

考古遺物用3Dデジタルアーカイブシステムの開発とデータ活用法の研究

塚本 敏夫

(財)元興寺文化財研究所

toshio@mx5.mesh.ne.jp

文化財は人類の過去の足跡を現代から未来へ伝える重要な情報資料である。文化財はその遺産を継承した人類共通の財産であり、我々には文化財を後世へ伝える義務と責任がある。そして、その文化財を残し、後世へ伝えるための技術の1つが保存科学である。

保存科学には大きく2つの役割がある。1つは『モノの保存』である。これは遺物・遺跡の持っている情報をそのままの“かたち”で残す技術である。現在の保存科学の主流となっており、その技術的背景は理化学的技術体系の延長線上に位置している。もう1つは『情報(データ)の保存』である。これは遺物や遺跡の持っている情報を“データ”として取り出し、残す技術である。この技術は遺物・遺跡の情報を写真・図化して報告書というかたちで残していく方法であり、この技術的背景には工学的な測量学や図学の方法が用いられてきた。

しかし、近年、考古学分野でもコンピュータが多く利用されるようになり、情報のデジタル化や年間1万件を超す発掘から生ずる膨大なデータの有効活用が叫ばれるようになってきている。そのようなニーズの中、近年考古学と情報科学が融合した『情報考古学』という複合領域が誕生した。そして保存科学でも、新しい側面であるデジタルアーカイブが注目されるようになってきた。

著者らは、保存処理・修復の立場から、変形する遺物の新しい記録保存方法として、アパレル産業や医療関係ですでに実用化されている非接触式の3次元形状計測システムを用いた形状データのデジタルアーカイブ技術、および研究への応用の可能性について先行研究をかさねてきた。そこで、先行研究の知見を基に①考古遺物全般を計測対象とした汎用性が高く②研究資料としても十分使用できる高精度なデータがとれ、③

誰にでも簡単に操作できる実用性の高い考古遺物専用的高精細3次元デジタルアーカイブシステムを開発したのでコンテンツと3次元データを使った応用研究の一部を紹介する。

◎埋蔵文化財の3次元デジタル化の必要性和意義

考古学は埋蔵文化財を基礎資料として扱う学問であり、遺物・遺跡の型式学的研究が基本となっている。したがって、遺物・遺跡の持っている情報を最大限に引出し、その資料的価値を残すことがたいへん重要である。しかし、年間1万件を超す発掘件数があり、また、その過程で出土する膨大な遺物を前に、遺跡保存や遺物の整理・保管・保存処理に迅速な対応をとることは難しくなっている。このような現状では、緊急発掘による遺跡情報の大部分は喪失してしまう。そして、発掘後の遺物は劣化を続け、経時変化とともに資料的価値を失っていくものも少なくない。その結果、誤った資料による考古学的研究の成果が過去の社会像を歪めたり、ひいては誤った歴史観を創出する危険性を持っている。文化財は有限なものであり、とりわけ変形の激しい埋蔵文化財は資料的価値を失わないうちに一刻も早く保存することが重要である。しかし、『モノの保存』の現状はほんの一握りの遺跡や遺物しか残せていないのが実状である。したがって、遺物の資料的価値を最大限残せるようなデジタルアーカイブ技術を開発することが急務と考えられる。この際、基本的なコンセプトは遺物・遺跡を3次元データで扱わなければならないことである。考古学の基本は遺物・遺跡の形式学的研究がベースであることは先ほど述べた通りであり、2次元の情報のみではなく、3次元の形状情報をデジタルアーカイブする必要性がある。

◎考古遺物計測における問題点と評価試験

3次元計測にはさまざまな計測原理があり、また、工業用の3次元形状計測装置でも計測対象物の形状や性格により、計測原理だけでなく計測手法（計測システム）も異なっているのが現状である。

そこで、3次元計測を考古学に応用するにあたって、既存の工業用3次元形状計測システムを用いてその評価試験を行い、その結果を基に文化財専用の3次元形状計測装置の開発研究を推進していくこととした。

各考古遺物の3次元計測における特徴

考古遺物を材質から大きく分類すると木器、金属器、土器、石器の4種類に分けられる。各材質の遺物の特徴と計測上の留意点を下記に示す。

出土木製品の特徴はまず脆弱で接触しての計測ができない点である。また、保存処理を施していない遺物については水漬けの状態での保管状態を保持しなければならず、計測に際しては乾燥変形を防ぐために短時間の計測を原則とする。表面の色調については暗色をていしてあり、乾燥変形を防ぐために水分を保持した状態の濡れ色が光を反射するという計測上の課題点が挙げられる。

金属器は材質的には鉄、銅・青銅、金、銀とバラエティーにとんでおり、表面の色調については鉄器が暗色（鉄錆色）であるのに対し、金や青銅の表面は金属光沢があり、光を反射する。また、有機物の付着も多く、計測課題も多い。計測時間については木器のように短時間での乾燥変形はないので考慮しなくてもよく、むしろ、青銅品等での鋳型の文様比較など細部の形状比

較が必要とするため精度的に高い要求がある。さらに、錆による膨張変形があり、本来の形状を知る上では3次元計測による表面形状データだけでは対応が不十分である。今後はX線CT等の非破壊の透過試験による内面の形状データとリンクさせていく必要がある。

土器は焼成条件により、表面の色調に差がある。縄紋式土器・弥生式土器・土師器や埴輪、瓦等は特に問題ないが須恵器の一部や陶磁器などでは光沢があり、光を反射する。形状的には縄紋式土器の装飾や紋様、埴輪の刷毛目等、細部の精度を必要とするものもある。

石器も石材の質により表面の色調や表面状態に差がある。砂岩系の堆積岩や風化花崗岩等の石材では脆く、接触式の計測が困難な遺物も少なくない。また、表面情報も凹凸が多く高い精度が必要なものも多い。一方、硬玉や碧玉製の石製品は磨きによる表面光沢のあるものも少なくないため、計測時の反射が問題となる遺物もある。

考古遺物計測における各計測システムの評価試験

計測システムの性能を規定する要素はセンサの計測精度、計測時間の他に計測の自由度と計測手法が挙げられる。考古遺物を計測対象とする場合、工業用製品の計測と違い計測ワークがさまざまな形状をしているため、計測装置の自由度および計測手法の違いが計測結果の良否を決める重要な要素となっている。したがって、考古遺物の形状や性格にあった計測手法を見極めることが大切である。ここでは既存の工業用3次元計測システムの中で実用性の高い5タイプの計測機（RFX-IV・ボクセラン・キュービスト・サイバーウエア・VIVID700）で比較評価を行った。

◎：優 ○：良 △：可 ×：不可

機種	方式	計測器性能					遺物種別			遺物形状			備考
		計測自由度	計測手法	視野範囲	計測精度	計測時間	木器	金属	土器	平面	円筒	複雑	
RFX-IV	パターン投影法	可変式	多視点 (任意固定)	可変 (手動)	視野の 0.3%	◎	◎	△	○	△	○	△	複数センサ可 (8台まで)
ボクセラン	レーザスリット方式	可変可	半周回転	固定	視野の 0.25%	○	○	○	○	△	○	×	複数センサ可
キュービスト	レーザスポット方式	固定	一方向 スライド	固定	視野の 0.1%	△	×	○	×	◎	×	×	オートゲイン
サイバーウエア	レーザスリット方式	固定	全周回転	固定	視野の 0.2%	△	×	△	◎	×	◎	×	センサ回転
VIVID700	レーザスキャン方式	任意自由	多視点 (任意自由)	可変 (オート)	視野の 0.13%	◎	○	○	○	○	○	△	オートフォーカス 複数センサ可

表-1

計測評価試験結果一覧表（評価試験は1997年に実施）

比較する考古遺物の要素は遺物種別で3水準（木器，金属器，土器），遺物形状で3水準（平面，円筒，複雑）の6要素で各々対となるよう木製の壺罍（木器，複雑）・青銅鏡（金属器，平面）・土師器（土器，円筒）を計測ワークとして選定した。

表-1に計測評価試験結果の一覧を示す。

まず，木製品については乾燥変形を考慮にいて計測時間が短いことが大きな選定要素であり，計測時間の短いエリアセンサが適している。

金属製品は比較的精度を必要とする遺物が多く，研究用としてのデータを取るためには計測精度の良い，ラインセンサか，エリアセンサの場合は小視野に対応可能な計測装置が適している。

土器は完形品の場合（ほとんどは破片の形だが）は円筒形であり，全周型や半周型が適している。しかし，底部や口縁部を含んだ全体の計測となるとセンサ固定式ではオクルージョン（死角）が多く問題となる。

形状でみると平面形の遺物は一方向スライド型の計測装置が適しているが，逆に全周固定型ではまったく計測にならない。複雑な形状の遺物には全周固定型や一方向スライド固定型では死角が多く，計測できない。多方向自由型が複雑な形状には適している。

◎文化財用3次元デジタルアーカイブシステムの現状と評価

現在，文化財用に開発された3次元デジタルアーカイブシステムが少数ではあるが存在する。ここではそのうちの数例を紹介する。

文化財に3次元デジタルアーカイブシステムをいち早く導入したのは国立民族学博物館である。ここでは世界各国から収集された民族資料のアーカイブに3次元形状計測システムを利用してきた。最初は既存のサイバーウェア社製の計測器システムを導入し，その後，文化財に特化した3次元デジタルアーカイブシステムを開発した。システムはレンジファインダにボクセランを複数台使用して，正面と俯瞰位置に固定した多視点計測を行う。特出する点は，色情報にウェイトを置いて，専用の照明装置を置き，カラーチャートでの色補正を行えるようになってきているところである。しかし，形状データはレンジファインダ固定のため，複雑系の資料では死角（オクルージョン）がしやすい。

東京文化財研究所では埋蔵文化財のデジタルアーカイブを目的に3次元デジタルアーカイブシステムを開発した。システムはリングガーダによるセンサ回転

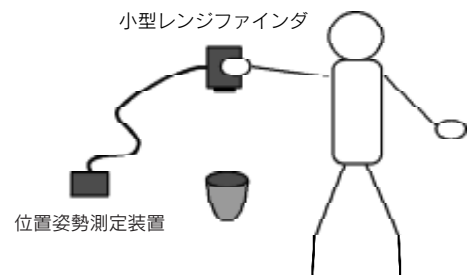


図-1 作業者手持ちによるセンサ位置指定システム

式で，大型広視野と小型狭視野の2台のレンジファインダ（浜松ホトニクス社）を併用しているのが特徴である。センサの自由度が少ないため，円筒形の土器の計測には有効だが，複雑系の遺物には対等が難しい。

その他，国際日本文化研究センターでは人骨（頭蓋骨）計測用に，奈良県立橿原考古学研究所では銅鏡の計測に3次元デジタルアーカイブシステムを導入している。また，メーカでも日立エンジニアリング社が土器に特化した外面と内面を同時に計測できるシステムを開発するなど文化財用の3次元デジタルアーカイブシステムの需要も大きくなりつつある。

しかし，現状では国立の研究機関が大規模研究費を背景に据置型の3次元デジタルアーカイブシステムを導入しているのが実状であり，高価で，レンジファインダの自由度も低く，汎用性の低い計測システムとの観が否めない。特に，考古学で対象となる埋蔵文化財は地方公共団体での需要が高く，先に述べたように計測対象もさまざまである。したがって，考古学に特化した実用性が高く，汎用性があり，しかも，安価で，使いやすい3次元デジタルアーカイブシステムの開発が望まれる。

◎考古遺物用デジタルアーカイブシステムの提案

計測試験の結果や調査から従来の方法では視点位置の自由度が高いとはいえない。そこで，考古遺物に特化した計測装置の提案を行う。ここでは，大型広視野の大型レンジファインダに代わり，小型狭視野のレンジファインダを積極的に応用するシステムを位置姿勢計測装置に接触式のデジタイザを使用する場合と非接触式のセンサを使用する場合を提案する。

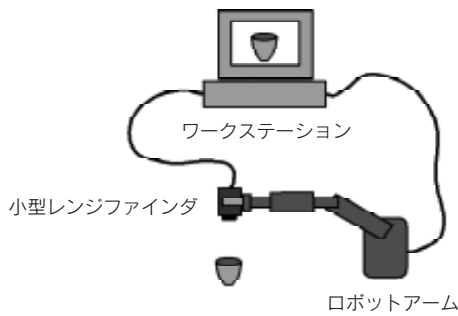


図-2
ロボット支持によるセンサ位置指定システム

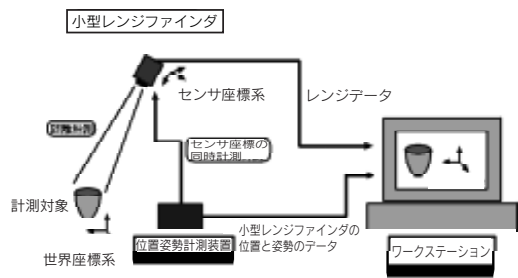


図-3
非接触式位置姿勢計測装置のシステム案

接触式位置姿勢計測装置のシステム案

図-1のように、遺物を目の前にした作業員自身が、小型レンジファインダで対象物体をマニュアルで支持し、任意の視点から部分的に手で走査し計測する。それによって、小型レンジファインダからセンサ座標系での対象物体の断片的なレンジデータが、位置姿勢計測装置から世界座標系での小型レンジファインダの3次元座標とその姿勢のデータが得られる。この部分的走査を繰り返し、対象物体全表面のデータを取り込む。次に位置姿勢計測装置(デジタイザ等)からのデータ(変換パラメータ)よりレンジデータを世界座標系での座標値に変換する。最後に座標変換された断片的なレンジデータを統合して対象物体の点表現で表された3次元点群モデルを得る。

小型のレンジファインダを用いるため、従来法では死角(オクルージョン)になってしまう壺の内側も計測が可能になる。また、小型レンジファインダは手持ちに近い状態のためふらつき等があることも考えられる。その場合、図-2のようにロボットアームやデジタイザでレンジファインダを支持させればよい。近年、この手の計測システムが数社からリリースされている。しかし、任意の方向から多数回計測するため、小型レンジファインダの位置・姿勢の計測と従来法に比べてより多くのレンジデータの統合を行う必要がある。また、規格化されていない考古遺物用に応用するにはデジタイザやロボットアームの回転曲率半径が限られているため、小型の遺物には有効だが、たとえば埴輪のような縦長の遺物計測に際しては、位置姿勢計測装置であるデジタイザやロボットアームの位置を移動させなくては安全に計測できない。そのため、大掛かりな据え置き型のシステム構成となり、高価で移動が不可能となる。

非接触式位置姿勢計測装置のシステム案

図-3に、提案する小型レンジファインダを用いた3次元計測システムを示す。システムは位置姿勢計測装置と小型レンジファインダ、制御用コンピュータから構成される。小型レンジファインダで距離計測を行い、同時に位置姿勢計測装置で小型レンジファインダの位置と姿勢を計測する。このシステムから得られるデータは、対象物体のレンジデータ(センサ座標系)と小型レンジファインダの3次元座標と姿勢のデータ(世界座標系)である。制御用コンピュータでこれらのデータを統合して世界座標系での3次元モデルの構築を行う。

図-3に示すように、小型レンジファインダで計測されたレンジデータは小型レンジファインダに固定された座標系(センサ座標系)で表されている。多視点で観測することによりセンサと対象物体が相対的に運動したことになるので、統合を行うためには、小型レンジファインダで観測されたセンサ座標系に依存したデータの座標値を、対象物体に固定された座標系(世界座標系)の座標値に変換しなければならない。したがって、この変換パラメータを知る必要がある。この変換パラメータは位置姿勢計測装置から得られる小型レンジファインダの3次元座標と姿勢(方向)のデータとなる。この際、位置姿勢制御装置として非接触型センサを用いることにより、計測用の小型レンジファインダに自由度が与えられる。センサとしては①光学式空間センサ、②磁気センサ、③別のレンジファインダが想定させる。

◎考古遺物用高精細3次元デジタルアーカイブシステムの開発

設計方針

計測実験結果から考古遺物のデジタルアーカイブ

の問題点は遺物が多種多様で複雑な形状であること、遺物の種類ごとに必要とされる精度が違うこと、さらには1つの遺物においても部位ごとに必要とされる精度が違うことである。考古遺物用の計測装置として適した特性を考えるとまず、計測手法として多視点計測が可能でしかも死角をできるだけ少なくできるようにレンジファインダに自由度があることが望ましい。また、高精度な形状計測を全面に渡って行うのが一般に望ましいが、データ量がきわめて膨大となり、普及している汎用PCで作業できない、処理が遅いという問題が予想される。遺物によって必要とする計測精度が異なるので部分的に精度を必要とする遺物に対しては荒取り(大視野)用と細部取り(小視野)用の2台のレンジファインダを併用、または汎用性を考えれば視野範囲を可変にかえられる計測装置での複合計測が望ましい。また、遺物の安全性から考えると計測遺物を移動させるのではなく、計測装置を移動されるシステムであることも望まれる。

設計仕様

計測対象・計測範囲：計測対象は立体形遺物(例銅鐸など)とし、乾燥変形する木製品も計測対象とする。計測範囲はミドルレンジ(5~80cm)とする。

センサ仕様：計測精度は高精細(0.5mm以下)である、視野範囲が可変である、計測時間が早い、形状だけではなく、表面カラーも同時に計測できる。

計測方式：非接触計測であること、遺物は静止させたまま計測できること、複合計測が可能。

操作・機動性：完全自動ではなく、人手はある程度介してもよいが、出張計測を想定し、操作性/移動性のよい配線と運搬性を考えた構造である。

考古遺物用高精細3次元デジタルアーカイブシステムの構成

設計仕様に基づき、図-4に示すような考古遺物用高精細3次元デジタルアーカイブシステムを採用した。

計測用レンジファインダは非接触式で高精細なレンジデータが取れ、計測スピードが速く、視野範囲を変えられ、同時に画素ごとにRGBカラー値を得られるミノルタ製VIVID900を採用した。計測方法は遺物の安全性から遺物設置台を固定し、別途、3次元計測装置を固定して油圧で上下動、チルト可能な移動台車を用意した。オペレータは、移動台車を考古遺物の回りを周回させ、図-5に示すように、移動台車に制御用PCを搭載して1マンコントロールを可能とした。3次元計測装置を遺物全体や考古学的に有為な部位を狙い、任意の位

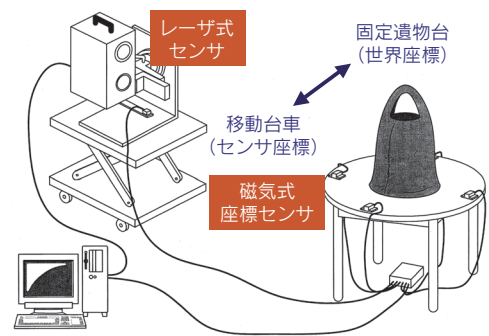


図-4 デジタルアーカイブシステムの構成イメージ

置に移動して非接触計測を行う。また、その際、問題となっていた多視点画像の統合方法として、レンジファインダの位置姿勢計測装置に磁気式座標センサを採用した。遺物設置台座標を世界座標系として固定し、磁気センサを4方向に設置し、磁気センサより計測装置座標を世界座標系に変換する。これにより、計測装置座標で得られる形状データが世界座標系として活用できる。磁気センサ座標-計測装置座標間については正確な立方体等の専用較正治具を用いて、事前に計測することであらかじめ較正しておく方法をとった。図-6にこのシステムでの計測手順のフローを示す。

多視点画像の半自動統合

多視点からの複合計測した3次元データを統合すれば、対象の全周囲の3次元デジタルアーカイブが完了するわけだが、この統合をすべて手作業で行うのはきわめて工数がかかり、大変な作業となる。

そこで、本システムではこの統合作業の半自動化を計った。

VIVID900の視点情報を磁気センサを用いて割り出すことで、異なる視点からの3次元データを自動的に統合しようとするシステムである。

この非接触3次元計測装置の近傍と測定対象の近傍には磁気式の3次元位置・姿勢検出センサが配置される。このセンサとして、ポヒマス社製のFASTRAKを用いた。本センサはトランスミッタと呼ばれる3軸方向に逐次方向を変えた磁界発生装置とその磁界を3軸方向に巻かれたコイルで受けるレシーバの組からなる。このセンサは1トランスミッタに対して、4レシーバを接続可能で、4センサを接続した場合、30Hzの測定周期で各レシーバの3次元的位置、姿勢を示す3軸の回転角を最大距離

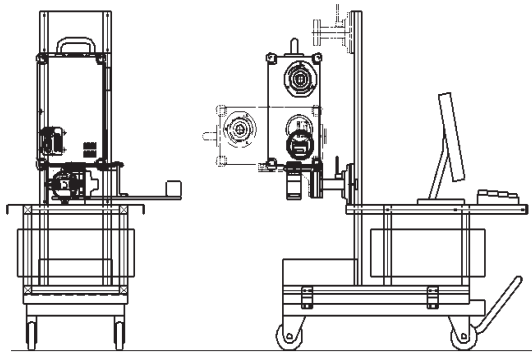


図-5
3次元計測装置のシステム構成図

305cmの範囲まで出力する。精度は距離が離れると低下することになるが、760mm以下の距離にある場合、その精度はXYZ位置で0.8mm、回転角については0.15°の精度を持つ。この角度誤差は、760mm位置で2mm程度の位置誤差に相当する。

キャリブレーションの原理

計測テーブルに立方体をおき、この立方体の1つの頂点を世界座標の原点に、頂点から伸びる各稜線をXYZ各軸とする。VIVID900で頂点付近を計測し、計測された3つの平面から、頂点と各軸を計算する。これらはVIVID900の座標系からみた世界座標系となるから、これらより、 C_{vw} が求まる。Polhemusセンサの出力から、各レーザーごとの C_{tr} が測定される。世界座標での計測点の座標を P_w 、VIVIDでの座標を P_v とすると、次式となる。

$$P_w = C_{vw} P_v$$

$$= C_{rw} C_{tr} C_{vt} P_v$$

本システムの狙いはVIVID900が対象を囲む任意の位置から入力した場合にも、安定して正しい世界座標系に変換することである。このため、この立方体の4隅を*i*回 (*i*は通常キャリブレーションにおいて4回) 入力することで、VIVID900を対象を囲むように広い範囲を移動させ、立方体の入力を行う。

これら4ショットのデータから最もシステムの状況に適合した C_{vt} 、 C_{rw} をコスト関数*E*を用い、

$$E = \sum_i |P_{wi} - C_{rw} C_{tr} C_{vt} P_{vi}|$$

これが最小となるように共役勾配法を使って求める。

図-7にキャリブレーションで求める変換の概念図を示す。

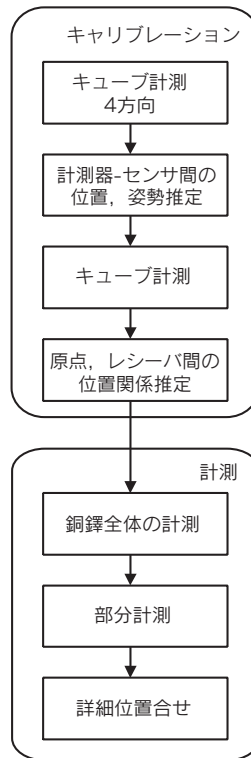


図-6
計測フロー

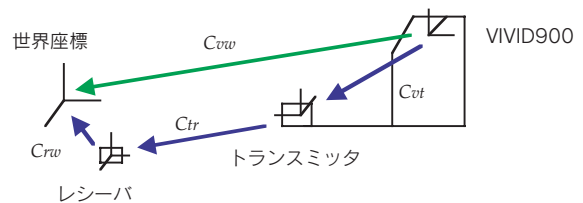


図-7
キャリブレーションで求める変換

◎複雑系考古遺物の計測結果

考古遺物用3次元デジタルアーカイブシステムで計測したコンテンツの一部と研究への応用例の一部を紹介する。

複雑系考古遺物の計測例

考古遺物用3次元デジタルアーカイブシステムで計測したコンテンツの一部を紹介する。従来の計測装置では計測が難しかった複雑系の考古遺物での計測例を示す。ここでは銅鐸、形象埴輪、鉄製甲冑での計測例を示す。



図-8
左：テクスチャマッピング 右：シェーディング
銅鐸の計測結果



図-10
舟形埴輪のシェーディング

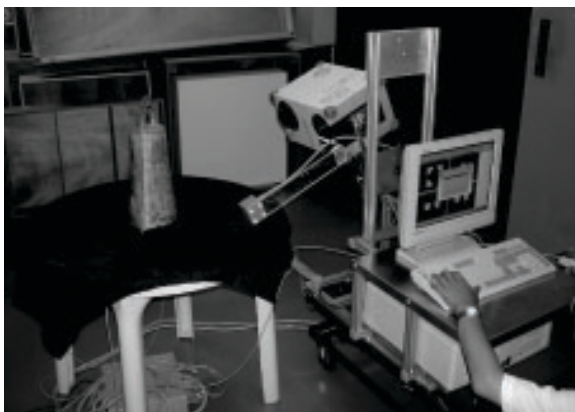


図-9
銅鐸の計測風景



図-11
人物埴輪のテクスチャマッピング

(1) 銅 鐸

図-8に東京国立博物館所蔵の気比4号銅鐸の計測結果を示す。テレレンズで片側12ショット、計24ショットの計測データを張り合わせた。

細部の紋様まで分かる良好なデータが得られた。

図-9に銅鐸の計測風景を示す。

(2) 形象埴輪(船)

図-10に(財)大阪市文化財協会所蔵の高廻り2号埴輪出土の舟形埴輪の計測結果を示す。ミドルレンズで36ショットのデータを貼り合わせた。部分的に死角の部分のデータが抜けているが良好なデータが得られた。

(3) 形象埴輪(人物)

図-11に大谷大学所有の人物埴輪の計測結果を示す。ミドルレンズで24ショットのデータを張り合わせた。手の一部分のデータはとれていないがほぼ全体の形状

データが良好にとれている。

(4) 鉄製短甲

図-12に小野市教育委員会所蔵の小野大塚古墳出土の鉾留短甲の計測結果を示す。ミドルレンズで18ショットを張り合わせた。内面については部分的に死角の部分のデータが抜けているが良好なデータが得られた。

◎3次元デジタルデータの研究への応用応用

計測した3次元デジタルデータの研究への応用例の一部を紹介する。

(1) 同范品の形状比較

考古遺物の新しい形状比較法として3次元計測で得られた3次元データでの立体比較が考えられる。ここでは

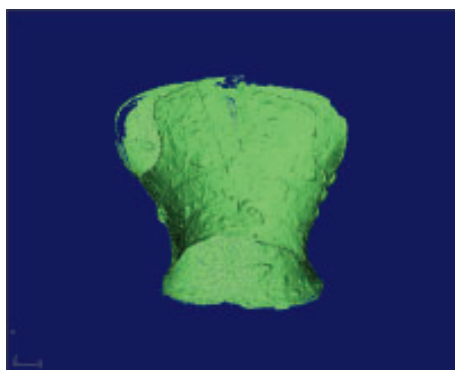


図-12
鉞留短甲のシェーディング

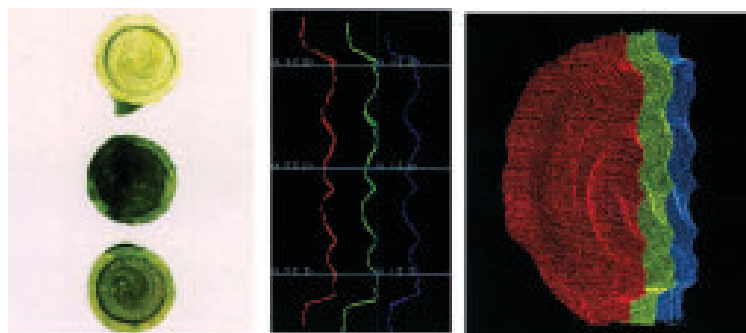


図-13
左：比較した瓦 中：縦断面の比較 右：半断面の立体比較
瓦の同範比較



図-14
土付銅鐸のレプリカ作製

同じ型で造られた元興寺出土の同範瓦での事例を図-13に示す。

任意断面での差分表示や立体的な形状比較が容易に行える。鏡や銅鐸などの同範関係(同じ型で造られた鑄造品の兄弟関係)の定量的な判定に利用できる。

(2) デジタルデータによるレプリカ作製

現在のレプリカは直接遺物から型を取る方式であり、脆弱な遺物に対しては対応できない。しかし、従来の技術では型取りできない遺物でも非接触で計測したデータからレプリカを作製することが可能となる。ここでは加茂岩倉遺跡から出土した銅鐸についての事例を図-14示す。

レーザー計測したデータから光造形で原型を作り、実際に銅鐸に付着していた土を付けるなど既存のレプリカ作成の手法を使って重量感や質感までリアルに再

現した。

◎おわりに

考古遺物用高精細3次元デジタルアーカイブシステムの開発を行い、今まで計測が困難だった立体的で複雑な考古遺物を簡易に計測することが可能となった。また、取得した3次元データを利用して立体形状の比較が簡易に行えることが確認できた。今回紹介した、考古遺物専用に設計された3次元形状計測装置は類例に乏しく、早期に開発を完了の上、関係諸氏に評価を受け、さらなる改良を加えたい。今後は多くの考古遺物の計測を行い、保存科学分野や考古学分野での3次元デジタルデータの応用研究を進める予定である。また、本デジタルアーカイブシステムで得られた3次元データを研究用途としてだけではなく、デジタルミュージアム等への新しい展示用途として、広く一般の人々にも公開できるよう、その利用法や活用法について探っていきたい。

参考文献

- 1) 塚本敏夫: コンピュータを使った文化財の記録, 保存科学の今そして未来, pp.76-90 (1999).
- 2) 増澤文武, 塚本敏夫, 佐藤宏介 他: 三次元形状計測による文化財のデータ保存システム構築と応用—考古学分野を中心として—, 平成7~8年度文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(2)研究成果報告書(1997).
- 3) 塚本敏夫: 考古遺物の三次元デジタル化の現状とその応用, 元興寺文化財研究所30周年記念論集, pp.224-232 (1997).
- 4) 塚本敏夫: 三次元形状計測を用いた考古遺物の形状比較, 人文科学と情報処理, No.14, pp.69-74 (1997).
- 5) 佐藤宏介, 塚本敏夫, 村田忠繁, 川本耕三, 伴好弘, 藤澤典彦, 小林謙一, 難波洋三, 古谷毅, 今井重見, 棚田寿夫: 考古遺物用高精細3次元デジタルアーカイブシステムの設計, 人文科学とコンピュータシンポジウム2000論文集, 情報処理学会, pp.181-188 (2000).
- 6) 今井重見, 棚田寿夫, 佐藤宏介, 多井賢一郎, 塚本敏夫, 村田忠繁, 川本耕三, 伴好弘, 藤澤典彦, 小林謙一, 難波洋三, 古谷毅: 考古遺物用高精細3次元デジタルアーカイブシステムの試作, 人文科学とコンピュータシンポジウム2001論文集, 情報処理学会, pp.181-188 (2001).

(平成14年8月16日受付)