のグループを対象としたが、今後は更に別種素材によるシート状材料や表面塗装用材料についても測定対象を広げたいと考えている。

2．測定材料及び測定方法

今回測定対象とした材料は全て建築用壁装材料で、天然繊維織物製品及び化学繊維織物製品の他に、現在最も多く使用されている塩化ビニル樹脂系製品（特殊加工品）を加えた。

測定試料は、全て裏紙を貼ったままの状態で、23℃、60%の恒温恒湿室内で養生した後に測定した。

今回使用した透湿特性の測定方法は、ISO12572［ Hygrothermal performance of building materials and products−Determination of water vapour transmission properties］ に準拠したカップ法で、測定結果に基づいて透湿抵抗値を算定する方法を採った。

試料の透湿面積は80mm×80mm（0.0064m²）で、カップ内吸湿剤には$MgCl_2$を使用し、恒温恒湿室内で下向湿流によって測定した。

3．測定結果の解析と検討

表１に測定結果の一覧を示す。

表には、試料の全厚、面密度、終了時の１時間当たりの透湿量、透湿抵抗値の算定結果及び透湿率値を併記した。

ただし、試料は全て裏面紙に糊付けされた複合材料としての状態による測定結果で、表中の透湿率値についてはあくまで参考値に過ぎないので、一般的な慣例に倣って相当の文字を付した。

なお、透湿抵抗値についても、これらのシートが調湿建材の表面に施工される場合の工法によっても大きく異なるため、今後はこの点についても検討したいと考えている。

図１及び図２に、シートの厚さ及び面密度と透湿量の関係を示す。

表１　展示ケース内装用各種シート類の透湿特性

No.	符号	d	ρ	G	Z	δ(×10⁻⁴)	備　　考
1	□	1.1	0.758	0.023	1.58	6.9	塩化ビニル（メリヤス）
2	△	0.8	0.301	0.023	1.58	5.1	レーヨン
3	△	0.8	0.299	0.022	1.65	4.8	レーヨン
4	△	0.8	0.306	0.021	1.73	4.5	レーヨン
5	△	0.8	0.309	0.022	1.65	4.8	レーヨン
6	●	1.2	0.438	0.017	2.14	5.7	アクリル・ポリエステル
7	●	1.2	0.438	0.023	1.58	7.6	アクリル・ポリエステル
8	△	0.8	0.341	0.019	1.92	4.0	レーヨン
9	△	0.8	0.341	0.017	2.14	3.6	レーヨン
10	▲	0.6	0.251	0.027	1.35	4.6	レーヨン（特殊加工品）
11	▲	0.6	0.244	0.028	1.30	4.8	レーヨン（特殊加工品）
12	×	0.5	0.272	0.006	6.07	0.9	塩化ビニル（特殊加工品）
13	×	0.5	0.262	0.007	5.20	1.0	塩化ビニル（特殊加工品）
14	×	0.3	0.370	0.009	4.04	0.7	塩化ビニル（特殊加工品）
15	×	0.4	0.366	0.010	3.64	1.0	塩化ビニル（特殊加工品）
16	○	0.5	0.169	0.069	0.53	8.7	麻繊維
17	○	0.5	0.173	0.068	0.54	8.3	麻繊維
18	○	0.5	0.199	0.055	0.66	8.2	麻繊維
19	○	0.5	0.182	0.053	0.69	7.0	麻繊維
20	○	0.5	0.197	0.063	0.57	8.6	麻繊維
21	○	0.5	0.201	0.064	0.57	9.3	麻繊維

註）d：材料厚（mm）、ρ：面密度（g/m²）、G：透湿量（g/h）、Z：透湿抵抗（m²h mmHg/g）
δ：相当透湿率（g/m h mmHg）

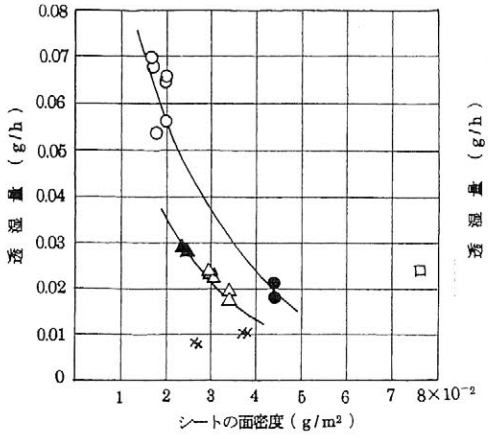


図2　展示ケース内装用各種シート類の面密度と透湿量の関係

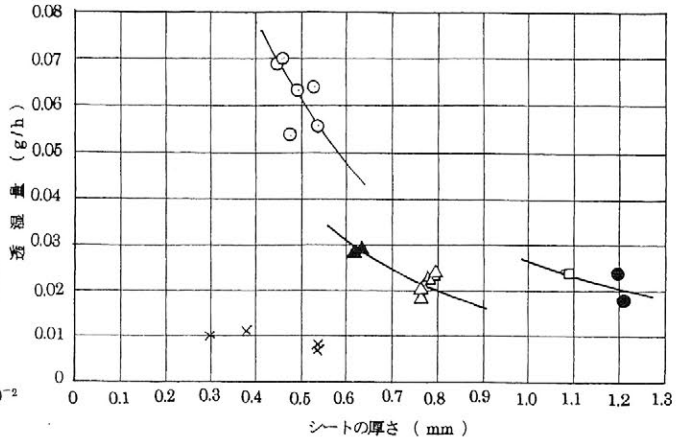


図1　展示ケース内装用各種シート類の材料厚と透湿量の関係

天然繊維としての麻による試料の透湿量が人工繊維に比べて約3倍程度の透湿量となっている。

図3及び図4に、シートの厚さ及び面密度と透湿抵抗値の関係を示す。

全ての試料の透湿抵抗値について、厚さ及び面密度との直線的相関関係がうかがわれる。

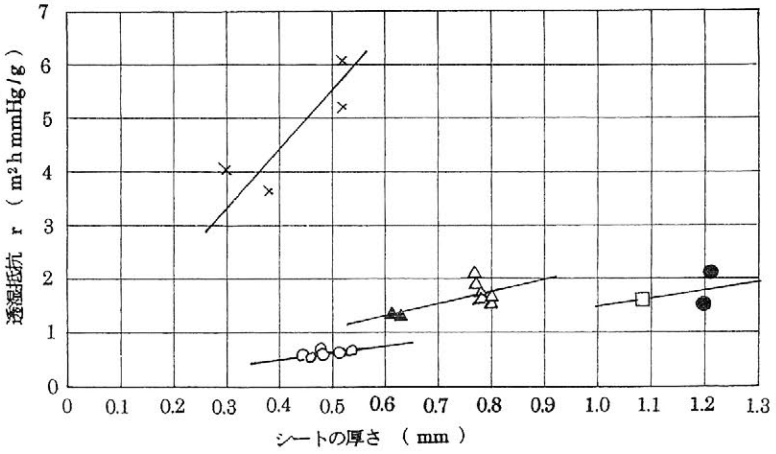


図3　展示ケース内装用各種シート類の材料厚と透湿抵抗の関係

4．むすび

一般的な建築用壁装材料の透湿特性について測定した結果を報告した。

今後は、更に多くの展示ケースの内装用シート類について測定調査を進め、接着工法や塗装仕上による透湿特性についても順次解明したいと考えている。

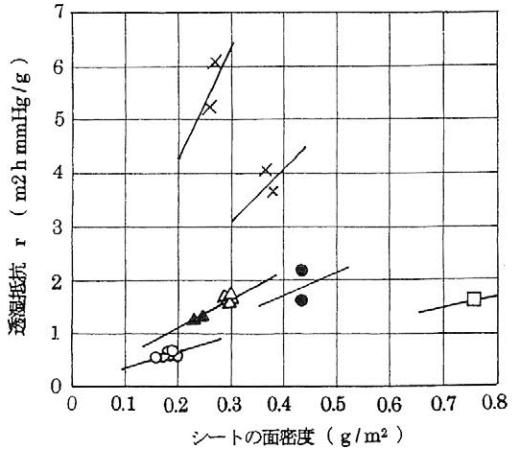


図4　展示ケース内装用各種シート類の面密度と透湿抵抗の関係

伝統的祭服の収納保存ケースとその性能　第2報

—(財)神山復生病院復生記念館において—

○　武田昭子（昭和女子大学）、小嶋康子（（財）神山復生病院）、宮野秋彦（名古屋工業大学）

1．まえがき

前報　に続き、復生記念館に伝承されてきた、宗教的祝祭事の際に司祭者が身に着けた歴史的文化財としての祭服の保存及び展示環境の改善を目的とした調査研究の結果を報告する。

従来、祭服は茶箱に収納されて今日まで保存されてきたが、保存環境の一層の改善を図るために、中性特別紙による二重ダンボールで構成された保存ケースに収納し、更に、これを今回、記念館内に設置した収蔵庫内　で保存することとした。

本報では、収蔵庫内への移動の前に、収納保存ケース自体の特性調査と、ビニールシート製展示ケースの特性を検討するために行った調査解析結果について報告する。

2．調査解析結果の検討

図1及び図2に、保存ケース内外の月平均温湿度及び温湿度差の年変化を示す。

図1から、この地域は富士山麓に位置するため、外気の相対湿度が年間を通じて常に80%から90%の湿潤した環境下に置かれていることが分かる。そうした過酷な気候風土の下で、ハンセン病関係の貴重な資料が今日まで無事保存されてきたことは稀有のことであるが、本調査研究の目的は、これを更に確実なものとするために保存環境の一層の改善を図ることにある。なお、この建物はコロニアル様式による木造建築で、収納ケースを置いた部屋は年間を通じて冷暖房を行なっていないため、内外温湿度変化は平行状態となっている。

図2は、収納箱内外の温湿度差の年変化を示したもので、収納箱内は僅かながら室内より温湿度共に低くなっていることが分かる。

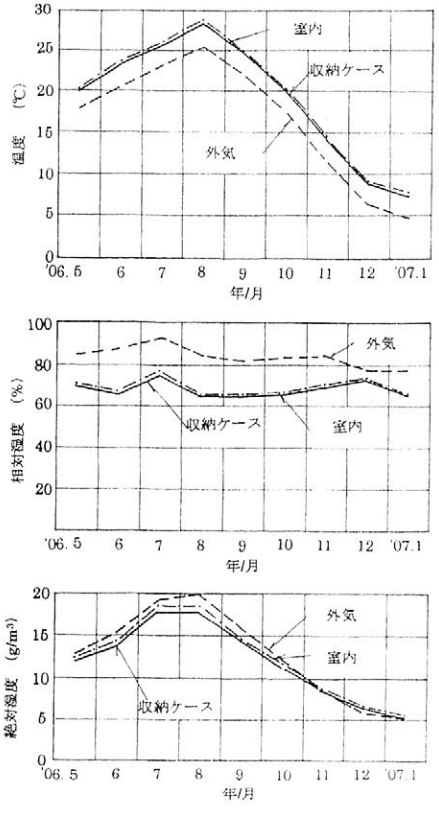


図1　祭服収納保存ケースの内外温湿度
（中性紙二重ダンボール製．祭服収納状態）

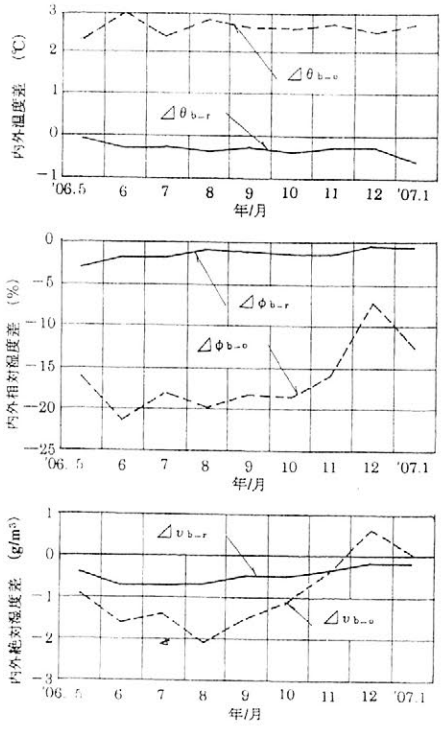


図2　祭服収納保存ケース内外の温湿度差
（中性紙二重ダンボール製．祭服収納状態）

図３と図４は、ビニールシート製展示ケースと収納保存ケースの内部相対湿度と外気の相対湿度の相関を比較するために掲げた。両図は、共に内部に祭服を収納した状態での測定結果である。

外気との相関であるため、結果は両図共にかなり散乱しているが、ビニールシート製展示ケース内の相対湿度が 36%～87%の範囲に散乱しているのに対して、収納ケースでは 50%～87%と縮小され、散乱の程度も全体的に小さくなっていることが分かる。

同様に、図５と図６から、従来収納されてきた茶箱と今回の収納保存ケースの内部相対湿度と室内の相対湿度の相関を比較することができる。

今回の測定では、茶箱の方は空箱の状態であったため、測定結果の散乱がやや大きいが、内部の相対湿度の年変化範囲は両者ともに 56%～83%となっている。

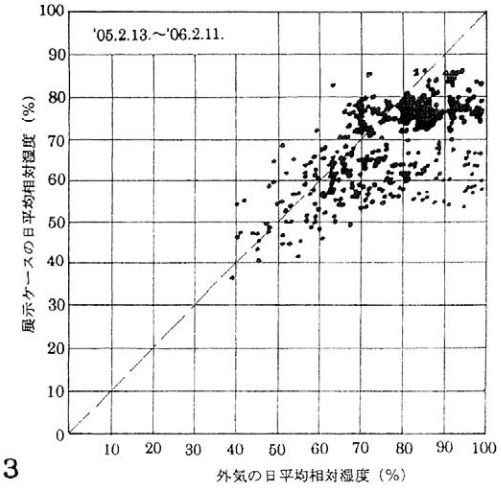


図３
祭服展示ケースと外気の相対湿度の相関
（ビニールシート製ハンガー．祭服展示状態）

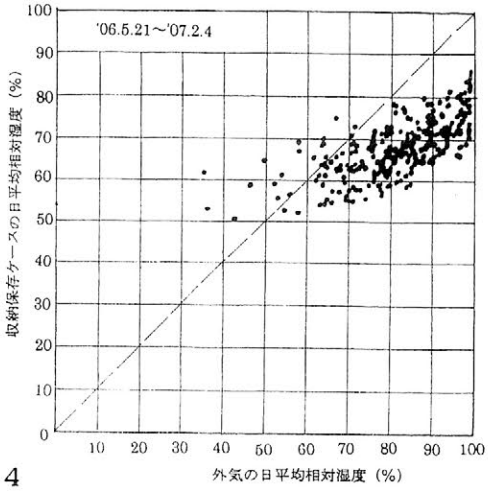


図４
祭服収納保存ケースと外気の相対湿度相関
（中性紙二重ダンボール製．祭服収納状態）

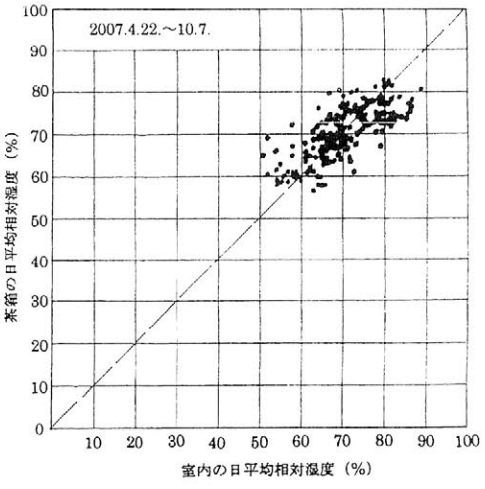


図５　茶箱と室内の相対湿度の相関
（木製内部亜鉛鍍金鉄板貼り．空箱）

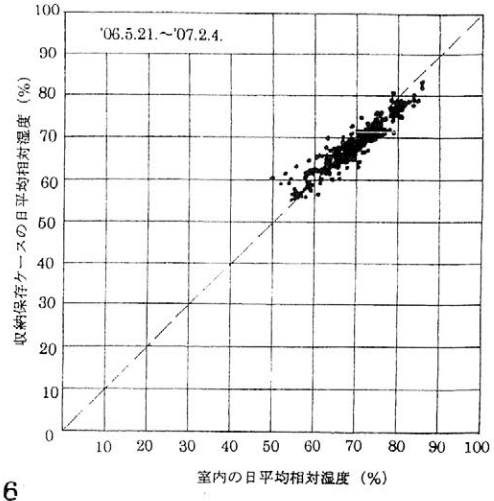


図６
祭服収納保存ケースと室内の相対湿度相関
（中性紙二重ダンボール製．祭服収納状態）

３．むすび

収蔵庫に収納する前の基礎的調査として行った中性特殊紙による二重段ボール製収納保存ケースの温湿度特性を中心として報告した。次回には、収蔵庫内に収納した場合の測定結果を報告する。

調査測定にあたり、終始格別のご協力を頂いている森下裕子氏に心より厚く御礼申し上げる。

ハンセン病施設における関連資料の保存環境に関する研究（その1）

―菊池恵楓園社会交流会館収蔵庫について―

○ 宮野秋彦（名古屋工業大学）、武田昭子（昭和女子大学）、野上玲子(菊池恵楓園)、
安陪愛（熊本大学）、古閑誠（菊池恵楓園）

1．まえがき

この調査研究は、(財)トヨタ財団による2005年度研究助成を受けて「ハンセン病関連資料整備・保存活用研究会」（代表者　宮野秋彦）において行ったものの一部で、本報では熊本県菊池郡の国立療養所菊池恵楓園の社会交流会館内の収蔵庫について、全面改修以来、現在までの温湿度環境の推移について報告する。

2．菊池恵楓園社会交流会館収蔵庫の温湿度環境の調査解析結果とその検討

図1に、全面改修工事完了以来最近までの収蔵庫内外の温度及び相対湿度と、それに基づいて算定した絶対湿度の月平均値の経年変化を示す。

図より、収蔵庫内の温度は外気より全期間を通じて平均4.5℃高く、相対湿度は平均約15%程度外気より低くなっていることが分かる。

一方、絶対湿度は、8月から10月にかけて収蔵庫内が高湿となっている。これは改修工事の際の躯体内残留水分の夏季の温度上昇に伴う蒸れ返し現象によるものと考えられる。

図2に、収蔵庫内外の温度差及び湿度差の月平均値の経年変化を掲げた。

図より、夏季の相対湿度と絶対湿度の急激な増加と、それ以降の躯体内水分の減少に伴う秋から冬にかけての急激な内外温度差の増加現象にも、躯体内水分の移動による影響を見ることができる。

収蔵庫内の温湿度の日較差は、温度が1℃以下、相対湿度も1%以下で、極めて安定している。

図3及び図4に夏季と冬季の晴天日における測定例を掲げた。両図とも、一日を通じて、収蔵庫内の温度及び絶対湿度が外気より著しく高くな

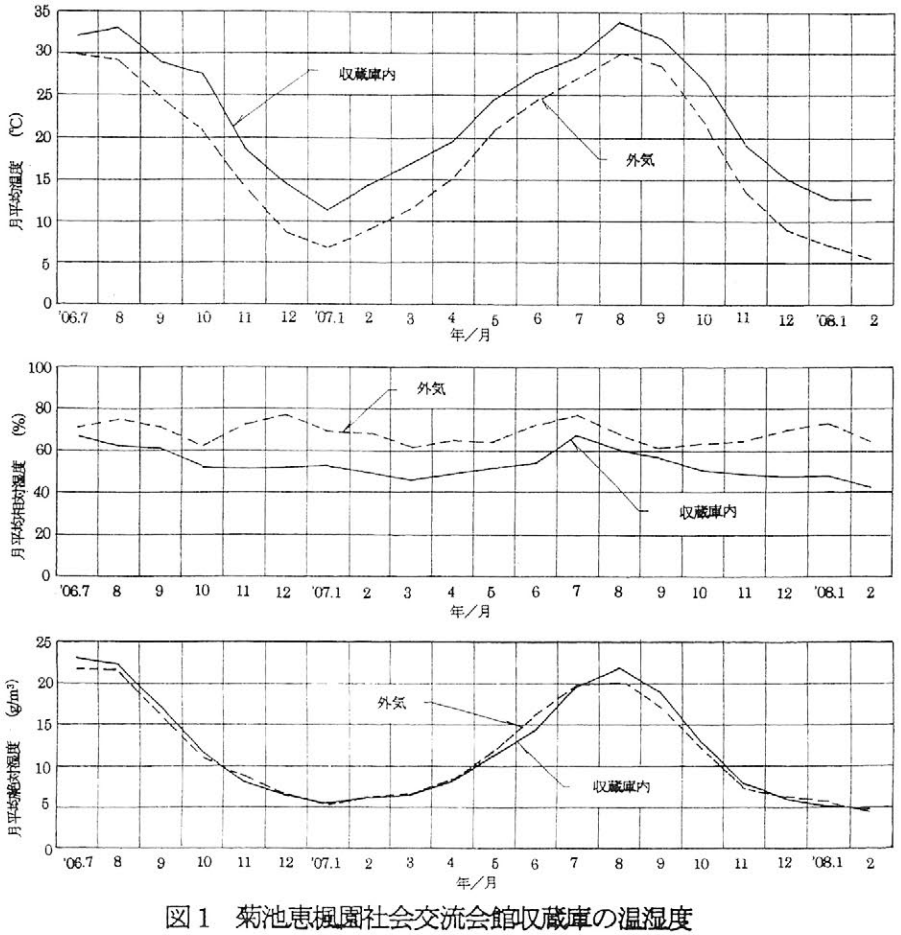


図1　菊池恵楓園社会交流会館収蔵庫の温湿度

っている点が注目される。

現在の蒸れ返し現象は一両年で終わるものと考えられるが、以上の解析結果から明らかなように、収蔵庫の上部屋根面の日射断熱対策を図ることにより更に一層の保存環境の改善が期待される。

現在の蒸れ返し現象は一両年で終わるものと考えられるが、以上の解

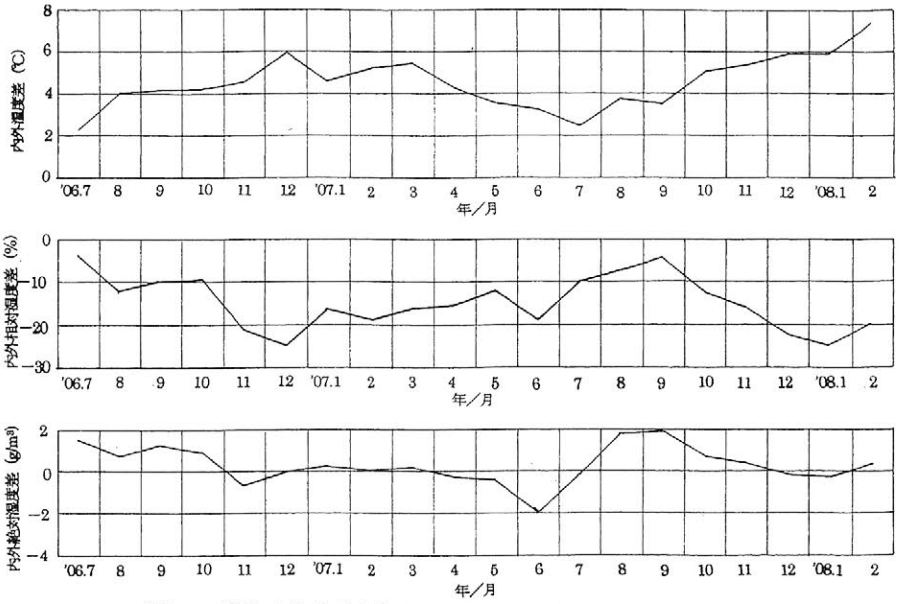
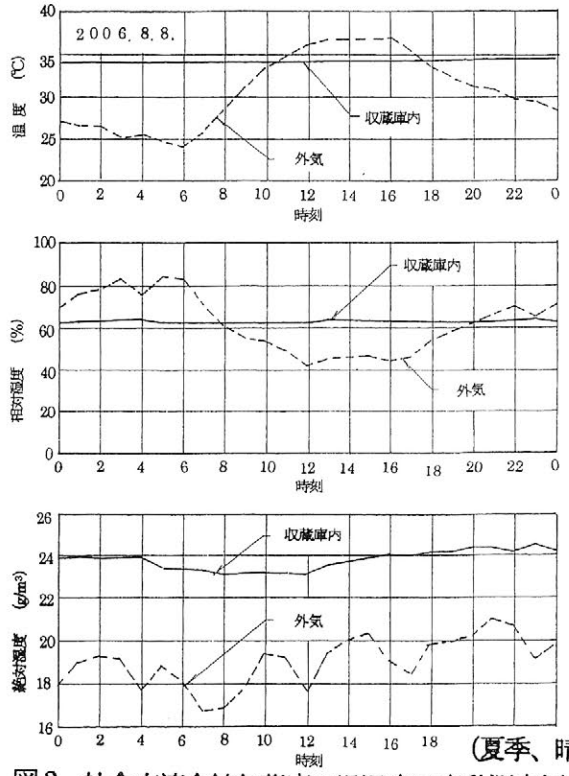
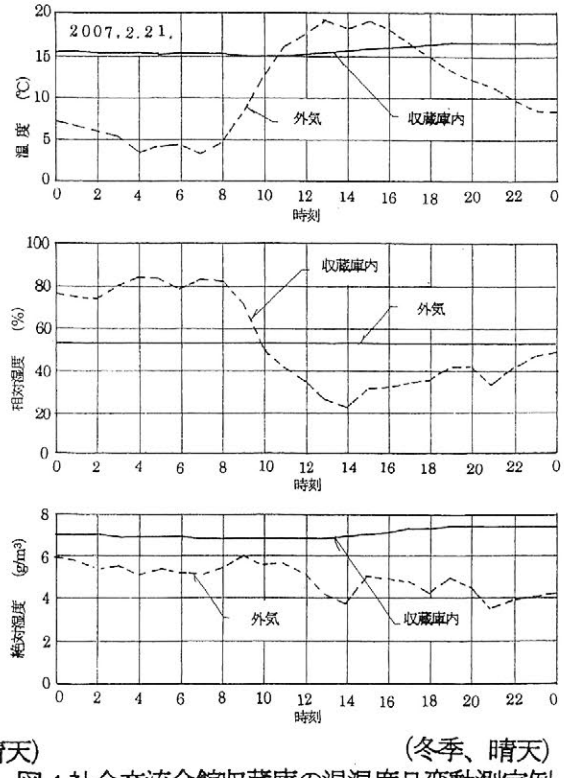


図2　菊池恵楓園社会交流会館収蔵庫内外の温湿度差



(夏季、晴天)



(冬季、晴天)

図3　社会交流会館収蔵庫の温湿度日変動測定例　図4 社会交流会館収蔵庫の温湿度日変動測定例

析結果から明らかなように、収蔵庫の上部屋根面の日射断熱対策を図ることにより更に一層の保存環境の改善が期待される。

3．謝辞

(財) トヨタ財団を始めとして、この度の調査研究にあたり格別のご援助並びにご協力を賜った関係各位に心より厚く御礼申し上げる。

[1]：宮野秋彦、武田昭子、田村朋久：ハンセン病施設における関連資料の保存環境に関する研究（その2）、―長島愛生園神谷書庫の内部温湿度環境調査結果―日本文化財科学会第25回大会、2008.6.

ハンセン病施設における関連資料の保存環境に関する研究(その 2)

―長島愛生園神谷書庫の内部温湿度環境調査結果―

○ 宮野秋彦（名古屋工業大学）、武田昭子（昭和女子大学）、田村朋久（長島愛生園）

1．まえがき

この調査研究は、(財)トヨタ財団による 2005 年度研究助成を受けて「ハンセン病関連資料整備・保存活用研究会」(代表者　宮野秋彦) において行ったものの一部で、本報では岡山県の国立療養所長島愛生園地内にある神谷書庫の内部温湿度環境について現状調査の結果を報告する。

神谷書庫は、ハンセン病に尽くした精神科医長の神谷美恵子博士の遺族よりの寄付を元に、園内に建設された RC 造平屋建ての書庫で、内部には自筆の原稿を始め、ハンセン病関連の貴重な資料が収蔵されていて、資料の閲覧、調査を希望する多くの人々に利用されている。

長島は瀬戸内に位置し、比較的温暖な気候に恵まれてはいるが、大気湿度の日較差が年間を通じて約 70% (30%～100%) と極めて大きいため、文書等の紙質資料の保存には万全の対策が必要である。

2．調査解析結果の検討

図 1 に、神谷書庫内外の月平均温湿度の年変化を示す。

書庫内外の気温は年間を通じて略平行して変化しており、その差は測定期間の平均で 2.7℃となっている。相対湿度も、同様に平行に変動しており、室内と外気の差は平均約 10%である。

一方、内外絶対湿度の間には大きな違いは見られないが、7 月から 10 月にかけて書庫内がやや高くなっている。

図 2 に、書庫内外の温湿度差の年変化を示す。

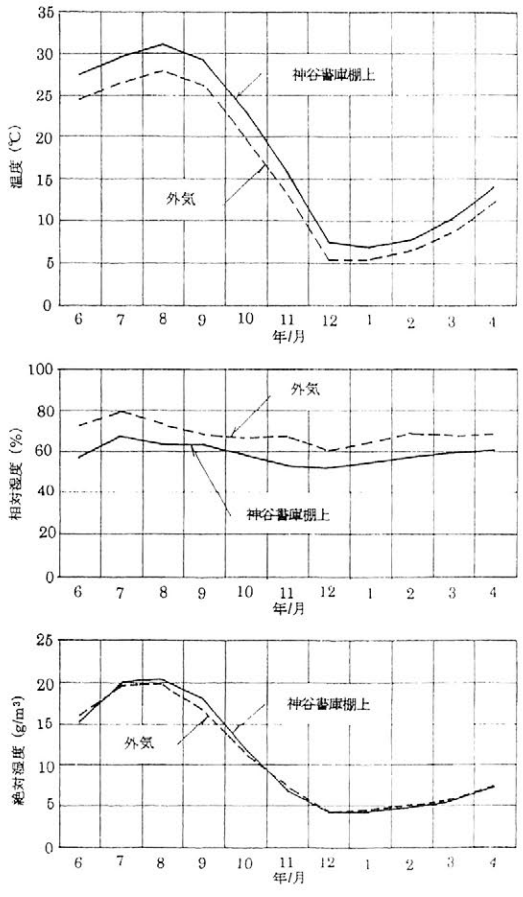


図 1　長島愛生園神谷　庫の内外温湿度

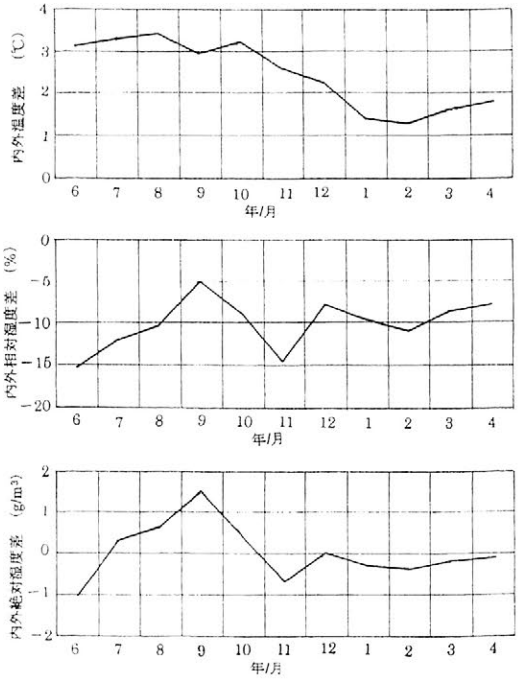


図 2　長島愛生園神谷　庫の内外温湿度差

図の絶対湿度差の年変化の結果から判断すると、書庫内の相対湿度が、内部気温の大きな年変動にもかかわらず年間を通じて略60%に保たれているのは、建物自体の断熱及び調湿効果では無く、庫内に収納されている資料自体からの吸放湿によるものと考えられる。

神谷書庫の保存環境の改善を図るには、この点に充分留意して改修計画を考える必要がある。

図3、図4に夏季及び冬季の　表的な晴天日の測定例を示す。夏季における庫内の絶対湿度が、外気のそれより大きくなっている点が注目される。

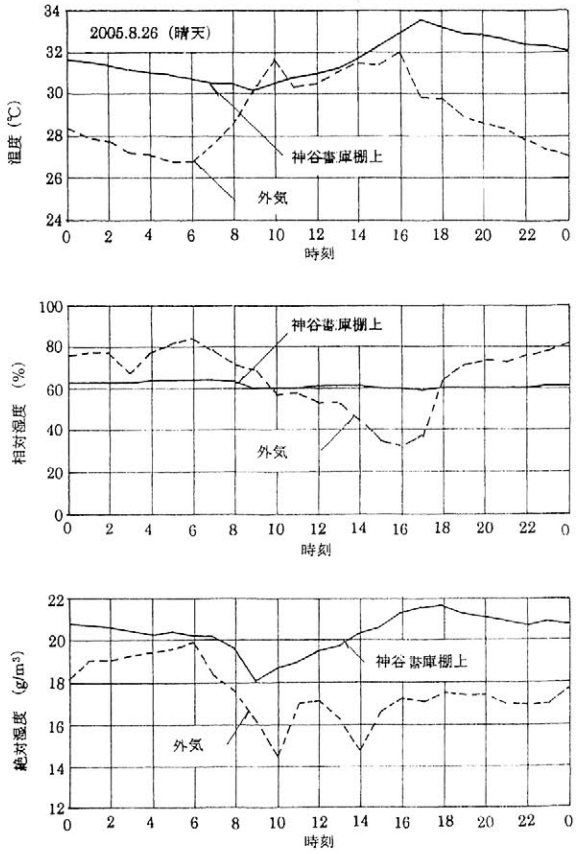


図3　夏季の測定結果の一例（晴天日）

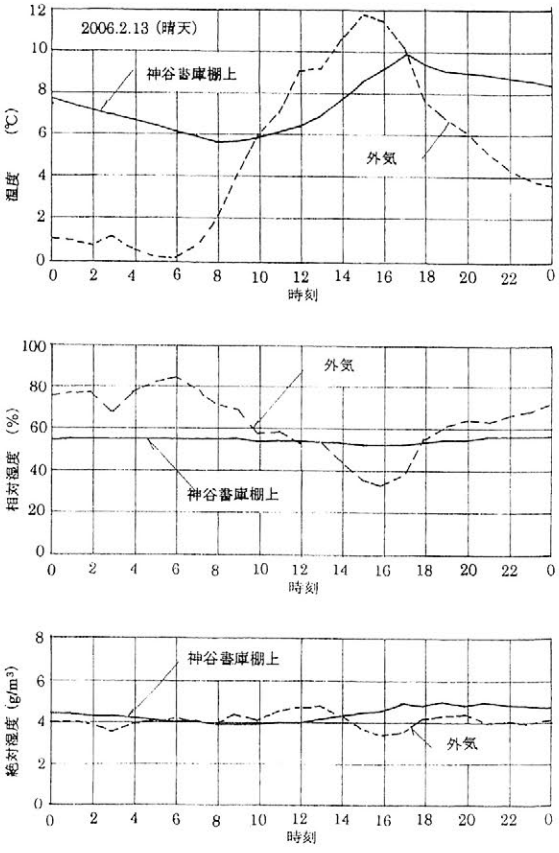


図4　冬季の測定結果の一例（晴天日）

3．むすび

前報に続き、本報では神谷書庫の温湿度環境の現状について報告した。

書庫の建物躯体は、RC 造であるため気密度の点では問題は無く、耐火、断熱性能を兼ね備えた調湿建材（厚25mm程度）を天井及び内壁に施工し、窓面には日射断熱処置を施す等の対策によって書庫内部の温湿度に係る保存環境の改善を図ることができるものと考える。

P－148

京都府普賢寺の基壇を対象とした探査研究

○岸田徹・津村宏臣（同志社大学文化情報学部）・若林邦彦
（同志社大学歴史資料館）・置田雅昭（天理大学文学部）

1．はじめに

京都府京田辺市普賢寺下大門に所在する大御堂観音寺（図1）は，古代・中世には普賢寺と呼ばれ，天平期に製作された木芯乾漆十一面観音像（国宝）が安置されている。普賢寺の正確な建立年代は定かではないが，奈良時代以前，綴喜郡を拠点としていた古代氏族息長氏により造営されたと考えられている。

現在の観音寺本堂西側の丘陵上には，7・8世紀の瓦が散乱している。瓦が集中する高まりの最高部には，塔心礎とみられる礎石が現存しており（図2），この高まりは古代普賢寺の塔基壇と考えられている。また，大量の瓦が分布していることから，「瓦積基壇」の可能性が指摘されている。しかし，詳細な記録がなく，発掘調査も行われていないため，その様相については明らかになっていない。

そこで我々は，古代普賢寺の基壇跡において，地中レーダ探査と磁気探査を行い，基壇の内部構造を非破壊で探り，瓦積基壇の可能性を検討した。

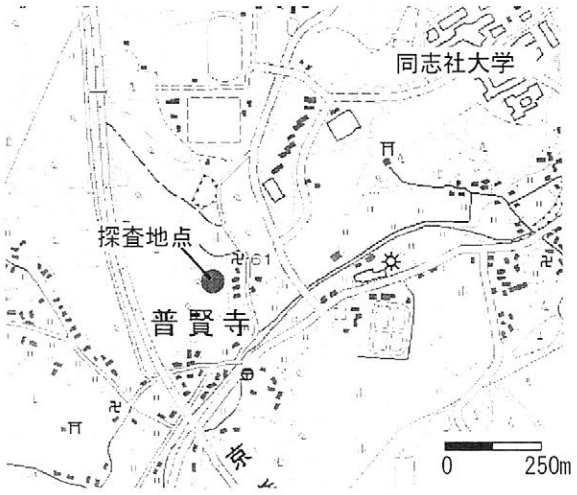


図1　探査地点

図2　現存する塔心礎

2．探査の概要

探査は2008年2月と5月に実施した。探査に使用した装置はラトビア共和国Radar System Inc.社製Georadar “Zond-12e” である。中心周波数500MHzのアンテナを用いた。磁気探査は天理大学所有の英国Bartington社製Grad601を用いた。基壇上は樹木が生い茂り，等間隔に平行な測線を設定することは困難であった。そのためレーザーレンジファインダー（LRF）を使用し，任意に設定した測線の始点 - 終点座標をその場で計測しながら探査を行った。

3．探査結果

地中レーダ探査では，地表面観察による瓦の分布範囲に対応して，落ち込みを示す構造が認められた（図3）。この様な構造は，基壇上でもあまり瓦の分布しない範囲では認められなかった。つまり，瓦は，基壇周縁部に部分的に堆積しており，基壇全体が瓦積である可能性は低いと考えられた。

同時に行った磁気探査の結果では，基壇上と基壇外で磁気異常値の顕著な変化は見られない（図

4)。LINE-A において，僅かながら異常が認められた 0～3m，9～12m 付近は，瓦が地表に密に分布している範囲であった。磁気探査の結果も，基壇全体に瓦が分布している可能性が低いことを示しており，地中レーダ探査の結果と整合する。

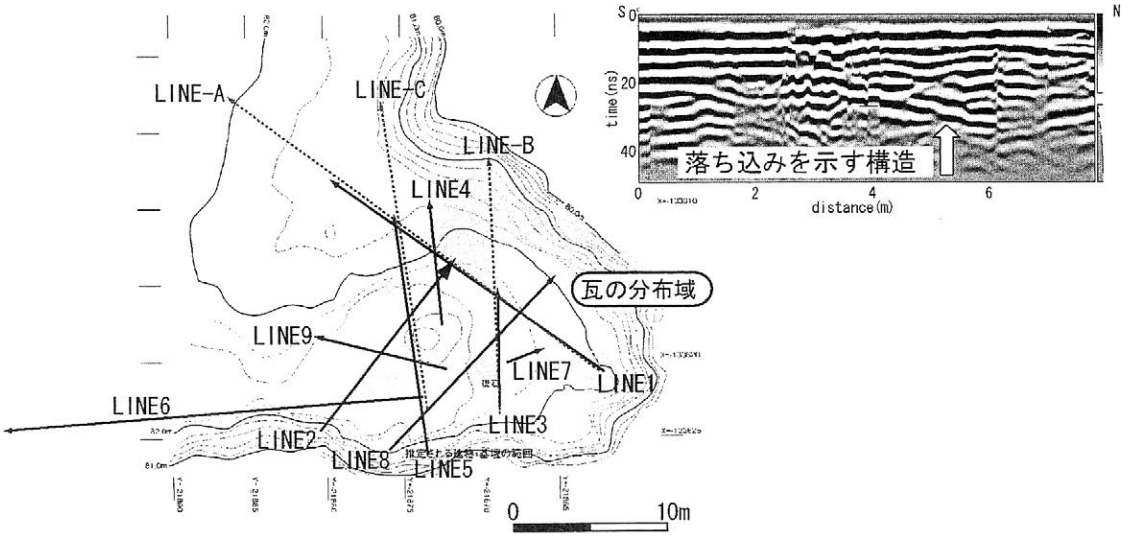


図3　LINE4におけるGPRプロファイル（右上）と測線位置及び瓦の分布範囲（左下）

4．おわりに

普賢寺の塔基壇と考えられる場所において，瓦積基壇の可能性を探るべく，地中レーダ探査と磁気探査を実施した。両探査とも異常を検出した箇所は，現地表で瓦が密に分布する基壇の周縁部のみであり，探査結果からは，瓦積基壇の可能性は低いと考えられる。

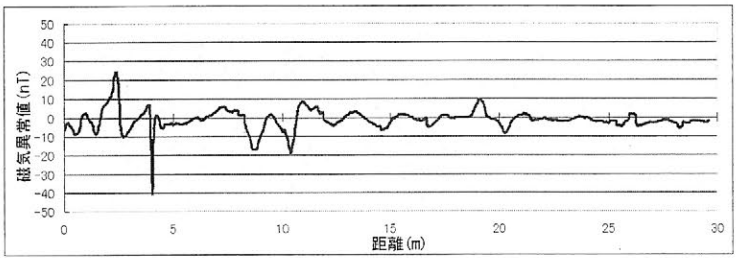


図4　LINE-Aにおける磁気異常の変化

瓦が基壇の周縁，特に北東部に大量に分布しているという事実は，建物が北東に倒壊し，放棄されたことを示唆していると考えられる。

本研究では地中レーダと磁気探査を併用して，瓦積基壇の可能性を探った。本成果により，探査は，瓦積基壇の非破壊の検討法として活用できると考える。

参考文献

・ 若林邦彦　2007「古代寺院普賢寺の建物・基壇跡について」同志社大学歴史資料館館報 10 pp.35-39　同志社大学歴史資料館

P−149

京都府下司古墳群７号墳における地中レーダ探査研究

○岸田徹*・津村宏臣*・辰己和弘**・中谷正和*・辻井祐***
(*同志社大学文化情報学部，**同志社大学歴史資料館，***㈱アイティーティー)

１．はじめに

同志社大学京田辺校地内に所在する下司古墳群（図１）は，丘陵斜面に築造された古墳群で，８基の古墳が確認されている（同志社大学校地学術調査委員会，1985)。造営時期は出土遺物より７世紀前半頃と考えられている。埋葬施設は，南側に開口した横穴式石室で，直径１０m前後の墳丘を築いている。

本古墳群は過去の盗掘や石材抜取りにより石室の露呈しているものもあり（図2)，また，７号墳を除く古墳は発掘調査が実施され，正確な位置や，その詳細が明らかにされている。７号墳は古墳群の保存計画の中で，現状のまま保存が決定された古墳であり，墳丘に１箇所設けた試掘トレンチにより石室西壁の一部が確認されている。

我々は，詳細が未だ不明な７号墳を対象として，非破壊で石室の規模，及びその位置を推定することを目的として地中レーダ探査を行った。

図1　下司古墳群の位置

図2　下司古墳群2号墳

２．探査の概要

探査は2008年２月と５月に実施した。探査に使用した装置はラトビア共和国 Radar System Inc.社製 Georadar “Zond-12e” である。中心周波数 500MHz のアンテナを用いた。

探査地は南に傾斜した急斜面であり，東西方向にアンテナを走査するのが困難であった。そのため，基本的には測線を南北方向に設定し，補足的に，東西方向の測線を設定することにした。また，探査地は詳細な

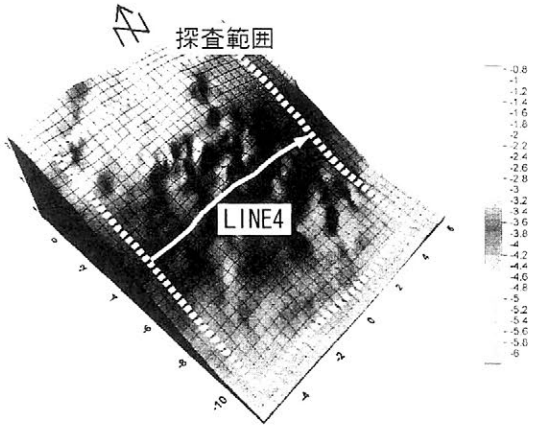


図3　レーザーレンジファインダで作成した地形図と探査範囲及び測線（LINE4）の位置

地形図が存在しないため，レーザーレンジファインダ（LRF）を用いて，探査と同時に探査地の地形図を作成し，探査結果と合わせて検討した（図3）。

3．探査結果

斜面の傾斜に直交する東西測線で得られたGPRプロファイル（図4）では深度約20ns（地表下約75cm）に強い異常応答が認められた。これは石室の石材を示すと考えられる。異常の大きさは幅約0.5mである。

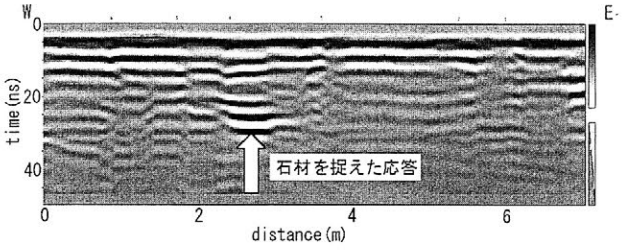


図4　LINE4におけるGPRプロファイル

次に，等深度での平面的な異常応答の変化を追うtime-slice図を作成し，石室の平面形状を検討することとした。深度28-33ns（地表下約1.05～1.24m）で解析したtime-slice図（図5）では探査区の北西に異常が認められる。異常の分布は，南北約5m，東西約1mで南やや東に長軸をとる長方形の範囲に集中している。

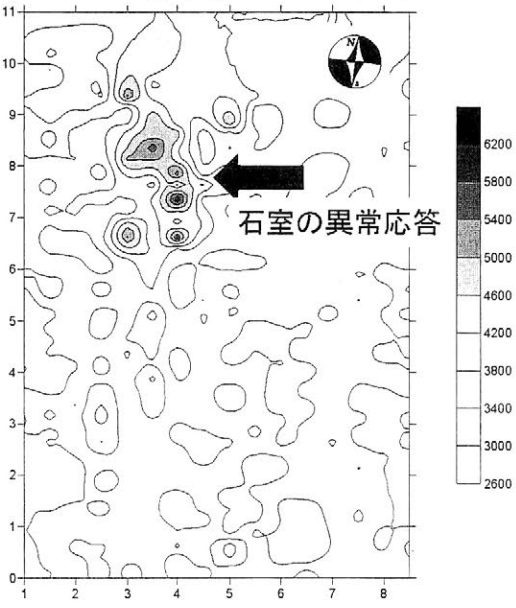


図5　time-slice図（深度28-33ns）

4．おわりに

下司古墳群7号墳を対象として，石室の位置，規模を推定する目的で地中レーダ探査を実施した。結果，幅約1m，長さ約5mの石室と考えられる異常応答が認められた。同古墳群では石室の石材が多数抜かれている古墳も存在しており，探査結果が実際の石室形状を示していない可能性もある。しかし，過去の試掘調査からは同古墳群5号墳（全長3.5m，最大幅1.15m）と同程度の規模と推定されており，探査結果は妥当なものと考えられる。

下司古墳群の様に，短期間に集中的に造営された古墳群は，一時期の地域社会を研究・復元する上で非常に重要な資料である。この様な群集墳の位置，規模，分布状況を調査研究する上で，広範囲を迅速に調査できる探査は非常に有用な方法であると考える。

参考文献

- 岸田 徹・酒井英男　2007「地中レーダ探査による古墳の研究－削平された古墳の復元・盛土量の推定」考古学と自然科学　55　pp. 45-59　日本文化財科学会
- 岸田　徹・福富雅男・酒井英男　2006「地中レーダ探査による徳島県渋野丸山古墳の規模と主体部の研究」渋野丸山古墳発掘調査報告書　pp. 53-58　徳島県教育委員会
- 同志社大学校地学術調査委員会　1985『下司古墳群』同志社大学校地学術調査委員会

P－150

ハンディ型光学顕微鏡を使った微小領域の彩色材料可視反射分光分析

東京文化財研究所　保存修復科学センター
吉　田　直　人

１．概要

“可視反射分光法”は、可視光の反射特性から彩色材料の特定につながる情報を非破壊・非接触的に得る分析法として、文化財研究に広く応用されている。この分析に用いる装置は、積分球付卓上型分光光度計や、ファイバー型分光光度計であるが、測定可能な資料の大きさはプローブ光の照射領域に依存し、またその領域では同一の彩色でなければ分析が困難になるという制約がある。この問題を克服するために、顕微鏡と組み合わせることにより、小さな領域の分析を行う“顕微反射分光法”も用いられており、筆者も前年度の大会において、卓上型光学顕微鏡での試みについて発表した。この方法が有効であることは確かめられたが、比較的大型の顕微鏡であるため、取回しが不便なこと、また、ステージに置ける資料に対象が限られるなどの欠点があった。今回は、これらの欠点を解消するための方策として、片手で持つことが出来、さらに光源を選ばないハンディ型の光学顕微鏡での顕微反射分光分析の可否について検討を行ったこれまでの結果について報告を行う。

２．測定システム（写真１）

・顕微鏡：PEAK 社 WIDE STAND MICROSCOPE No. 2054-100EIM（対物 10 倍、接眼部 10 倍）
・分光光度計：大塚電子　MCPD-7000
・制御用 PC

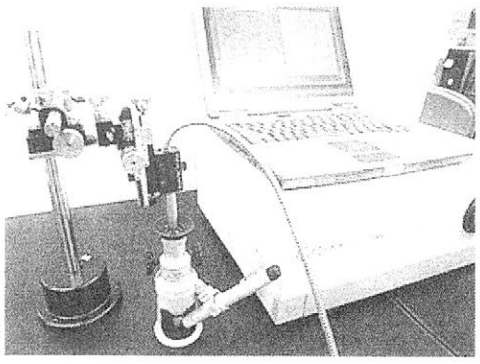


写真１．測定システム

光照射はペンライトにより、資料面に対し、約 45℃の照射角で行う。反射光は接眼レンズから石英製の光ファイバーを通して、分光光度計に送られる。

今回は、ハロゲン球および白色 LED のペンライトを用いた測定を試みた。それぞれの波長特性を図１に示す。ハロゲン球の発光は可視域全体に及ぶが、長波長側の発光がより強い。一方、白色 LED は青色 LED と蛍光物質を組み合わせたシングルチップ型であるため、青色と緑～黄色の波長帯に限定される。

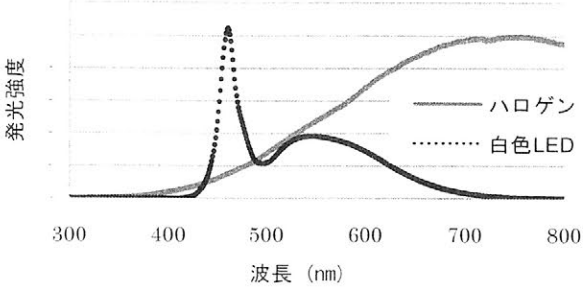


図1. 照射光源の波長特性

3．顕微反射スペクトル測定

この顕微鏡では、およそ直径 1.5 mm の領域についての拡大像が得られる。写真 2 は、雁皮紙に顔料（群青）および染料（梔子）で着色した試験片の拡大像写真である。顔料粒子や紙の繊維の様子がよく分かる程度の拡大率である。

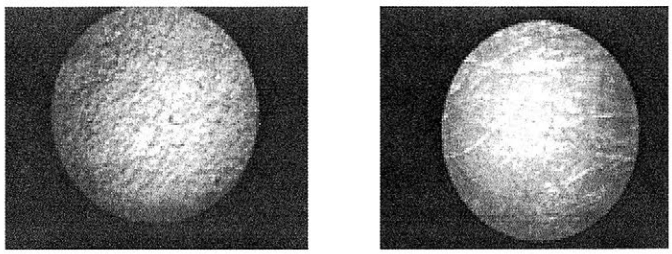


写真 2. 群青（左）および梔子（右）で着色した試験片（雁皮紙）の顕微鏡拡大写真（倍率 X100）

それぞれの試験片について、上記システムによる、ハロゲンおよび白色 LED を照射光源とした可視顕微反射スペクトル測定を試みた。まず、可視域全域で 100%近い反射率を持つテフロン性標準白色板で校正を行い、続いて、試験片のスペクトル測定を行った。測定時間は 100msec である。測定にあたっては焦点位置をそれぞれ合わせている。得られたスペクトルを図 2 に示す。

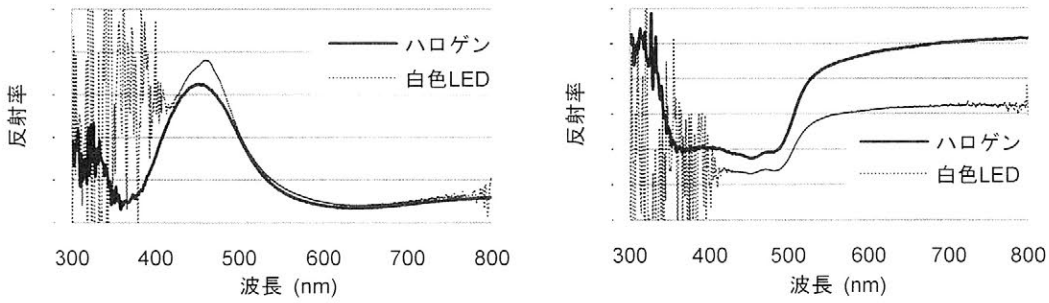


図 2. 上記試験片の顕微反射スペクトル　左：群青　右：梔子

光源によらず、ほぼ同一のスペクトルが得られたが、白色 LED を用いた場合、400nm 未満でノイズが著しく現れた。これは、シングルチップ型白色 LED がこの波長帯では全く発光を示さない青色 LED をベースとしているためである。400 nm 未満ではハロゲンランプの発光もごく微弱ではあるが、検出器の感度が高いため、可視域ではほぼ全域にわたり、ノイズの少ないスペクトルが得られている。従って、ハロゲンランプを照射光源とするほうが、特に短波長側の情報が重要な場合は有利であろう。

このハンディ型顕微鏡を使った反射分光スペクトル測定により、細かい彩色を行っている部位の材料分析に有用な情報を簡便に提供できるものと考えられる。本会ではこの他、染織品を想定した試験片での測定結果なども含めて、さらに考察を行う予定である。

この研究は、平成 19～20 年度科学研究費補助金若手（B）（課題番号 19700669）による成果の一部である。

帯磁率計を用いた被熱遺構の調査

○ 永濵功治，大久保浩二，内山伸明，森雄二，中村幸一郎，黒川忠広，上床真，西園勝彦
（鹿児島県立埋蔵文化財センター）

1 はじめに

南九州における縄文時代早期の炉穴（連穴土坑）は，桜島薩摩火山灰（12.8ka，^{14}C測定）上面において検出される場面が多く，埋土に遺物が含まれない場合，遺構としての判断材料は検出面での形状や埋土の特徴的なパミスなどの視覚的な情報に頼らざるを得ない。この桜島薩摩火山灰層を検出面として調査した炉穴内部の帯磁率を測定したところ，底面及び側壁の一部において周囲とは異なる高い数値が得られ，遺構内部で帯磁率値の変化する行為が行われたことが推察された。ここでは，炉穴を復元し燃焼実験を行い，温度や帯磁率値のデータを採取し，炉穴の使用状況について考察した。

2 炉穴（連穴土坑）について

鹿児島県における縄文時代早期該当の炉穴（連穴土坑）は早期前葉を中心に17遺跡，合計84基以上調査されており（図１），その分布域は県本土の中心～北東側（宮崎県側）で比較的多く検出されている。形態は小型土坑と大型土坑が隣接し，それぞれの土坑が内部でトンネル状に繋がるため橋状に残る部分（ブリッジ）が存在していたと思われるものが多い。ブリッジ下部（煙道部）の手前及びその側壁部付近を中心に焼土・赤色化が認められる事例が多い。鹿児島県曽於市建山遺跡の炉穴はブリッジ部分に該当する桜島薩摩火山灰が崩落し，底面に落ちていたが，底面及び側壁の一部に赤色化が認められ，周囲と比べ帯磁率値が高いという結果が得られた（図２，３）。

3 燃焼実験の方法と結果

被熱量を推定するため，炉穴を復元し，燃焼実験を行った。燃焼実験は建山遺跡とほぼ同じ火山灰及び土壌が確認できる鹿児島県曽於市大隅町で実施した。煙道部手前で薪を１回あたり２～３時間，合計３回燃焼させ，温度と帯磁率を測定した。帯磁率計は（株）田中地質コンサルタント製WSL-C，放射温度計は（株）カスタム製IR-302を使用した。

その結果，視覚的な特徴として，燃焼中は煙道部手前の側壁及びブリッジ部の白色化が確認され，燃焼後は煙道部手前の底面と側壁の一部に赤色化が確認された。燃焼中の薪の間の温度は530～630℃，側壁部分は130℃～230℃となり，燃焼後に赤色化が認められた。燃焼前の帯磁率値は30～50×10^{-5}(SI)であったが燃焼後に50～90×10^{-5}(SI)に増加した。特に煙道部手前左側での数値の変化が大きく現れた。（図４）

4 考察

鹿児島県曽於市大隅町において観察される火山灰層と帯磁率との関係を表１に示す。帯磁率値は火山灰や土壌に含まれる磁鉄鉱の量に比例し，各テフラにおける帯磁率値が含まれる磁鉄鉱量を表す。土壌中の水酸化鉄（FeO(OH)；ゲーサイト）は約250℃くらいの被熱により脱水され酸化鉄ヘマタイト（Fe_2O_3）が生成され赤色化が認められる。さらに炭による還元作用でマグネタイト(Fe_3O_4)に変化し帯磁率は増加する。今回の実験でも赤色化が認められ，帯磁率値は1.2～1.8倍程度増加した。建山遺跡の場合，推定される被熱部分が周囲と比較して約1.3倍高い。また，燃焼実験では煙道部手前の左側での数値の変化が大きかったことから，相対的に被熱量が大きかった可能性がある。これは風向きと遺構の軸方向との関係で被熱量に差が生じた可能性も考えられるが，今後データ数の増加を図り精度を高めていきたい。

【引用文献】
中原一成（2003）「鹿児島県の集石遺構と炉穴」『第 13 九州縄文研究会 九州縄文時代の集石遺構と炉穴』
町田洋・新井房夫（2003）「新編火山灰アトラス」東京大学出版会
森永速夫（2007）「土壌・岩石の磁気を利用した考古科学－被熱遺構探査」『地球電磁気・地球惑星圏学会第 122 回予稿集』

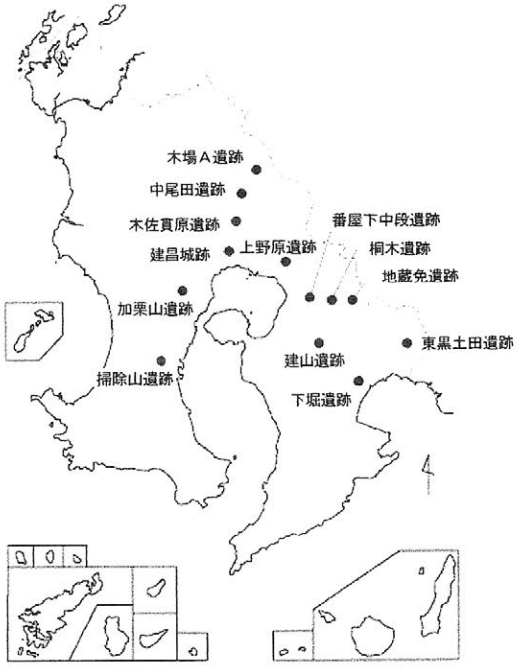


図１　鹿児島県内縄文早期炉穴検出遺跡位置図

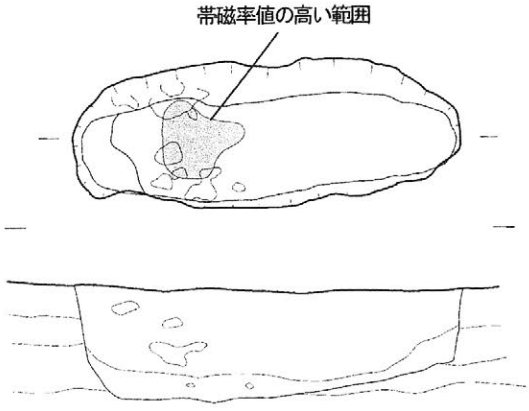


図２　建山遺跡検出炉穴実測図

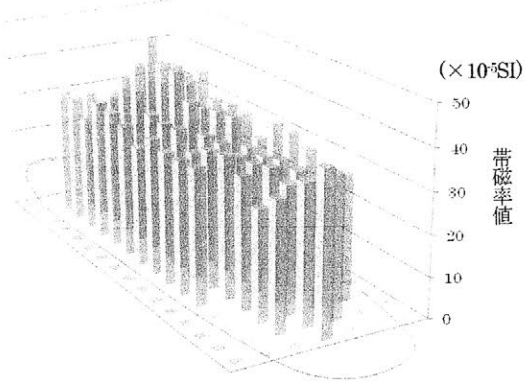


図３　建山遺跡検出炉穴帯磁率測定値

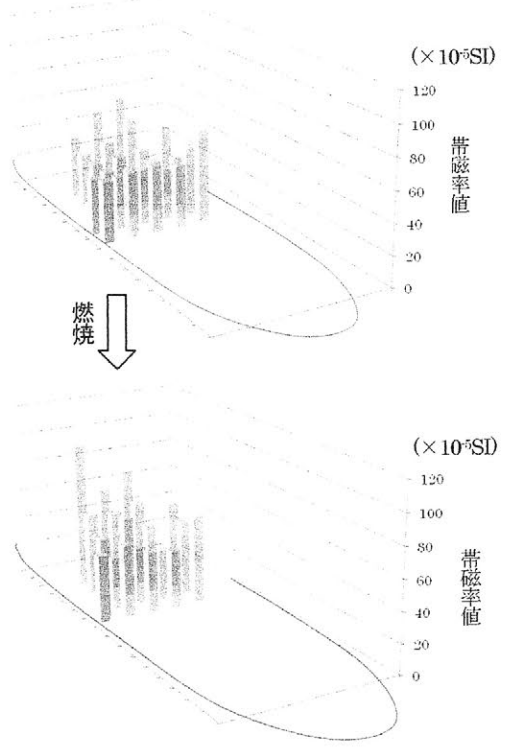


図４　復元炉穴燃焼部付近の帯磁率値
燃焼前（上），後（下）

表１　南九州の縄文時代以降の火山灰年代と帯磁率値

層	テフラ名	年代 (yrBP)	帯磁率測定値 (×10⁻⁵SI)
IVa			58
IVb	桜島 P7	5,000?	75
Va	アカホヤ二次		34
Vb	アカホヤ一次	7,300	68
VI			-
VII	桜島 P13	8,000	72
VIII			108
IX	桜島 P14	12,800	120
X上			79
X下			51
XI			30

P−152

ガラス質火山岩の比重による分類についての提案

○柴田　徹・長井雅史(明治大学文化財研究施設)・杉原重夫(明治大学地理学研究室)

1. 準備

考古遺物の原材料として多用されてきた、ガラス質な火山岩について比重を計測した。試料は肉眼観察では気泡など小孔の認められないガラス質な火山岩(日本国内の主だった産地の黒曜岩・下呂石・ガラス質溶結凝灰岩・サヌカイト・ガラス質安山岩など)約2000点とした。計測に要した用具は、最小計測単位0.01g・最大計測重量240gのデジタル上皿秤、プラスチック食品容器、水、釣り用テグスである。計測試料は装置の制約上、重量がおよそ3〜60gの範囲となるように選択、または整形した。測定手順は①試料の乾燥状態での重量(a)を測定する、②水(20℃)を入れたプラスチック容器を秤に載せ、風袋引き機能を使用し重量値を0にあわせる、③テグスにつるした試料を容器に触れない状態で完全に水中に沈め秤の重量値(b)を読む、④比重値(SG)＝a/bの式で求める。水温の違いによる水の体積変化や、テグスの重量や体積は無視した。比重値の測定再現性は0.01以下であった。

2. 計測結果の概要と提案

比重を計測した結果、従来「黒曜岩」と呼ばれることの多いガラス光沢や樹脂状光沢の明瞭な岩石は、比重の範囲は2.32〜2.52であった。無斑晶質で弱いガラス光沢が認められる岩石(いわゆる「サヌカイト」や「ガラス質安山岩」)は比重の範囲は2.40〜2.80であった。岩石組織の特徴からみて、内部に存在する気泡や割れ目はごく少ないとみられるため、真比重に近い値が得られたと考えられる。

次に、これまでに蛍光X線法の定量分析によって全岩化学組成が求められている試料について、比重値とSiO_2wt%値について相関関係の有無を検討した。従来知られているように、基本的な傾向としてSiO_2wt%が減少するほど比重の値は増加した。さらに、両要素の間にはほぼ直線的な負の相関関係が認められることも明らかとなった(図1)。全ての計測試料を一括した場合、次の式で近似できる。

$$SiO_2\ \mathrm{wt}\% = -49.5 \times SG + 192.6$$

この場合のSiO_2 wt%のばらつきの範囲は1σ=1.2である。つまり、ガラス質な火山岩では、完全な非破壊でかつ簡便な比重計測により、大まかではあるが基本的な構成成分であるSiO_2量の推定が可能である。

これまで計測した試料が日本国内における産出状況を反映しているとすると、組成によって産出頻度にやや偏りが認められ、比重2.39以下＆SiO_2=71.0 wt %以上の集中域(流紋岩領域1)、比重2.40〜2.45＆SiO_2=74.0〜71.0 wt %の散在域(流紋岩領域2)、比重2.45〜2.60＆SiO_2=71.0〜64.0wt%の散在域(デイサイト領域)、比重2.60〜2.80＆SiO_2=64.0〜58.0wt%の集中域(安山岩領域)に分かれる。

以上の結果をもとに、ガラス質な火山岩の、比重を基本とした岩石区分を提案する。

①比重2.39以下で、ガラス光沢が特に明瞭な岩石:「黒曜岩」(SiO_2 71.0 wt%以上)。

②2.40〜2.45で明瞭なガラス光沢もしくは弱いガラス光沢が認められる岩石:「ガラス質流紋岩」(SiO_2=74.0〜71.0wt%)。

③2.45〜2.60で明瞭な樹脂状光沢もしくは弱いガラス光沢が認められる岩石:「ガラス質デイサイト」(SiO_2=71.0〜64.0wt%)。なお、樹脂状光沢の明瞭な「ガラス質デイサイト」は溶結凝灰岩の組織をもつものが殆どである。

④比重2.60〜2.80で弱いガラス光沢が認められる岩石:「ガラス質安山岩(サヌカイトを含む)」(SiO_2=64.0〜58.0wt%)。

3. おわりに

比重は火成岩分類の基本であるSiO_2wt%をかなり敏感に反映していることが明らかとなった。ガラス質な火成岩の区分に比重を利用することを提案したい。岩石の化学組成を定量分析する機会は必ずしも多くはない。定量分析を行う前の予備分析として、比重計測結果を利用することも提案したい。

また、予備的な原産地推定にも利用できる可能性がある。たとえば、隠岐・九州地方の黒曜岩(図2)を見

ると、桑木津留は 2.33、白浜は 2.34、長谷・三船・大崎半島は 2.35、日東・星鹿半島・腰岳・姫島は 2.36、西小国は 2.35～2.36、嬉野は 2.37、隠岐は 2.37～2.39、針尾島・淀姫・壱岐は 2.38 付近に主な分布域が存在する。溶結凝灰岩である上牛鼻は 2.48～2.50、阿蘇象ヶ鼻は 2.52 前後に分布域がある。今後、蛍光 X 線分析などで原産地分析された遺物についても比重計測を行い、今回得られた結果と比較する必要がある。

考古遺物において、肉眼的な特徴に比重値を加味することにより大まかではあるが原産地分類のできる可能性がある。はじめに肉眼的な岩石組織の特長と比重計測値によるグループ分類を行い、それから各グループから複数の資料を抽出し蛍光X線などによる原産地分析を行うことで、全資料の原産地分析に準ずる成果を上げることができると考える。

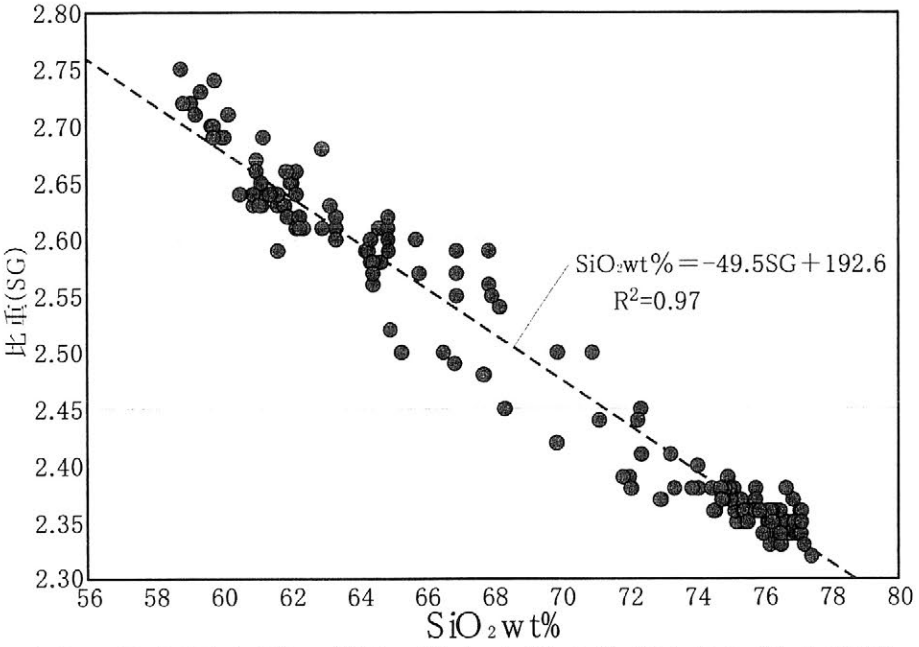


図1　日本国内産のガラス質火山岩の比重とSiO₂量の相関

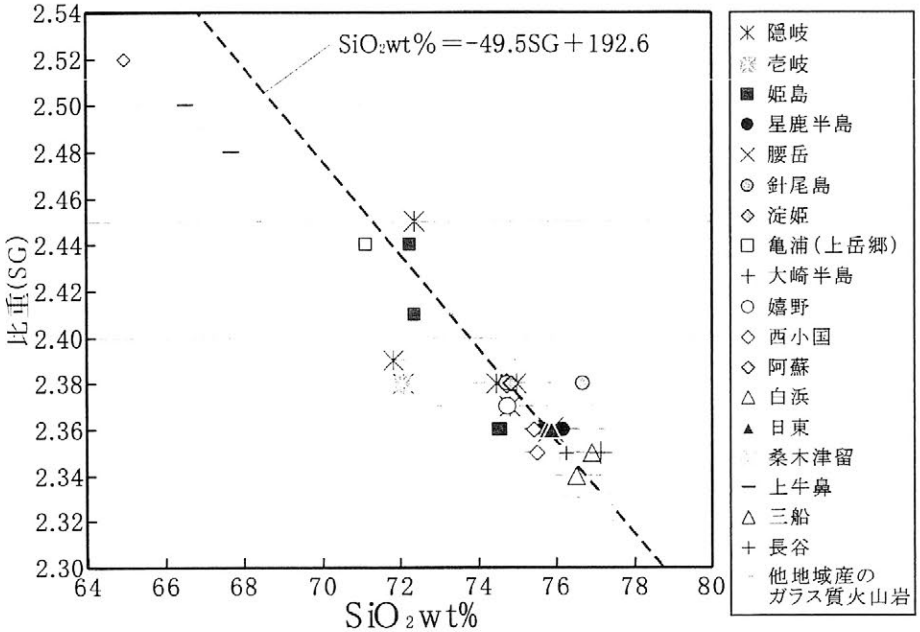


図2　隠岐・九州地域産黒曜岩の比重とSiO₂量の相関

P－153

骨部位の違いによる炭素・窒素同位体比の相違 ～現生人骨での検討～

○瀧上舞[1]・米田穣[1]・南雅代[2]・中村俊夫[2]・百々幸雄[3]

1)東京大学・大学院新領域創成科学研究科
2)名古屋大学年代測定総合研究センター
3)北海道文教大学人間科学部

[はじめに]

古人骨は年代測定や食性解析などの化学分析に用いられるが、貴重な考古遺物であるため採取できる試料量や部位は限られてくる。また日本のような温暖湿潤気候で酸性土壌では骨組織は残存しにくく、出土部位の偏りのために、異なる部位を用いて分析し、比較検討することがある。もし一個体中で部位によって同位体比に差があれば、一部位の測定結果をその個体の代表値とみなし、個体間で比較するのは適切ではない。さらに、近年、分析技術の発達によって分析精度が向上したため、わずかな差が無視できなくなってきている。またひとつの集団内での個体の社会的背景に関する検討など、微少な相違に基づいてこれまでより詳細な議論が行われようとしており、個体内でのばらつきの有無を改めて考察する必要がある。

そこで本研究では、一個体中の異なる骨部位を比較し、同位体値の相違の有無及びその原因を検討する。

これまでに、日本文化財科学会第 24 回大会において由比ガ浜南遺跡出土の鎌倉時代の古人骨 3 体を用いた同位体値の相違について報告した。3 個体からそれぞれ 7~11 箇所 [頭蓋骨・蝶形骨・歯・肋骨・上腕骨・橈骨又は尺骨・大腿骨・大腿骨関節面・脛骨・椎骨（頸椎と胸椎と腰椎から二箇所）]採取し、炭素・窒素安定同位体比測定と ^{14}C 年代測定を行った。それにより、炭素・窒素同位体比に部位間でばらつきが見られ、特に椎骨で炭素同位体比が最大で約 1 ‰、窒素同位体比が最大で約 1.5 ‰上昇することが観察された。しかし、^{14}C 年代は部位間での大きな違いはなく、全ての部位がほぼ同じ年代を示した。ばらつきの原因として、外部有機物の付加による続成作用、内部有機物の分解による続成作用、生前から生体内で差が生じていたという場合の 3 つが考えられる。部位間の ^{14}C 年代、C/N 比より、外部由来・内部由来の続成作用はないと考えられ、部位間の差の原因として、生前から生体が部位によって異なる同位体比を保持していた可能性が示唆された。特に、3 個体のうち 2 個体において脊椎の炭素・窒素同位体比が高くなっており、その 2 個体は共に変形性脊椎症を患っていたことが形態学的に報告されている。そこで、このばらつきの原因は生前の病気によるものではないかと考え、同じ病変をもつ現生人骨を用いて炭素・窒素同位体比分析を行った。本大会ではその結果について報告する。

[実験方法]

使用したサンプルは東北大学医学系研究科の解剖学実習資料であり、近代の日本人の人骨と考えられるが、部位別に保管されており個体情報の詳細は不明である。今回同位体分析のため、変形性脊椎症の病変のある頸椎・胸椎・腰椎を 2 点ずつ、病変のない各椎骨を 1 点ずつサンプリングした。

分析は、ひとつの椎骨から、椎体の骨増殖のある病変部分（骨棘）と、一般的に骨増殖が起こらない棘突起の 2 点をとり（Figure. 1）、炭素・窒素安定同位体の分析をした。病変のない椎骨も、同じく椎体と骨突起から採取した。骨は表面のクリーニング後に粉砕、脱脂と脱灰を行い、コラーゲン抽出を行った。炭素・窒素安定同位体比の測定は、国立環境研究所の EA-IRMS（Carlo Elba NA1500 および Finigan MAT 252）を用いた。測定に伴う誤差は 1σ で炭素では 0.15 ‰、窒素では 0.16 ‰であった。

Figure. 1　椎骨

[結果と考察]

測定結果は比較試料として病変のない正常な椎骨において、椎体—棘突起の差が$\delta^{13}C$ で 0.01~0.31 ‰、$\delta^{15}N$ で 0.02~0.30 ‰であった。病変をもつ個体の椎体—棘突起の差は$\delta^{13}C$ で 0.01~0.80 ‰、$\delta^{15}N$ で 0.02~1.0 ‰であった(Figure. 2)。この差は、同一個体内の部位間の差よりも小さい。また、炭素と窒素それぞれの相違の最大差は異なる椎骨で観察され、病変のある椎骨の椎体—棘突起間の変化には特別な傾向は見られない。よって、由比ガ浜南遺跡の古人骨において椎骨の同位体比が上昇していたのは、生前の病気に伴う代謝変化で説明できない。古人骨の同一個体内の部位間で生じていた原因として、生体内で骨の部位によって代謝回転の速度が異なり、反映している食性期間が異なっている可能性がある。また、栄養不足になると体組織は異化作用を起こし、体内のたんぱく質を分解し再利用する過程で同位体分別が生じて、新しく形成された組織の同位体比が上昇することが報告されており（Steel and Daniel, 1978; Hobson et al., 1993）、由比ガ浜南遺跡出土の古人骨の椎骨がそれを反映している可能性もある。以上のような可能性があるので、個体間の食性を比較する際は分析する部位を出来るだけ揃えた方が良い。

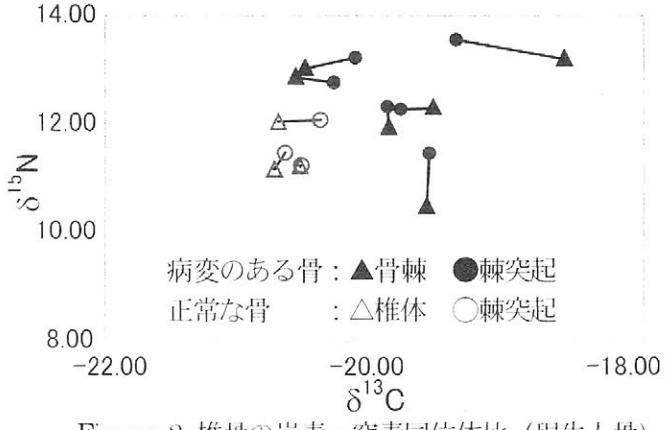


Figure. 2 椎骨の炭素・窒素同位体比（現生人骨）

[参考文献]

Hobson, K. A., ALisauskas, R. T and Clark, R. G (1993) Stable-nitrogen isotope enrichment in avian tissues due to fasting and nutritional stress: implications for isotopic analyses of diet. *The Condor*, 95: 388-394

Steele, K. W. and Daniel, R. M. (1978) Fractionation of nitrogen isotopes by animals: a further complication to the use of variation in the natural abundance of 15N for tracer studies. *Journal of Agricultural Science*, 90: 7-9

徳之島近世人に認められた逆生歯の一例

○下野真理子・竹中正巳（鹿児島女子短期大学）

永久歯は、乳歯の脱落後萌出する代生歯とその歯列の後方に萌出する加生歯に分けられる。歯の発生の開始は胎生６週ごろ始まる。口腔粘膜上皮が増殖、肥厚し、結合組織内に帯状に陥入して歯堤を形成する。胎生８週ごろに歯堤の下端から乳歯の数だけ歯胚上皮が増殖し、蕾状期歯胚を形成する。その後、象牙質、エナメル質を形成し、萌出した後、歯根とセメント質が形成される。代生永久歯の歯胚は、乳歯の萌出の間に顎骨内部で舌側に成長する。口腔内へ萌出し、正常位置に配列することで歯列弓を形成する。位置の異常はわずかに歯列からはみ出す程度のものから歯列を遠く離れて萌出しているものまで様々であり、その成因は顎骨の成長が歯の発育に伴わないための不調和、すなわち発生学的あるいは遺伝的に位置異常の説明ができるものもあれば、全く原因のわからないものもある。

図１．中筋川風葬墓の位置
（鹿児島県徳之島伊仙町）

位置異常は永久歯の中でも上下顎犬歯、特に上顎に多く見られる。犬歯に位置異常が多く見られる理由としては、その発生から考えることができる。犬歯の歯胚は歯肉から遠い。上顎では眼窩の近く、下顎では下顎底に近いところに元々位置する。また、その萌出は側切歯と第一小臼歯の間に、遅れて萌出してくる。逆生歯は、位置異常の中でも、歯冠が正常とは逆方向を向く歯のことで、上顎洞や鼻腔、眼窩などに歯が異所性萌出する場合にはこの例が多い。

徳之島中筋川風葬墓は、2006年に鹿児島県大島郡伊仙町目手久中筋川で発見された（図1）。2006年12月から中筋川風葬墓の調査が行われ、約300体の人骨が出土している。出土した人骨は頭蓋骨が大半を占め、その保存状態はよく、完全なものも多い。現在のところ中筋川周辺に居住した近世人が葬られたと考えられている。

今回報告するのは、中筋川風葬墓から出土した近世人骨（No.142人骨：男性・老年）の上顎骨に埋伏している歯についてである（図２・3）。肉眼観察により歯冠の形態から左犬歯である。この犬歯はほぼ完全な形態で梨状孔の左縁に沿うように存在し、歯冠は前頭突起の方向を向き、舌側面と遠心面の一部が上顎骨から露出している。根尖は歯槽を向いている。歯根と思われる部分の骨は右側上顎骨と比較して肥厚しており、歯槽骨も突出している。この人骨の上顎は無歯顎で、その歯列弓の歯槽の骨吸収が進んでいる。なお下顎は特定されていない。この埋伏歯が過剰歯である可能性も考えられるが、無歯顎であることから正確な判断は困難である。しかし、過剰歯には不完全な形態の歯が多いので、この左犬歯は過剰歯ではない可能性の方が高いといえる。

今回の埋伏歯は正常な萌出方向に対して上下が逆に転位し、主に舌側面が前を向いている。逆転位の理由としては、正常に発生した歯胚が、ある時何らかの原因で、萌出軌道からはずれてしまったことが考えられる。

犬歯は胎生６ヶ月ごろ歯胚形成が始まり、歯冠は眼窩近くで６歳ごろ完成し、10～13歳頃萌出する。今回の逆生歯の場合、歯冠が既に完成しているので、出生直後から歯冠が完成する６歳頃までの間に、逆転

位した可能性が高い。それは、中切歯や側切歯の歯根が形成されると、犬歯の萌出方向の上下への大規模なずれは起こりにくいと考えられることによる。歯冠の完成までの間に、転倒などの理由により犬歯部が強打され、左犬歯に外力が加わり、逆生が起こった可能性が高い。

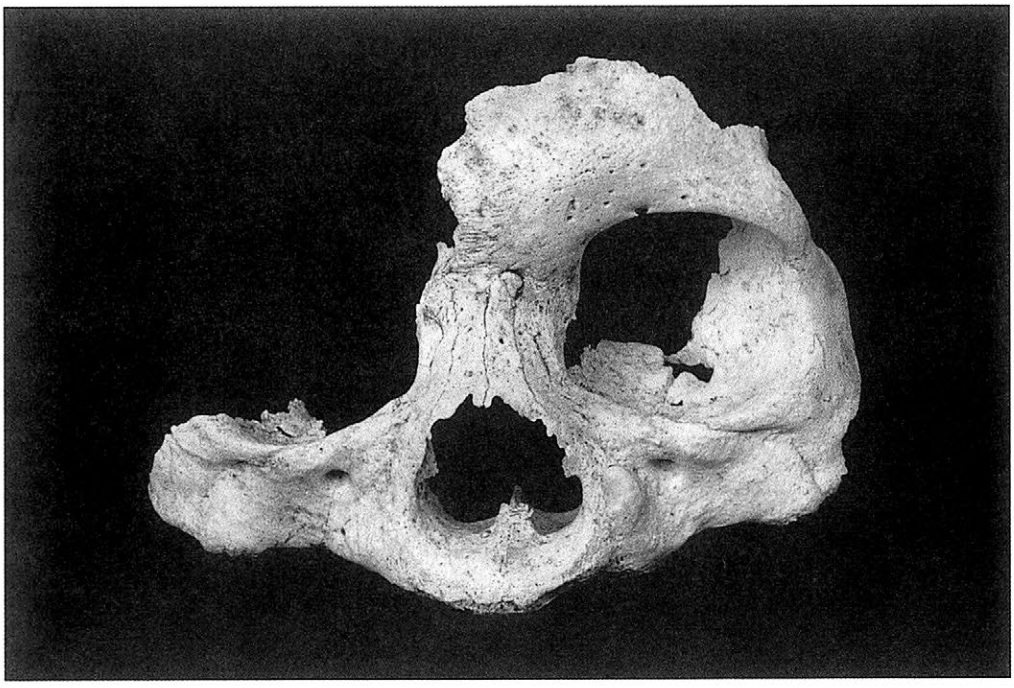


図2. 中筋川風葬墓No. 142 近世人骨（男性・老年）の逆生左犬歯

図3. 中筋川風葬墓No. 142 近世人骨（男性・老年）の逆生左犬歯の拡大写真

宮崎県えびの市島内地下式横穴墓群出土の糞石およびハエ蛹

○竹中正巳*・中野和浩**　（*鹿児島女子短期大学，**えびの市教育委員会）

2008 年 1 月から 2 月にかけて、宮崎県えびの市島内地下式横穴墓群の発掘調査が、同市教育委員会によって行われた。113 号墓から 124 号墓までの 12 基が調査された。そのうちの 10 基は玄室の保存状態のよい地下式横穴墓である。117 号墓からは糞石が、113 号墓と 114 号墓からは大量のハエ蛹が出土した。出土した糞石やハエ蛹はどの人骨のものか特定できる大変貴重な例である。糞石は、島内地下式横穴墓群 117 号墓 3 号成人人骨の糞石であり（図 1）亡くなる数日以内の食べ物や健康状態、亡くなった季節などを明らかにできる可能性がある。また、ハエ蛹（図 2・3）からは、亡くなってからどれくらいの時間が経過した後に遺体を地下式横穴墓に納めるのか、また殯についても考察できる可能性がある。

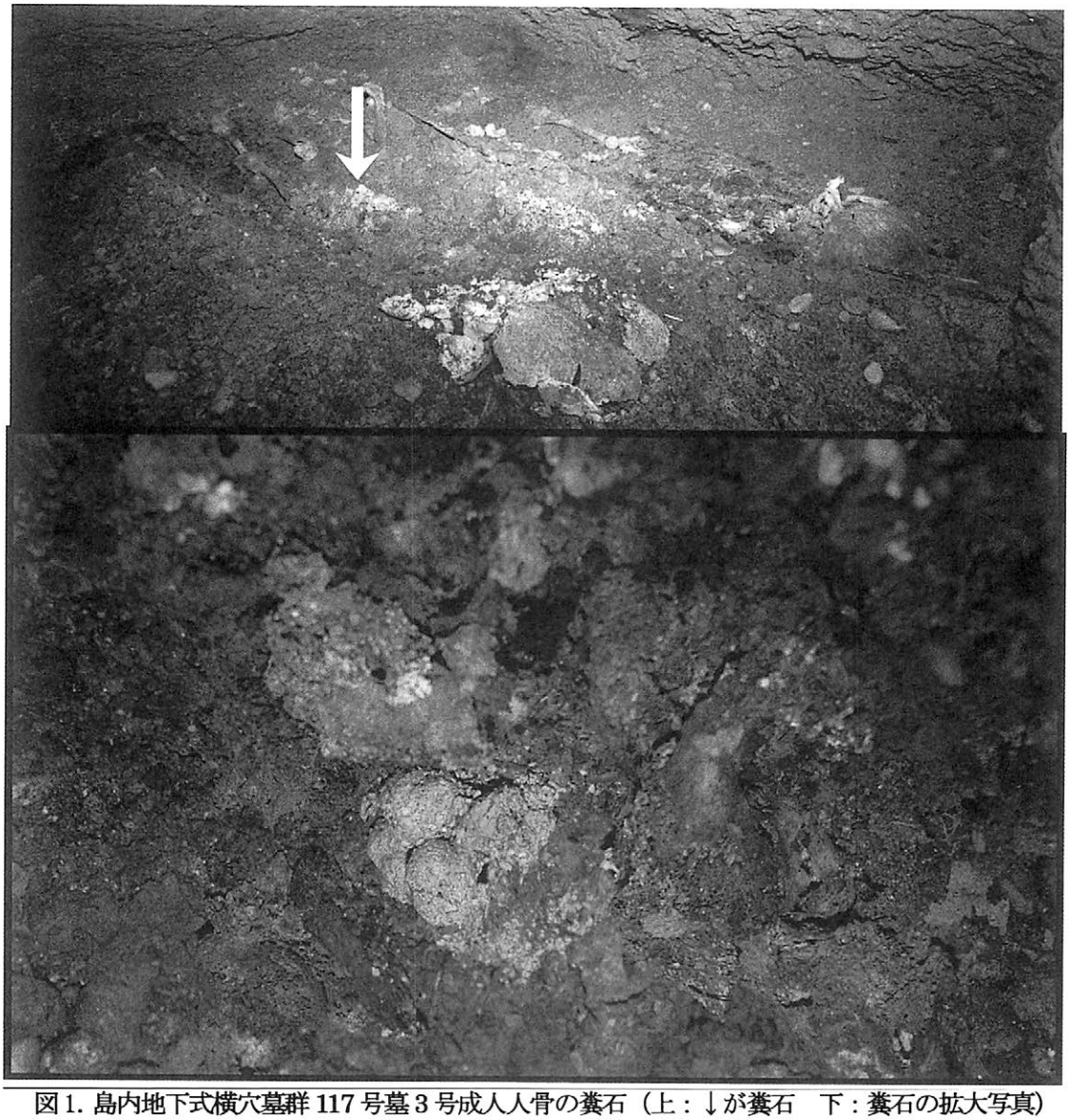


図 1. 島内地下式横穴墓群 117 号墓 3 号成人人骨の糞石（上：↓が糞石　下：糞石の拡大写真）

図 2. 島内地下式横穴墓群 113 号墓 3 号成人人骨のハエ蛹

図 3. 島内地下式横穴墓群 114 号墓 5 号成人人骨のハエ蛹

P−156

土器製作者同定法の開発
―レプリカ法の応用等による工具痕の個体識別―

中園聡・○池平壮峻（鹿児島国際大学）

はじめに

現在，科学研究費を得て土器を多角的に分析することにより，製作者の高確度同定法の開発を目指している。前回大会において，初期的な実験の発表を行ったが，本報告ではそれに継続してさらなる実験と検討を行った結果について論じる。

過去の遺物から個人を同定・抽出するという課題に正面から取り組んだものとして，Hill and Gunn（Eds, 1977）がある。国内では，古墳に配置されている埴輪に施されているハケメから工人の数を推測し，埴輪の生産体制を把握するなどの方向性がある（吉田，1973；犬木，1995など）。その研究法は主にハケメを拓本や写真で取得し重ね合わせるものである。須恵器では，同様にヘラ記号を用いた研究（山田，1988）があり，近世磁器でも陶工の個人差の識別を試みた研究がある（森本，2003）。一方，弥生土器では甕棺を素材としたもの（井上，1978）などがあるが，研究は極めて稀である。

従来，個人同定の条件として挙げられるのが，①生産遺跡での一括出土のように同時性が保証され，②同一器種もしくは共通する属性を多くもち，③顕著な特徴の保持，などである。この条件にあてはまる好資料は埴輪，須恵器である。すなわち，条件の整った一括資料に限定されてきた傾向がある。そこで，文様などの顕著な手がかりが少なく，現地性・同時性に保証のない弥生土器について，ハケメを主として用いながら，個人同定法の開発に努める。

試料と方法

杉の柾目材の両端を繊維方向と直角に切断して蒲鉾板状に加工し，陶芸用粘土にハケメを施した。ハケメの生じ方を観察するとともに，ハケメを施す時の角度など条件を変えつつ，シリコンを用いた型取りを行った。

型取りには信越化学工業社製シリコンを一部用いたほか，歯科用印象材EXAFINE（パテタイプ）を使用した。この方法は丑野毅らによって土器表面の植物種子の圧痕や文様を主として行われており，再現性もよく，走査型電子顕微鏡の観察にも耐える精度を備えていることが証明されている。また，シリコンであるためカミソリなどで簡単に必要な部分だけ切り取ることもでき，条件さえよければ数回にわたって同じ箇所の型取りを行うことも可能である（丑野・田川，1991）。

次に実際の弥生土器を用いた検討を行った。同時性を確保するため，一括出土，またはそれに近い状態で出土した個体群を対象とした。甕棺墓は2固体から構成されることが非常に多く，少なくとも埋置の段階での同時性は疑いない。また，胎土分析の結果からも同時製作の可能性が高いと示唆されていることから（中園，2004），本研究には適している。同様に，福岡県平塚川添遺跡の住居跡で同時性の高い状態で出土した弥生末期の器台群を抽出し，ハケメの型取りを行った。

本研究でのマッチングの方法は，対象を十分に観察した後，ハケメの印象を取得する場所を決定し，丁寧かつ迅速にハケメ印象を取得する。次にハケメ印象の横断面の高解像度画像をイメージスキャナで得て，画像処理ソフトを用いてモニタ上で重ねる手法を採った。従来，ハケメは平面的な観察にとどまっており，方法も写真や拓本を用いることが多かった。しかし，歪みや紙の伸縮などが問題である。また，両者は簡便ではあるが，ハケメの条数の少ない弥生土器では特に

誤認の危険性がある。そこで，平面情報はもとより横断面に着目する必要がある。幅だけでなく断面の形状を観察でき，立体的なマッチングが可能だからである。

以上のようにして実験・分析を進めているが，今回はさらにマイクロスコープ（キーエンスデジタルマイクロスコープVHX-450，VHX-900）を用いて，ハケメの3D画像を作成し，断面形状の高さ・幅・凸凹を2ラインのグラフで表示し，計測できるかを試みた。

結果と考察

ハケメの製作実験によって得られたシリコン印象では1ストローク分の数箇所から得られた切片での横断面のマッチングを試みたが，かなりの一致がみられた。

土器の正面に対して角度をつけたままハケメ工具を擦過すると，同一工具であっても全体の幅やハケメの凹凸の状態が多少変化することがわかったが，これまで指摘されてこなかったことであろう。したがって，現物資料では，事前の観察によりそうした箇所は避ける必要がある。

弥生時代中期の甕棺（小型の甕の転用）では，2個ワンセットとして使用されるため，両個体間で形態，サイズや身体技法レベルでも非常に類似したものを見出すことができる。本研究では同時性のある資料として重視しており，実際に同一のハケメ工具の使用が確認されつつある。

同様に一括出土に近い状態で出土した器台群でも，形態，サイズその他の特徴が類似する個体間において，ハケメの断面が非常に類似したものがみられた。ある個体では外面と内面でハケメの特徴が一致するものがみられた。このことは，同一のハケメ工具を同一個体のどの部位に使用するかという問題への解決の糸口ということができ，ひいては製作者が部位をどのように認識したかという，優れて認知考古学的テーマにもアプローチできる可能性がある。なお，こうした同一工具痕のある個体間において蛍光X線分析による胎土分析も行っているが，胎土の特徴が極めて類似したものがしばしばある。

また，マイクロスコープで得られたハケメの3D画像については高低差が明瞭に確認でき，平面・断面ともに画像上で同時に観察が可能となった。また，取得された画像を用いて自動作成されたハケメ断面図については，断面の様子を簡便でわかりやすく表示することができた。詳細な観察やミクロレベルでの検討には有用であるが，実用性についてはさらに検討の余地がある。

おわりに

これまで，窯や焼成遺溝などの発見頻度が少なく，同時製作に確固たる保証のない弥生土器などの製作者を捉える研究が少なかった。また，弥生土器に施されているハケメは埴輪と比べて幅が狭く，浅いため，写真や拓本では限界があり同一工具と誤認してしまう可能性も高かった。レプリカ方を応用した上述の方法では，平面はもちろん横断面まで比較できるため解決できる。当然，ハケメ工具が製作者同士で共有される場合も想定されるが，型式学的検討，身体技法レベルでの比較や胎土分析を行うことで，その問題を克服できると考えている。

ここで行った方法は，一定の有効性があるが，今後の課題としては，同一工具の変異の幅の把握や，同一工具のより確実な認定法などがあり，さらに実験と現物を対象とした実践を行い検討していかなければならない。

なお，精度のよい三次元的測定法およびマッチング法について検討中であるので，ご教示をいただければ幸いである。

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金　萌芽研究（課題番号18652073）の成果の一部である。

P－157

土器製作の基礎的実験Ⅰ
―大型専用甕棺復元の試み―

川宿田好見・○重信美那子・赤木翠・平川ひろみ・池平壮峻
新屋敷久美子・泉さやか・中園聡（鹿児島国際大学）

はじめに

弥生時代に北部九州を中心として存在した甕棺は，埋葬専用の大型土器として極めて特異なものである。この甕棺については，古くから関心がもたれ，型式学的編年をはじめ製作技法や製作工程などに関して研究がなされてきた。また，演者の一部は，蛍光X線分析による甕棺の胎土分析を実施し，生産－消費システムに関する研究を行うとともに，甕棺表面の詳細観察を行って工具の形態や調整のタイミングなどの推定を行ってきた。さらに甕棺製作者の身体技法（文化的に習得された身体の動き）の復元も試みている。こうした研究によって，甕棺の製作法や製作工具に関する理解が少しずつ深まってはいるが，従来の研究のほとんどは観察に基づく推定であり，正確な復元実験によるものとはいえなかった。そのため，甕棺製作に関する諸般の推定の検証には至っていなかったのである。そこで，実物に即した正確な復元を行うことで，実践的に問題を解明することにした。すなわち，本発表では，大型甕棺を復元した結果について報告する。

試料と復元方法

長崎県宇久松原遺跡出土のSK030甕棺墓（弥生時代前期末ごろ）をあらかじめ詳細に観察し，従来の知見・仮説を取り入れながら復元実験を実施した。原物は644.5㎜であり，甕棺としてはかなり小振りである。実験に当たっては，以下の工具を作成・使用したほか，製作者の運動と工具の動きとを強く意識した復元を行った。復元に使用した主な工具類は，タタキ板（長さ350㎜，幅100㎜），ハケメ板（長さ131㎜，幅47㎜）・ナデ板（長さ38㎜，13㎜）である。ナデ布も用いたが，SK030甕棺墓の外面及び口縁部の痕跡等から推測した。復元に使用した粘土は，市販の粘土を使用し，原物の胎土に近づけるため砂を混ぜた。粘土素地と混和材の比率は35％とした。製作実験では乾燥時の収縮を考え，原物より１割増しのサイズで製作した。

実験過程と結果

粘土帯による積み上げ法とタタキを用いて大まかな成形を行い，内外面をハケメ・ナデ板で調整した。この調整は胴部の張りの形成や器壁の平滑化などに有効であった。12段目までの積み上げが終わった後に一時乾燥させた。これは甕棺でしばしば観察される「乾燥単位」に一致する。23段目で積み上げを終了し，口縁部を成形した。原物の外面には，一見ハケメに見える条線があるが，詳細な観察と実験の結果，濡れた柔軟な布を用いたものと推定された。このナデ痕は，右手の往復運動によってなされたと考えられる。その後，口縁部直下と胴部最大径付近の沈線と口縁部の刻目を施した。この段階で甕棺全体をある程度乾燥させ，最後に底面の調整を行った。

製作期間は3日間で，途中の乾燥時間を含めない製作時間は合計10時間19分であった。28.42kgの素地を使用したが，乾燥後の重量は22.3kgであった。

おわりに

復元実験の結果，あらかじめ想定していた製作方法・工程が概ね適切であると判断される。特に，製作者の姿勢や腕の動きなどを意識した調整法では，原物の表面にみられる痕跡とかなり類似したものができた。したがって，観察と製作実験とを繰り返すことで製作者の身体技法を復元

することは不可能ではないと考えられる。なお，調整の際に工具を濡らすことによって原物に近い痕跡を生じる場合があることが明らかになったが，工具の濡れ方については従来考古学では看過されてきた点である。民族例でも工具を適切に濡らすことがしばしば観察されることから，ここでの復元は妥当といえよう。

土器の製作は，身体技法を含む技術・知識の一連の総体として実践されるものであり，大まかな外形のみならず工程や工具の使用法，特に工具の濡らし方や製作者の身体技法に至るまで相互に連接しあっているものと考えられる。その総体を復元しつくすことは極めて困難ではあるが，さらに検討・実験を繰り返すことで，よりそれに接近することができると考える。

本研究は，日本学術振興会科学研究費補助金　萌芽研究（課題番号18652073）の成果の一部である。

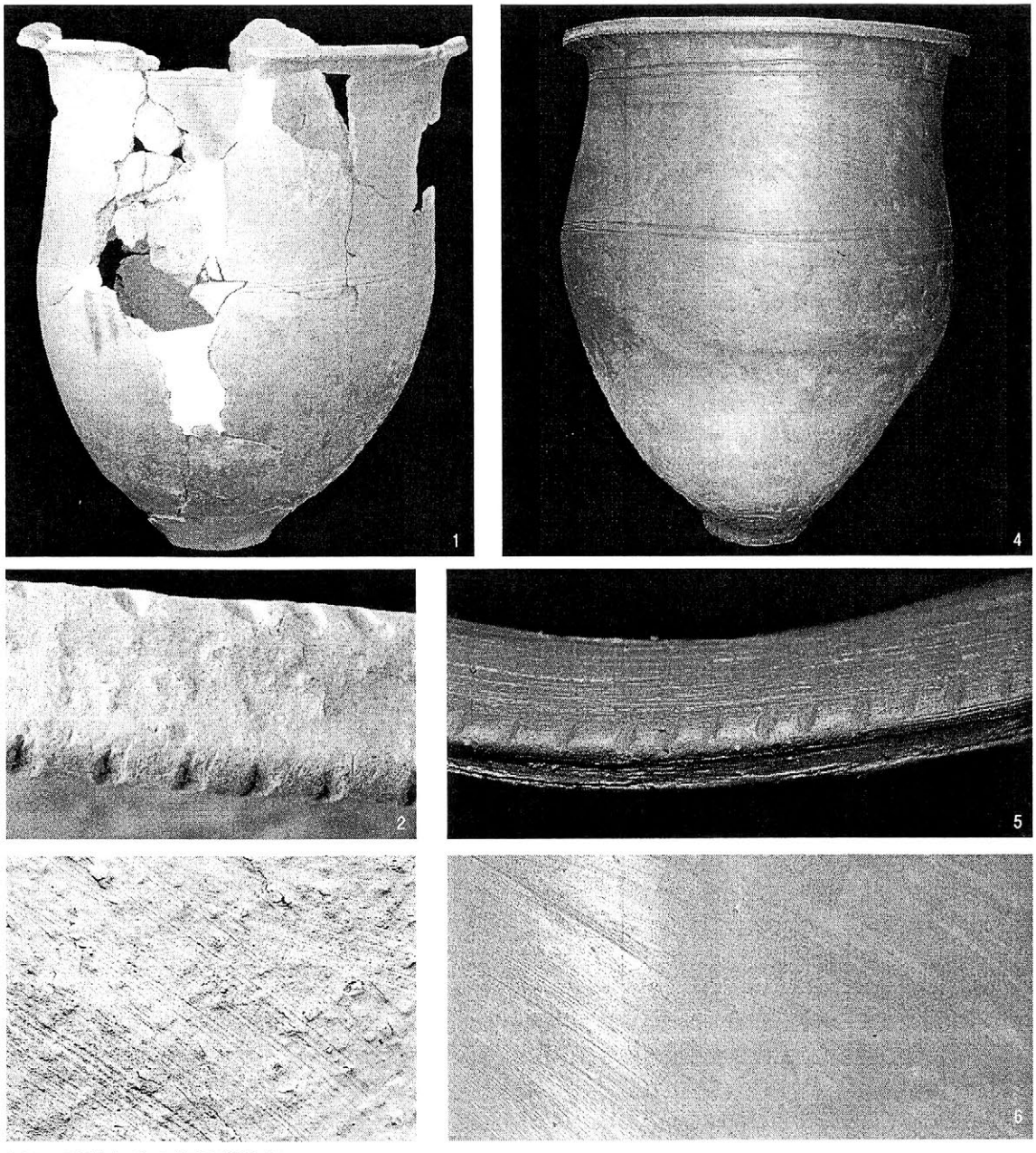


図1　甕棺とその復元実験品

1～3は原物。4～6は復元実験品。上：全形，中：口唇部，下：胴部上半外面のナデ痕。

P－158

砂丘砂に埋没した小型遺物のデフレーションに関する実験的研究
―鹿児島県南種子町広田遺跡の被葬人骨装身具珠類の事例にもとづいて―

松田順一郎（史跡 鴻池新田会所管理事務所）

はじめに

鹿児島県南種子町広田遺跡で検出された弥生時代後期から古墳時代初頭の覆石・配石墓で検出された人骨に接する砂丘砂には，埋葬による埋土，盛土にともなう人為的な擾乱された堆積構造はみとめられず，ほとんどの場合，砂丘砂が風によって堆積したと考えられる厚さ数 mm 以下の堆積単位からなる水平ないし 5 度以下の低角度の平行葉理，斜行層理の累重がみとめられた（松田 2007）．したがって被葬者は最初砂丘砂中に埋葬されたとしても，遺体を残して周囲の砂が入れ替わったか，堆積作用がすすむ砂床に放置されたかのどちらかであることがわかる．このことは，砂丘遺跡の遺構・遺物を含む比較的短期間の岩相および年代層序を正確に把握し，葬送の実態を解釈する際の重要な参照事実であると考えられる．しかし，被葬者が 装着していた首飾りの珠類のような直径数 mm 以下の小型の遺物が，あまり散逸せずに人骨胸部付近で検出されていることから，上述の推測を疑う意見もある．そのため本研究では現在，砂粒の移動にともなう堆積・侵食作用にさらされた小型遺物がどのように挙動するのか，どの程度の風速で小型遺物が吹き飛ばされるかを実験で確かめている．凝集・固結していない堆積物粒子が風で吹き飛ばされることをデフレーションと呼び，ここでは遺物は堆積物粒子として扱う．

実験方法

装置と堆積物試料：風は掃除機の排気を用い，変圧器で風量を調節した．初速（風洞口，0cm 位置）で 0.1 ～約 24m/sec の風速が得られた．風速は直径約 1 インチのインペラをもつ Nielsen-Kellerman 社の KestrelPocket Air Flow Tracker 4100 で測定した．風洞は内径 93mm，長さ 1m のアクリル管である．空の風洞における風速勾配を図 1 に示す．風量に対して管径が細いため，0cm 位置の断面では中心部の風速が大きいが，より風下の各断面ではおよそ風圧が保たれ，均一な風速分布が得られたと考えられる．風下方向への風速減少は風洞中央部の 25 ～ 75cm 位置では，実験に支障ない程度にわずかである．漏斗排出口の直径を変え，砂時計状に投入される砂の量を変化させた．また砂床形を変化させる際は，風がつねに砂粒を含む（砂のエントレインメントがおもに飛砂粒子の衝撃によって起こる）条件下で行った．砂は広田遺跡の砂丘海側斜面基部で採取したもので，中粒砂以細の砂を主とし，砂丘砂としては粗粒砂，細かめの粗粒砂がやや多い．また，砂には 25 ～ 30% の炭酸塩堆積物（サンゴ骨格破片，有孔虫殻，貝殻など）が含まれる．遺物にかわるものとして，広田遺跡の典型的なイモガイ珠に似た直径 5.5, 4, 3, 2mm のガラスビーズ（2.4 ～ 2.5g/cm3 で貝殻より 0.1 ～ 0.2g/cm3 低密度）を用い，風洞口から 25，50cm の各位置にそれらを並べた．

操作：以下の各状態を風洞内で生じさせ，ガラスビーズの動きを観察するとともに，各段階で風速（砂床から 2.5cm 高と仮定）を測定した．(1) 風速，飛砂量がほぼ一定で，堆積量と侵食量が均衡し，リップルがひじょうにゆっくりと風下へ移動するが，ガラスビーズは移動しない状態．(2) 砂の供給量（飛砂量）が増し，砂床上のガラスビーズが埋没する状態．(3) 飛砂量が減少し，あるいはそれとともに風速が増し，いったん埋没したガラスビーズが飛砂による侵食で掘り出され，さらにそれらが吹き飛ばされる状態．

結果と検討

上述の各状態でのガラスビーズとその付近の写真を図 2 に，風速を図 3 に示す．(1) の状態から，遺物を残して砂だけが入れ替わることは実際に可能で，一定の風況下で移動する砂の厚みはリップルの高さ程度だが，2mm 未満の砂粒子が動く風速の変動範囲内で飛砂量が変動すれば，侵食と堆積の累積として結果的により厚く砂が入れ替わると考えられる（図 2 上段）．実験での 2.5cm 高の風速は約 5m/sec だが，広田遺跡の砂丘海側斜面では約 3m/sec でも中～粗粒砂の飛砂が観察された．その場合の砂床から 50cm 高の風速は約 6.1m/sec と概算推測され，日常的な風況とみなせる．

ガラスビーズが飛砂に埋没する過程では，砂の供給量をしだいに増してゆくと，一時的に衝撃によって動き始める砂粒子が増える．その際に直径 2mm のガラスビーズが 1 個風下側に約 30cm 転動した．その後は，飛砂量が風の運搬能力を上回って堆積が始まり，すべてのガラスビーズは埋没した（図 2 中段）．

実験操作 (3) では，まず砂の供給を減らし，上述した飛砂による砂床の侵食が生じる状態に戻した．2mm ガラスビーズのいくつかは転動したが，他は側方に接した深さ 1 ～ 2mm 侵食溝にずり落ち，風下へは移動しなかった．またリップルは残存していた．その後一時的に飛砂量をさらに減少させると，跳動する砂粒子が減るとともに，侵食部分が埋まり初期状態 (1) に戻った．ガラスビーズを吹き飛ばすには，風速と飛砂を増大させねばならない．砂の供給量を適宜増やすと，風上側に緩やかに傾く舌状の風食凹地が 25cm 位置に達し，残存していた 2mm ガラスビーズはすべて風下側に跳動・転動した．さらに風速と飛砂を増やすと急な侵食斜面に変化した（図 2 下段右）．3mm 以上のガラスビーズは，(a) 侵食斜面を転がり落ち風上側に数 cm 移動する，(b) 隣接する侵食溝に落込む，(c) ビーズ風上側の砂床が掘れてそこにずり落ちる，(d) 風下側に数 cm 滑動（1，2 は転動）する，といった移動が認められたが跳

動を始めるものはなかった．風食凹地や斜面に接した風下側には数 cm 幅で堆積領域が生じ，わずかに高まるが，その後は発達しない．それより風下の 50cm 位置を越える約 30cm の区間には，幅 1cm 以下，深さ数 mm 以下の複数の侵食溝をともなう平滑床が生じる．2mm ガラスビーズはすべて吹き飛ばされ，他のビーズには上述した(b)(c)(d)の移動様式が見られたが，大きく位置を変えたものはなかった(図 2 下段左)．

正確な計算を行っていないが，これらの結果は，Bagnold(1941)が示した堆積物粒子がエントレインメントする，砂床面における風の引きずり速度の衝撃閾値(pp.85-89, fig.28)と，その引きずり速度に対応して，砂床面からの高度の対数とともに増す風速プロファイル(pp.43-55, pp.104-106)ともほぼ調和的である．直径 2mm のガラスビーズが吹き飛ばされた砂床より 2.5cm 高の風速から，50cm 高の風速は約 12m/sec，直径 5.5mm ビーズの移動を生じさせる同高度の風速は約 19m/sec と推定される．これらの値は通常の気象観測の 10m 高ではさらに大きな風速で，台風接近・通過時の風況と考えられる．ただし，降雨をともなうと砂床が湿り，飛砂は生じにくく，小型遺物も移動しにくい．また草本植生をともなう砂床では風速が低下し，砂だけが移動する可能性がある．またヒト遺体が風と堆積物の移動経路を乱し，比較的大きな遺物を風下側に吹き溜まらせるかもしれない．実験の結果，かなり強い風でも小型遺物は動きにくいということがわかった．

課題

直径 3mm 以上のガラスビーズが風下に移動し始める風速については未だ実測値を得ていないので，上述の操作(3)で実験を継続する．また，小型遺物の侵食・移動条件をさらに詳しく知るため，飛砂の定量や砂床変化時間の計測を行い，広田遺跡の人骨に接した場所により近い粒径組成の砂を用いるとともに，まばらな砂丘植生をともなう砂床条件を風洞内に作り，ツノガイなど異なる形状の試料についても実験する予定である．また，広田遺跡の人骨にともなう珠類散布状況の解釈も試みたい．

謝辞 本研究をすすめるにあたって，鹿児島県南種子町教育委員会の坂口浩一，石堂和博，徳田有希乃各氏，熊本大学大学院の山野ケン陽次郎氏には多くのご助力を賜りました．心よりお礼申し上げます．

文献

松田順一郎 (2007) 広田遺跡海岸砂丘堆積物の観察と分析．石堂和博・徳田有希乃・山野ケン陽次郎編著「広田遺跡 —平成 16 年度～平成 18 年度町内遺跡等発掘調査事業—」鹿児島県南種子町教育委員会，PP.149-172.

Bagnold, R.A. (1941) *The Phisics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, 265p.

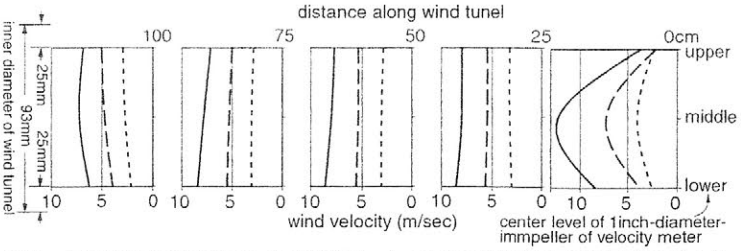


図1 風洞内垂直断面の風速分布．上・下部の計測位置は内壁面から風速計インペラの直径分(約2.5cm)離れていると仮定した．

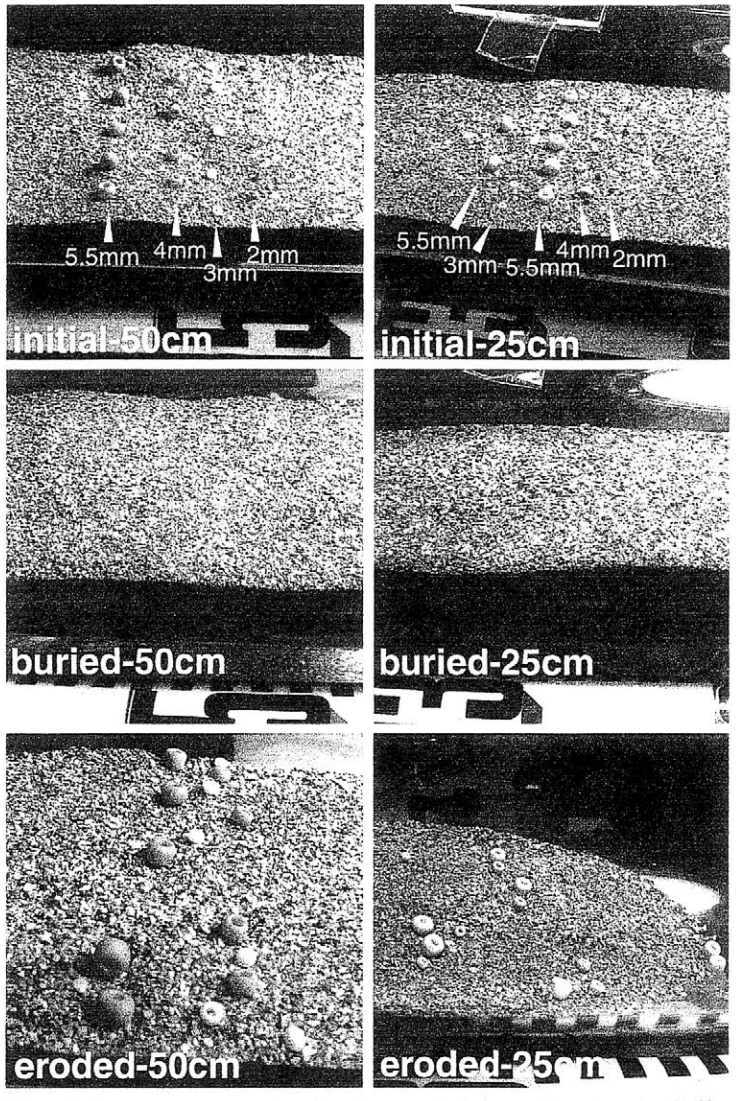


図2 風洞口より25cmと50cm位置における砂床とガラスビーズの状態．上段:砂床の侵食・堆積量がほぼ等しい初期状態，中段:ガラスビーズの埋没状態，下段:直径2mmのガラスビーズが吹き飛ばされたデフレーションの状態．いずれも右が風上．スケールの数字の高さ5cm，一目盛り5mm．

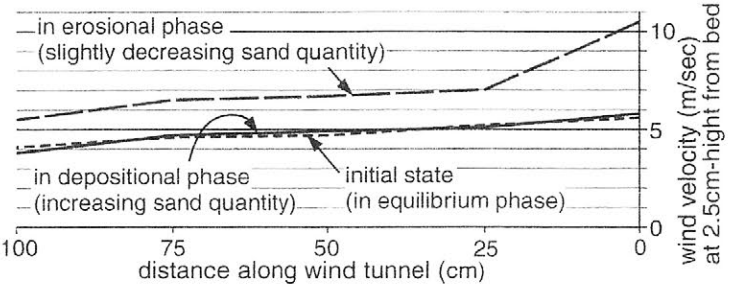


図3 初期状態，埋没状態，デフレーション状態における砂床上2.5cm高の風速．

P−159

開聞岳噴火罹災と生活変移-874年の噴火に着目して-

片岡伸彰・○阿児雄之・亀井宏行（東京工業大学）

はじめに

火山活動のひとつである火山噴火は、その周辺地域にさまざまな被害をもたらし、噴出される火山礫・火山灰の堆積や火砕流・土石流は、周辺地形や人々の生活に大きな影響を及ぼす。一方、これら罹災地域は、火山噴出物によって形成された堆積層によって、罹災当時の地表面状況および建造物などを良好に保存することが多い。この特殊な保存状態にある地域は、往時の生活文化環境ならびに自然環境を復原する為には、最良の対象である。

火山噴火罹災遺跡の研究は数多くなされているが、それらの多くはある一時の火山噴火によって埋没された当時の環境を復原するものであり、時間的変遷や空間的な差異を描きだそうとしたものは少ない。本研究では、罹災地域が比較的限定され、複数回の罹災を受けている鹿児島県開聞岳の周辺地域を対象とした。地理情報システム（GIS）に発掘情報のなどを集約整理し、発見された遺構や地理状況を総合的に分析することによって、古代における火山噴火罹災に呼応する生活変移の復元を試みた。

対象地域と分析データ

薩摩半島の南端に位置する開聞岳は、この2,000年間に4回大規模な噴火を起こしており、その中でも、平安時代に発生した噴火は『日本三代実録』貞観16年7月2日戊子条[*1]（西暦874年3月24日）に、その状況が記録されている。この噴火による噴出堆積物は「紫コラ」と称され、その名のとおり紫色を呈しており、亀の甲羅の様に硬く固結する性質を有している。その特徴ゆえ、後世の攪乱を受けることも少なく堆積層下の遺存状況は良好であり、発掘調査時にも容易に認識される為、詳細な報告がなされている。本研究では、この紫コラを噴出した噴火前後を対象とした。

分析には、鹿児島県指宿市において発掘調査された21遺跡（39調査報告書）から該当する1,512遺構と紫コラ堆積厚214箇所をGIS上にて集約したものを利用した。遺構情報には、遺構の種別（5種類）・時間区分（紫コラ層との関係で6区分）・遺構面積を有する。

紫コラ堆積による遺構変化

まず、罹災地域における遺構の時間的変化を分析した（図1）。図1における「青コラ上面」という時間区分は7世紀第4四半期に発生した噴火以降としている。結果を見ると、噴火前の奈良時代から平安時代初期にかけて、住関連遺構から水田などの生産遺構へと土地利用が変化していることがわかる。この変化の一要因として、『類聚国史』巻59[*2]に記載がある、延暦19年12月（西暦800年）の薩摩への班田が考えられる。稲作は、火山性土壌では厳しいとされる為、自然環境が要因となる可能性は低く、この様な劇的な変化は当時の社会的要因によるものであると考えられる。これを裏付けるものとして、筆者らは条里制に基づく区割りを有する水田遺構を紫コラ直下より、地中レーダ探査および発掘調査により発見している。

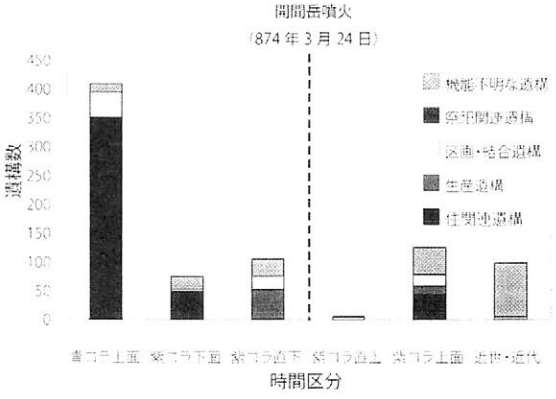


図1：遺構数変化

噴火後、噴出物の堆積によって数多く見られた遺構は姿を消し、固結する性質をもつ紫コラ層の除去が侭ならず、生活の回復に時間を要していることがわかる。

火山罹災対応の地域差

次に、噴火前後での空間的変化を分析した(図2)。図2は、紫コラ層の層厚分布上に噴火前後での検出遺構を示したものである。図示した地域は、罹災地域の中でも特に紫コラ層より上面で遺構が発見された地域である。■が噴火前の遺構、●が噴火後の遺構である。図2を見ると、噴火前後で遺構の存在場所が明らかに異なる。噴火前の遺構は、平野部で検出されているが、噴火後は山裾部で多く検出される様になる。ここで、注目されるのが紫コラ層の堆積厚は、大差がないことである。このことより、罹災の影響度を火山噴出物の堆積厚だけで判断することはできないと考えられ、堆積の形態や土石流などの関連災害も視野にいれる必要があると考えられる。

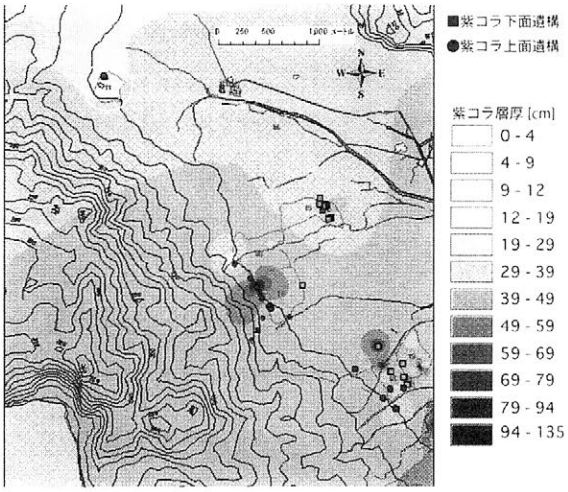


図2：噴火前後の遺構分布

さらに、中島ノ下遺跡での発掘成果は、この視点の必要性を裏付けるものである。中島ノ下遺跡は、噴火後、水田遺構が検出された唯一の遺跡である（図2中丸印)。本遺跡では、図3で示したとおり紫コラ（紫色火山灰）が不自然な状況で堆積し、水田遺構が検出されている。この付近は二反田側の源流に近く、傾斜度も大きい場所である。その為、雨等の自然流で紫コラが流された可能性が高いと判断でき、水田の開拓が可能であったと推測できる。他の山裾部も堆積した紫コラが二次堆積などで固結しなかった為に、遺構が検出されたのであろうと考えられる。

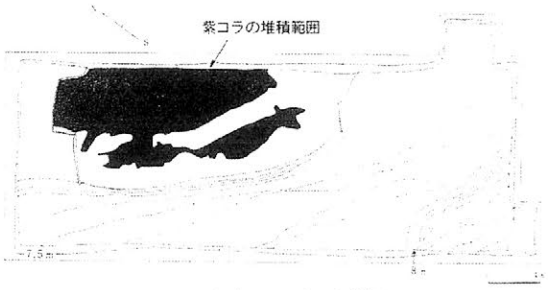


図3：中島ノ下遺跡発掘図

まとめ

現在までに、各分野で蓄積されてきた情報をGIS上で集約し、各種データの相互分析をおこなうことにより、限定的ではあるが、開聞岳の罹災地域を対象とし、一火山噴火の前後での生活変移の一端を捉えることができた。生活変移は社会的要因および自然環境的要因により、ダイナミックに変化することが明らかになり、多岐の分野にわたる情報の集約と分析が往時の環境復元に必要であると導かれた。今後、当該地域のより詳細かつ長期にわたる生活変移の復元を試みたい。

本研究は、文部科学省科学研究費補助金『特定領域研究』「火山噴火罹災地域の文化・自然環境復元」計画研究：代表　亀井宏行「火山噴火罹災地域の地力回復過程の時空間解析に関する研究」(課題番号：16089206)ならびに、代表　鷹野光行「わが国の火山噴火罹災地における生活・文化環境の復元-九州を中心に-」(課題番号：16089027)の一部として実施された。

*1『日本三代実録』貞観16年7月2日戊子条
大宰府言。薩摩国従四位上開聞神山頂。有火自焼。煙薫満天。灰沙如雨。震動之声聞百余里。近社百姓震恐矢精。求之蓍亀。神願封戸。及汚穢神社。仍成此祟。勅奉封二十戸。

*2『類聚国史』巻59
延暦１９年（８００）１２月、辛未、大隅、薩摩両国の百姓の墾田を収めて、便ち口分を授く
（「南方神話と古代日本」中西進編所収
１９９５年　角川選書）

P－160

カンボジア、バイヨン寺院南経蔵中央坑における出土金属製品の出土状況と組成分析について

山本信夫（早稲田大学理工学術院理工学研究所）
内田悦生・中川武（早稲田大学理工学術院）
○中松万由美（早稲田大学大学院創造理工学研究科）

1. はじめに

本研究は、日本国政府アンコール遺跡救済チーム（以下、JSA）とカンボジア・アプサラ機構（以下、APSARA）との共同事業である「バイヨン寺院保存修復プロジェクト」の一環として行われている。

バイヨン寺院は、クメール史のなかでも最大の繁栄をみせたジャヤヴァルマン7 世王（治世：1181-1210 年）が造営したとされる都城アンコール・トムの中心に位置するシンボル的な建造物である。2007 年4 月から同年9 月にかけて、このバイヨン寺院内の南東隅に位置する南経蔵にて、解体修復工事に伴う発掘調査を行った[1]。その結果、経蔵の基壇中心部に穿たれた縦坑（写真1、2）から数点の金属製品が出土している。これらは、建物の基壇構築に伴う鎮壇具であると推測される。通常、クメール建築に伴う基壇埋納品は、盗掘を受けて消失しているケースが多く、何が、どのような場所にどのような状態で埋納されたかというような出土状態が明瞭な遺物例は非常に少ない。今回は、その出土状況と、金属製品の非破壊組成分析（携帯型蛍光X 線分析：Innov-X α-4000）結果を報告する。

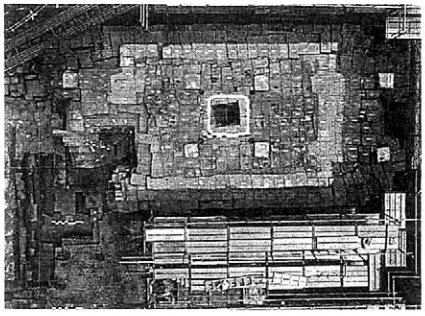


写真1：南経蔵、中央縦坑（中央丸部分）

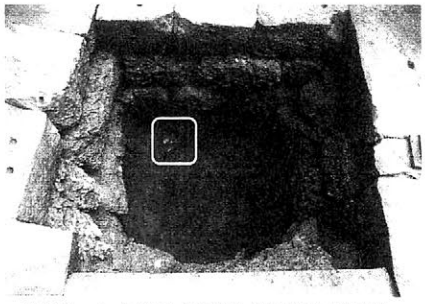


写真2：中央縦坑（丸部分が皿型金属製品）

2. 遺構と鎮壇具の出土状況

調査時、南経蔵の中央坑は既に過去に少なくとも2 回の盗掘を受け、大きく破壊されていた。幸いにも経蔵建設時の土層が一部残り、鎮壇具は原位置を保っていた。基壇上面は全面砂岩敷きで、その下はラテライト2 段を積み以下は基壇積土となる。鎮壇具の出土した縦坑は、中央に東西1.2m、南北1m ほどの長方形の砂岩敷のない空間部を設け、下のラテライト2 段を刳り抜き、さらに基壇積土まで達する深さ約1m のものである。

2.1 皿型金属製品（写真2、3）、亀型金属製品（写真4）

鎮壇具は、上下2 つのレベルから出土しており、基壇床面から50cm 下と、坑底（1m 下）の2 カ所である。これらは縦坑の北西隅端で見つかり、盗掘を免れた。上部から出土した埋納品は円形（径約18cm）の浅い皿形の上に、方形（一辺7～8cm）、半月形を二分した形（約7～11cm）の金銅板を数枚重ねていた。さらに皿形の内部には別の金属製品が納められている可能性があり、今後の精査や保存処理のため、発掘時

写真3：皿型金属製品

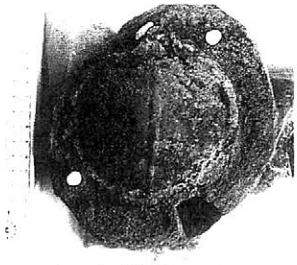


写真4：亀型銅製品（径は約11cm）

の状態のまま保管している。金銅板のうち上の一枚は錆が進まず、金メッキがよく残り、動物の牛の文様が鑿で彫られていた（写真5）。金銅板は9枚ほど重なるが、そのうちの2枚は調査開始時に坑の清掃を行った際に動いていて正確な原位置は不明である。他の金銅板にも彫文が予想される。一方、その下部からは径11cm程の亀形の金属製品が1点出土しており、頭や亀甲文様が残る（写真4）。

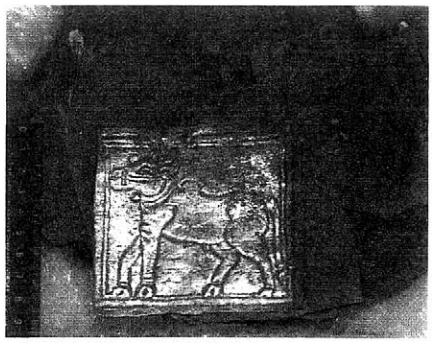


写真5：雄牛（1辺は約7~8cm）

2.2 古期段階の埋納坑と青銅瓶

鎮壇坑を完掘した後の壁面精査により、さらに上記の鎮壇具の埋納坑の南側に重複して、もう一つ前段階の埋納坑が確認された。前段階の埋納坑は先述の下層ラテライトの敷設以前に基壇上に穿たれたもので、このことにより地鎮は2度に渡って行われていることが判明した。2度の地鎮行為は経蔵の改築が行われた可能性を示唆するが、経蔵構築の一連の工程内で繰り返し行われる可能性もありえる。古期の埋納坑は部分的な発掘を行い銅製瓶と思われる破片（4×4cm）が出土している。遺物は完器ではないが破片埋納の可能性も考慮される。

2.3 クメール建築遺構と鎮壇具出土例

上記のような動物意匠祭具、鎮壇具の例として出土状態まで詳述した報告は少ないが、下記に2例あげる。

① 1996-1997年に仏のEFEOが行ったアンコール・トム、王宮の北東辺に位置する象のテラス解体・修復において、鉛製の亀型金属製品が出土している[2]。

② 1997年、同じくEFEOが西バライ南方において考古学的分布調査で確認したKok Ta Sien遺跡（プレ・アンコール期）祠堂基壇からは、長方形金箔4点（ナーガ1、亀1、象2点の彫文）が出土している[3]。

3. 金属製品の非破壊組成分析

上記の出土金属製品に対して携帯型蛍光X線分析装置（Innov-X α-4000）を用いて非破壊組成分析を行った。結果は以下のとおりである。

[雄牛の金属板の表面] 雄牛の金属板にはメッキが施されており、この表面を測定した結果、金90%以上・銀6%の組成を持つ鍍金が施されていることが判明した。また、鍍金剥離部を測定した結果、その内部は銅製品であることが判明した。

[亀型金属製品] 亀型金属器の表面を測定した結果、純度の高い銅製品であることが判明した。

[古期埋納坑の金属製品] 上記2点よりも古いと考えられるこの金属製品は、青銅製品であることが判明した。ただし、銅と錫の合成比率は本調査では不明である。

4. 今後の課題

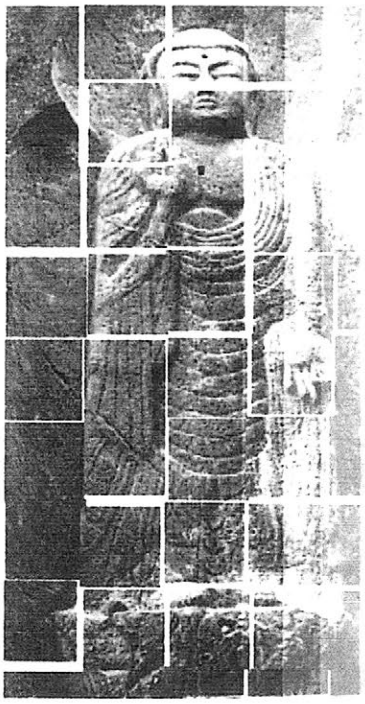
クメール建築に伴う埋納具が原位置から出土し、その金属分析が行われた例は珍しい成果といえる。アンコール時代における金属製品の鋳造及び金属組成などについては未だ不明な点が多いが、今後も注意深く検討していきたい。

5. 参考文献

[1] 山本信夫, コウ・ベット, ヘン・カムサン, ルン・ワッタイ, 中松万由美「南経蔵の修復工事に伴う考古学的発掘調査の報告」『アンコール遺跡調査報告書2006-2007』pp. 75-97, JSA, 2007

[2] Pottier, Christophe. "Chronique « La restauration du perron nord de la Terrasse des Éléphants à Angkor Thom. Rapport sur la première année de travaux (avril 1996-avril 1997) », *BEFEO*, Tome. 84, pp. 376-407. EFEO, 1997.

[3] Pottier, Christophe. "Perspectives de la mission archéologique franco-kmère sur l' aménagement du territoire angkorien". *UDAYA*. No. 2, pp. 117-132. APSARA, 2001.



STOP the 風化

石材強化剤
OH100

石材撥水剤
290

強化剤
OM25 OM50

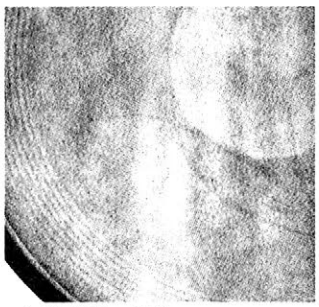
TRY the 活性

株式会社アクト
本店
〒518-0467 三重県名張市赤目町相楽619-1
TEL・FAX (0595)63-8261
倉庫
〒544-0015 大阪市生野区巽南5-9-11 森下通商ビル内
TEL (06)6796-2381
FAX (06)6794-0254

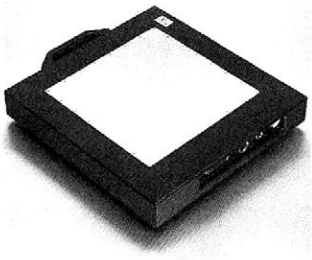
エクスロンのX線検査装置なら
文化財・考古学のあらゆる現場に於ける
X線非破壊検査が確実におこなえます。

デジタルX線検査システム　Y.IM3500-DD

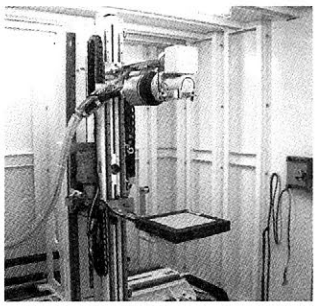
携帯式（SMART-300, XPO225）・可搬式（MG）どちらのX線検査装置にも対応する16ビットデジタルテレビシステムでX線吸収差が大きい文化財、考古学品等の画像収集を一度で終了し、ハレーションの少ない画像が得られます。



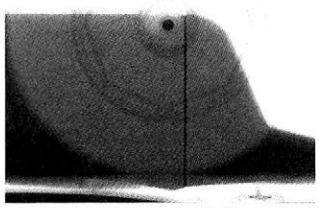
・木材表面の模様



・フラットパネル　XRDシリーズ



・X線装置MG165とXRD0840



・吸収体に隠れた部材も一度に映像化

型　式	ピクセル数	ピクセルピッチ	視　野	ダイナミックレンジ
XRD0840	512x512	400 μm	約200mm×200mm	16ビット
XRD0820	1024x1024	200 μm		
XRD1640	1024x1024	400 μm	約400mm×400mm	
XRD1620	2048x2048	200 μm		

高出力・携帯式X線検査装置　Y.XPO・225

狭所や高所及び地下等の足場の悪い調査現場における、X線フィルム撮影、デジタルテレビ検査の高出力X線源として使用します。

項　目	仕　様
出力管電圧	25-225kV【1.0kVステップ】
出力管電流	0.5-10.0mA　【0.1mAステップ】
X線管焦点	1.5【IEC336準拠】
発生器外観寸法	φ295x805mm
発生器重量	28 kg
駆動電源	AC100v又はAC200v　50/60Hz

＊各種X線透視検査システム、CT検査システムを準備しておりますのでご相談下さい

X線非破壊検査機器の総合メーカー

エクスロン・インターナショナル株式会社

YXLON International K.K.

本　社　〒221-0031　横浜市神奈川区新浦島町1-1-32　ニューステージ横浜1階　TEL：045-450-1730　FAX：045-450-1740

大阪支店　〒532-0011　大阪市淀川区西中島5-6-13　新大阪御幸ビル2階　TEL：06-6886-5533　FAX：06-6886-5633

URL: http://www.yxlon.co.jp　　E-mail: yxlon@jpn.yxlon.com

TANAKA

探査と保存

株式会社 田中地質コンサルタント

〒915-0082 福井県越前市国高2丁目324-7
TEL.0778-25-7000 FAX.0778-25-7001

P·R·O·D·U·C·T
Information 製品のご案内

HARDWARE

軽量小型の
比抵抗二次元探査装置

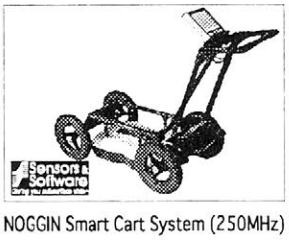
マルチ電極による装置で、二極・三極・四極法が可能。従来に比べて軽量・簡単操作で探査時間が短くなります。見掛け比抵抗図がリアルタイムに画面表示されるので、異常を即判断できます。

E60CN本体 (リレーケーブルは別売)

HARDWARE

誰でも簡単に操作可能
地下レーダー探査装置

コンソールやPCなどがオールインワンタイプの地下レーダー探査装置。車輪もついて探査効率が良くなりました。アンテナも多種類用意(別売)され、目的に応じた探査が可能です。



NOGGIN Smart Cart System (250MHz)

LIQUID WARE

風化から遺跡を保護
環境に優しいクリーンマテリアル

土と石を風化から守る強化保存剤。処理後の変色はなく、表面硬度も上昇します。また、照りもなく質感もそのまま。粘性土対応のTOT、砂質土対応のTOT-Vがあります。

国土交通省NETISに登録

TOTで地震断層を強化保存(作業風景)

HUMANWARE

様々な探査や保存処理
業務を受託いたします

電気探査、レーダー探査をはじめとした各種考古学探査や、TOTを用いた保存処理業務、地中深くの定方位サンプル業務などを承ります。
まずはご連絡下さい。

☎ (0778)25−7000

地下レーダー探査中(探査風景)

本当のことが知りたい

パレオ・ラボは遺跡出土遺物および
堆積物の自然科学分析を行う会社です。

パレオ・ラボ コンパクトAMS

分析業務サービス

年代測定および推定法	◎放射性炭素年代測定［加速器質量分析（AMS法）］ ◎地磁気残留磁化測定［焼成および堆積年代推定］ ◎火山灰同定［ガラス・重鉱物の屈折率測定など］
遺物の材質および技法	◎土器の材料分析 ［薄片分析・波長分散型蛍光X線分析］ ◎漆・有機物分析［顕微赤外分光分析］ ◎顔料等分析［蛍光X線分析・X線回折分析］ ◎石器の石材同定［肉眼・薄片分析・蛍光X線分析］ ◎遺物分析［蛍光X線分析(定性分析・元素マッピング分析)・EPMA分析他］ ◎塗膜分析［塗膜構造・EPMA分析］
遺物の産地	◎黒曜石・サヌカイトの原産地推定［エネルギー分散型蛍光X線分析］ ◎土器胎土分析［薄片分析・波長分散型蛍光X線分析］
生業に関わる方法	◎プラント・オパール分析 ◎花粉分析 ◎樹種同定 ◎種実同定 ◎獣骨・魚骨・貝類同定 ◎炭素窒素同位体測定 ◎寄生虫卵分析
古環境復元	◎堆積物の特徴記載 ◎花粉分析 ◎珪藻分析 ◎植物珪酸体分析 ◎大型植物遺体分析（材・種実・葉などを含む）
その他	◎ボーリング調査 ◎土層剥ぎ取り ◎土層のデジタル連写撮影

上記以外にもご相談に応じます
お気軽にお尋ねください。

株式会社 パレオ・ラボ Paleo Labo Co., Ltd. http://www.paleolabo.jp

本　　社 335-0016 埼玉県戸田市下前 1-13-22 ビコーズ戸田III 1 F 048-446-2345 E-mail: toda@paleolabo.jp
東 海 支 店 501-6264 岐阜県羽島市小熊町島 5-63 アルビアル羽島 1 F 058-391-0881 E-mail: gifu@paleolabo.jp
AMS 年代測定施設 376-0144 群馬県桐生市黒保根町下田沢 1900-65 0277-96-2088 E-mail: ams@paleolabo.jp

若手研究者を支援する研究助成の募集（第４期）

株式会社パレオ･ラボ

1. 助成の趣旨

弊社では、平成16年10月、年代測定を目的として^{14}C測定専用の加速器質量分析計を導入し、年代測定業務を開始いたしました。これを期に、企業として社会に還元するため、また広く弊社AMS年代測定をご利用いただくため、若手研究者を対象として研究支援事業を第３期に引き続き企画いたしました。

2. 応募条件

①現在35歳以下の研究者（定職についていない方）および大学院生（考古学分野2名、自然科学分野2名）
②研究目的が年代測定を必要とするテーマであること
③過去に研究発表１本または論文１編以上を発表した者
④原則として、助成終了後1年以内に研究助成の内容を含む論文または口頭発表を公表し、その成果を提出すること
⑤研究助成の内容を含む発表および論文執筆の際、パレオ･ラボ若手研究者を支援する研究助成によるものであることを明記すること

3. 支援内容

以下の２項目を支援いたします。
①研究費として15万円を支給
②AMS年代測定10試料を無料測定 ただし、測定期間は下記の期間限定：平成20（2008）年9月1日～10月31日および平成21（2009）年4月1日～8月31日

4. 支援期間

平成20（2008）年9月1日～平成21（2009）年8月31日

5. 応募方法

申し込み用紙（弊社指定用紙、弊社HP上からPDFまたはExcelファイルをダウンロード）、履歴書（書式なし、写真添付）、研究実績表（書式なし）を郵送

6. 締切

平成20（2008）年7月31日（必着）
お問い合わせ jyosei@paleolabo.jpもしくは058-391-0881担当係（なるべくE-mailをご利用ください）
助成に関する詳細は当社ホームページをご覧下さい http://www.paleolabo.jp

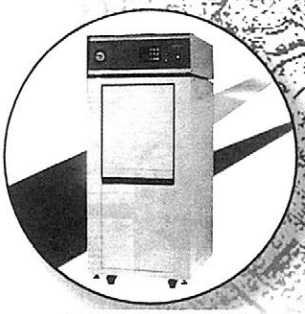
MITSUWA FRONTECH

文化財の科学・保存・修復を お手伝い致します

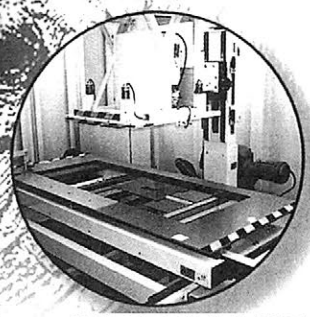
3次元計測器
三次元デジタイザー

耐光試験機
紫外線強度計照度計

実体顕微鏡
マイクロスコープ
デジタル顕微鏡



脱塩処理装置
純水製造装置
イオンクロマト
キャピラリー電気泳動
金属含浸装置



X線透過撮影装置
軟X線
高出力透過X線
大型試料室

赤外線カメラ
赤外線カメラシステム
赤外線スキャナー

株式会社 三ツワフロンテック
http://www.mitsuwa.co.jp
〒530-0041 大阪市北区天神橋3-6-24　TEL/06(6351)9677　FAX/06(6351)9694