

考古遺物用高精細三次元デジタルアーカイブシステムの設計

佐藤宏介	大阪大学大学院基礎工学研究科
塚本敏夫、村田忠繁、川本耕三	(財)元興寺文化財研究所 保存科学センタ
糊田寿夫、今井重晃	ミノルタ株式会社高槻研究所
伴 好弘	神戸大学総合情報処理センタ
藤沢典彦	大谷女子大学文学部
小林謙一	奈良国立文化財研究所 埋蔵文化財センタ
難波洋三	京都国立博物館
古谷 毅	東京国立博物館

概要 主に鋳造により製作された考古遺物を対象にし、著者らが現在製作中の高精細三次元デジタルアーカイブシステムの概要を紹介する。レーザ方式の三次元計測装置を移動台車上に設置し、遺物を周回するように計測することで対象の全周形状データを得るものである。また計測された三次元データの考古学研究への活用法として、拓本画像の自動作成と同範鋳造遺物の鋳造欠陥部位の可視化についてのシミュレーション実験結果を示す。

A High-Definition Digital Archiving System for Archaeological Properties

Kosuke Sato (Osaka University), Toshio Tsukamoto, Tadashige Murata, Kozo Murata
(Gangoji Archaeological Properties Research Institute),

Hisao Norita, Shigeaki Imai (Minolta Co, Ltd.), Yoshihiro Ban (Kobe University)

Norihiko Fujisawa (Ohtani Women's University),

Ken'ichi Kobayashi (Nara National Cultural Properties Research Institute),

Yozo Namba (Kyoto National Museum), Tusyoshi Furutani (Tokyo National Museum)

This paper introduces a newly developed high-definition digital archiving system which is specialized to archaeological properties made of bronze. The system is able to obtain the high-definition entire three-dimensional data of an archaeological property by manually rounding an accurate 3D laser rangefinder on a mobile table. This paper also introduces two examples of utilization on measured 3D data of the archaeological properties: computer generation of rubbed copy of the archaeological properties and differential extraction among archaeological bronzes cast by the same mold.

1. はじめに

考古学の研究は、出土した遺物の型式学的研究が基本となっている。したがって、遺物の持っている情報を最大限に引き出し、その資料的価値を残していくことはたいへん重要である。しかし、膨大な出土量を抱え、保管、保存処理に対して迅速な対応をとることが難しい現状では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多い。

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つ。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な価値を失わないうちに一刻も早く保存することが将来的に大きな課題である。しかし、理科学的手法を用いた現在の保存処理レベルでは処理中の変形を完全に防ぐことは難しいものもある。したがって、より精度の高い記録保存方法と比較研究方法の開発が望まれる。

本稿では、主に鑄造により製作された考古遺物を対象にした高精彩三次元デジタルカーカイブシステムを、12・13年度にかけて実施中の試作研究の一部として構築中[6]であるので、その概要と計測三次元データの活用法の一例を紹介したい。さらに、得られた形状データの考古学的研究活用方法として、画像処理システムの応用により、三次元形状計測装置により得られた形状データをコンピュータ上で立体的な形状比較を行い、鑄造遺物の定量的なデータ比較が可能な新しい研究手法の提示を行いたい。

2. 考古遺物の記録保存

遺物の記録保存は一部で写真測量からの実測図化の試みがなされているが、ほとんど手作業による実測図の作成と写真による二次元的なデータ保存が主である。特に、型式学的研究のベースとなっている実測図の精度は固有の技能差や主観が反映されており、客観的なデータとは言い難い。また、記録媒体の劣化や複写によるデータの二次変形も大きな問題となっている。さらに、膨大な量の遺物を研究資料や歴史資料として一般的に公開するには限界があり、人類共通の文化遺産として研究者のみならず、一般の人々にも埋もれたデータの公開や運用を計ることも次の大きな課題である。

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三次元形状計測装置を用いた形状データのデジタル保存法、及び研究への応用の可能性について先行研究[1-5]を重ねてきており、その結果、基本的な形状データの記録保存に有効であることが確認された。また、三次元データを使った新しい形状比較法もある程度

研究に応用できることが確認された。しかし、計測対象として最も難しい文化財へ応用するにあたって、既存（工業用）の計測装置では計測方式や対象視野を遺物の材質、形状、情報量の違い等により変えなくてはならないことや、研究方法に応じて新しい形状データの画像処理方法を開発する必要があることが明らかになった。

考古遺物専用が開発された三次元形状計測装置や考古遺物を正確に計測できる類似の三次元計測システムは国内および国外にもなく、変形する遺物情報の正確で迅速なデータ保存および情報公開のため考古遺物専用の三次元形状計測装置の開発が不可欠である認識に至った。そこで、先行研究の知見を基に考古遺物全般を計測対象とした汎用性が高く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、誰にでも簡単に操作できる実用性の高い考古遺物計測専用の三次元計測装置の開発を行うことを第一の目的とする、高精細三次元デジタルアーカイブシステムを構築中である。

3. 考古遺物用高精細三次元デジタルアーカイブシステムの設計

3.1 要求仕様

三次元デジタルアーカイブシステムとしては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、データ量が極めて膨大となり、大型コンピュータならともかく普及している汎用PCで作業できない、処理が遅いという問題が予想される。そこで、考古遺物研究として許容できる技術仕様を策定することは、今後の同種の三次元デジタルアーカイブシステムを設計する際に有益である。著者らは、考古遺物に特化した高精細三次元デジタルアーカイブシステムに必要な機能として、

- 1) 大型遺物は考古学上興味ある一部のみを高精度で計測する
- 2) 小領域を高精度で、遺物全体は全周を低精度で計測する
- 3) 考古学上重要な国宝加茂岩倉銅鐸（20～80cm）が計測できること
- 4) 銅鏡や瓦の同範分析が可能なこと
- 5) 遺物は静止させたまま計測できること
- 6) 非接触計測であること
- 7) 形状だけではなく、表面カラーも同時に計測する
- 8) 完全自動ではなく、人手はある程度介してもよい
- 9) 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こと

の見当を得た。

3. 2 全体構成

三次元形状計測装置は工業製品用以外でもアパレル、医療、人間工学など人体計測用としてもすでに実用化されている。考古遺物の形状データのデジタル保存の実用化に際しての問題点は遺物が多種多様で複雑な形状であることと、遺物の種類ごとに必要とされる精度が違い、また、ひと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点である。この課題に対して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台のセンサーを併用し、荒取りしたのち、より詳細なデータを必要とする部位、データが取れなかった部位及び固定されたセンサーでは死角となる部位などをデータを確認しながら細部取り用センサーを任意の位置に移動させて分割計測する複合計測で対応する。

3. 1の要求仕様に基づき、図1に示すような考古遺物用高精度三次元デジタルアーカイブシステムの構成を採用した。遺物設置台は固定され、そこに磁気センサを4方向に設置する。別途、油圧で上下動、チルト可能な移動台車を用意し、三次元計測装置を固定する。この三次元計測装置は、レーザー方式で形状計測するだけでなく、画素毎にRGBカラー値を得られるものである。オペレータは、移動台車を考古遺物の回りを周回させ、三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、非接触計測を行う。

その際、技術的な課題となるのは、遺物設置台座標、磁気センサ座標と計測装置座標との間の座標合わせである。遺物設置台座標を世界座標系として固定し、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事前に計測することで用いて、あらかじめ較正しておく。

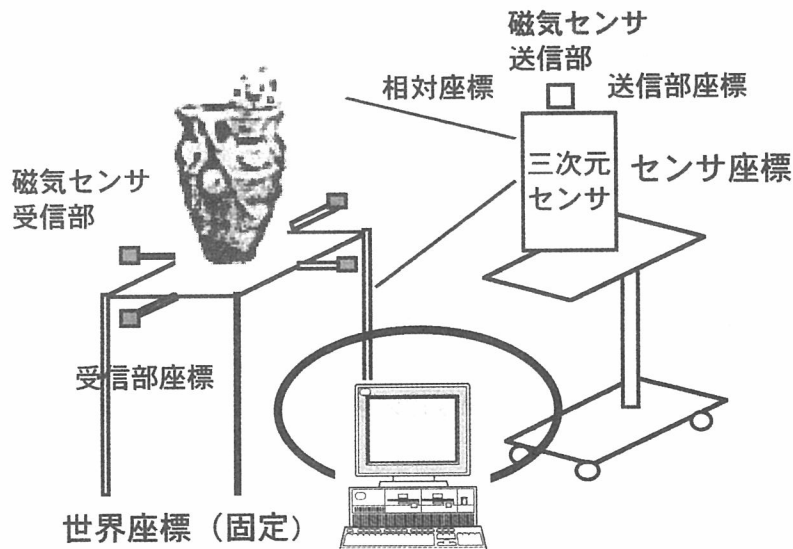


図1 機器全体構成

4. 考古遺物高精細三次元デジタルデータの活用

4. 1 拓本画像自動作成

拓本は遺物表面の凹凸情報を二次元の濃淡画像に可視化するので、一種の三次元可視化法ともみなすことができ、またその作成は比較的簡便であるので考古学分野では非常に多用されている。しかし、拓本採取時に墨や水が使用されるので貴重な遺物を汚損する危険性がある。また、細かい紋様を抽出することが困難であることに加え、作業者の熟練度により仕上がり状況が大きく影響を受ける問題点がある。そこで、3章で紹介した高精細三次元デジタルアーカイブ装置により得られたデータから、画像処理技術を用いて、熟練者が作成したのと同等の品質の拓本画像を作成することを試みた。

現在、当該高精細三次元デジタルアーカイブ装置は製作中であるため、接触式形状計測装置（デジタイザ）を用いて対象物の形状を計測し、距離画像 [7]（画像データの構造をなしているが、画素の値として明暗や色データの代わりに、高さデータが記録されているもの。メッシュに区切られた数値地図のようなもの）を得た。その距離画像に対して比較的大きなサイズのガウシアンフィルタを施して得た平滑曲面を、水で濡れてなだらかに変形しながら対象表面の凸凹に貼り付く拓本紙の近似とした。この拓本紙の近似曲面と対象表面凸凹との差分を計算し正負の判別処理を画素毎に行。正なら凸部ということでタンポにより墨が付着する、負なら凹部ということで墨がまったく付着しないと処理する。凸部はその突起量に応じて、墨が付着量、つまり濃淡値を制御する。図2に、本手法により作成した銅鐸模型と新 500円玉の拓本画像を示す。距離画像では微妙な数値の変化でかしかない、レリーフ構造がはっきり視認できるようになっている。

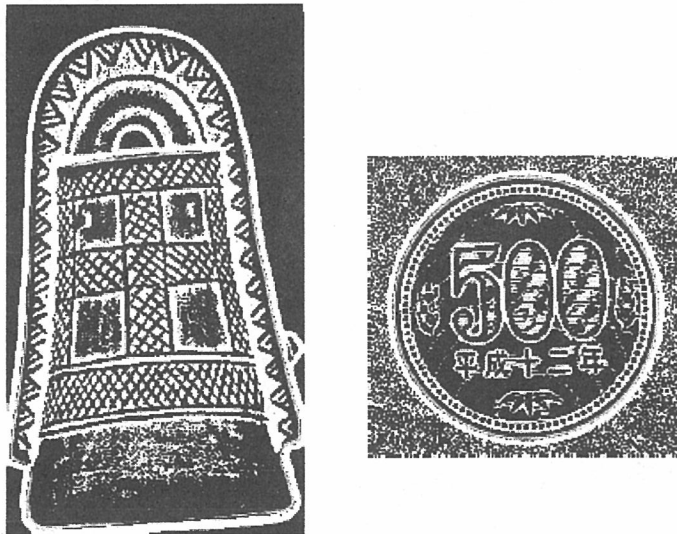


図2 三次元データから自動作成した拓本画像の例

4. 2 遺物変化の抽出

青銅器は石型や年度型から鑄造して作成される遺物である。一般に一つの型から数個の鑄造品が生産されたと推定されているが、溶融青銅の高温による鑄造毎に型は相当な劣化を受ける。同一の型から鑄造された製品群は、同範関係にあると呼称されるが、同範の製品の中でも鑄造される順番に型の劣化が進むので、後のものほど型の劣化に対応した欠陥が発生する。つまり、型にひび割れが入れば、その後の製品にはひびが盛り上がった突起が表面に形成される。逆に、この表面結果を精査すれば、同範関係の製品に対して鑄造順を判定することができる。

以下では、得られた形状データの画像処理技術を応用し、三次元形状計測装置により得られた形状データを直接、コンピュータ上で立体形状比較を行い、同範関係の遺物間の差異欠陥を可視化してシミュレーション実験を示す。

図3にシミュレーション実験に用いた銅鐸模型とその欠陥品を示す。今回、欠陥品は、正常なものに細くした粘土を表面に付着させること鑄造欠陥を模擬することで得た。図4は、4. 1節の実験と同じく接触式デジタイザにより得た形状データに対して、シェーディング画像を作成したものである。これは表面の濃淡模様によって陰影づけられているのではなく、凹凸のみによって陰影を合成した画像である。遺物表面は汚損や劣化、酸化具合による濃淡は異なるが、このように凹凸のみを可視化した画像では、純粹にそのレリーフ構造のみを観察することができる。

図4(c)は、銅鐸模型の正常品と合成鑄造欠陥品との形状データの差分の値を、画像処理技術により濃淡変化として可視化したものである。同一形状であれば差分は零であるので、画像中白く抜けることになるが、差分が発生している箇所、つまり鑄造欠陥がある箇所が黒くなり、非常に判別しやすい画像に変換されている。

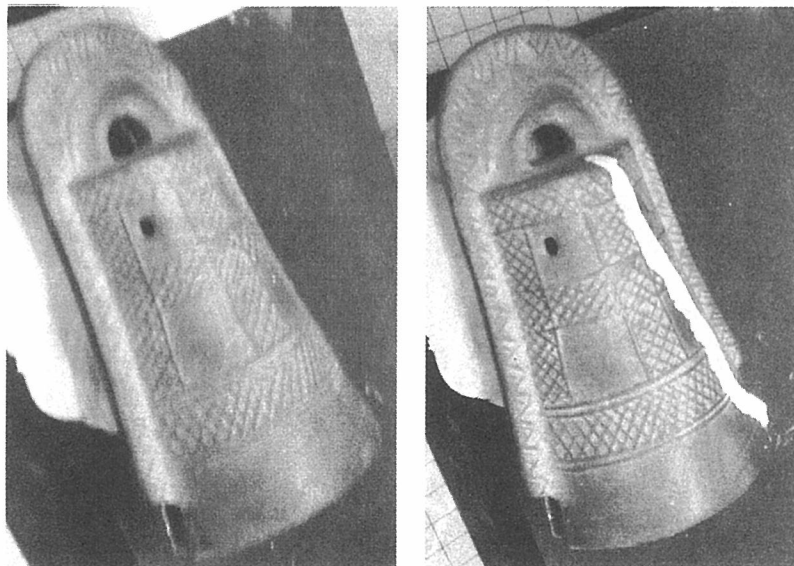


図3 (a) 銅鐸模型、(b) 鑄造欠陥模造を付着させたもの

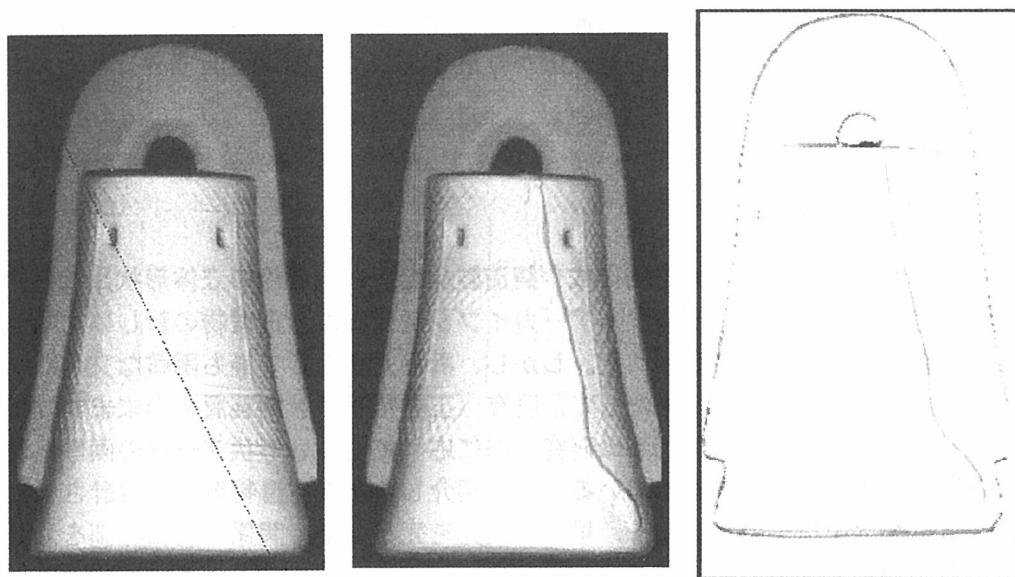


図4 (a) 図2 (a) の陰影付画像、(b) 図2 (b) の陰影付画像、(c) 差分距離画像

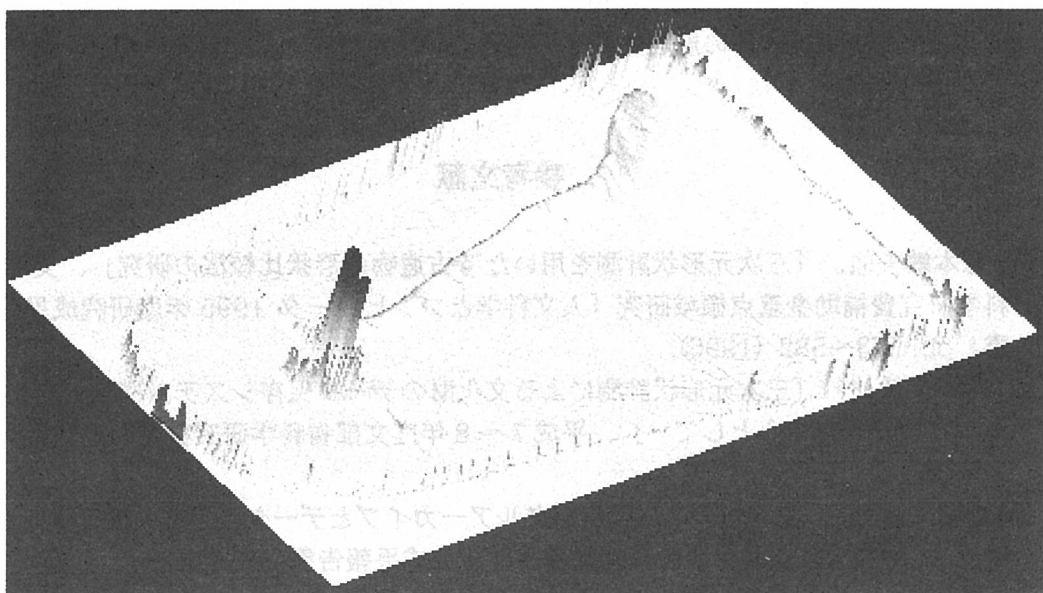


図5 図3 (c) 差分距離画像の俯瞰図

また、図5では、形状データの差分値を高度に変換し俯瞰図にしたものである。鑄造欠陥の場所だけでなく、その量についても、よく観察することができる。しかし、紙面垂直方向に対して形状データの差分を計算したため、銅鐸の肩の部分は鑄造欠陥の厚み（盛り上がり量）を非常に浅い角度から見ているため、大きな数値に

置き変わってしまった。これは表面の法線方向を取得し、その方向毎に形状データを差分することで、鑄造欠陥の盛り上がり量を正しく可視化可能である。

5. おわりに

4章で紹介した、拓本の自動作成や鑄造製品での同範関係の立体形状比較の例により、考古遺物用三次元デジタルアーカイブシステムは考古遺物の新しい比較法として有効であることが確認された。しかし、計測対象として最も困難な文化財とりわけ考古遺物へ応用するにあたって、既存（工業用）の計測装置そのままでは対応が難しく、考古学における個々の研究方法に応じて新しい形状データの画像処理方法と活用法の開発する望まれている。今回紹介した、考古遺物専用に設計された三次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。

また、本デジタルアーカイブシステムは研究用途としてだけでなく、デジタルミュージアム等への新しい展示応用についてもその利用法や、遺物の光沢感までアーカイブする新手法 [5] への展開を探っていきたい。

参考文献

- [1] 塚本敏夫他、「三次元形状計測を用いた考古遺物の形状比較法の研究」、文部省科学研究費補助金重点領域研究「人文科学とコンピュータ 1995年度研究成果報告書」pp. 573～582 (1996).
- [2] 増澤文武他、「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成果報告書 (1997).
- [3] 増澤文武他、「文化財の3次元デジタルアーカイブとデータ活用法の調査研究」、平成11年度文部省科学研究費補助金基盤研究成果報告書 (1999).
- [4] 佐藤宏介、「立体形状の類似性から検索可能な出土品 3D データベース」、文部省科学研究費補助金重点領域研究「人文科学とコンピュータ 1998年度研究成果報告書」(1999).
- [5] 佐藤宏介、「ホトメトリック能動照明に基づく超高品質三次元物体デジタル記録法の研究」、平成11～12年度文部省科学研究費補助金基盤研究 (2000).
- [6] 塚本敏夫他、「考古遺物用三次元形状計測システムとデータ活用法の研究」、平成12～13年度文部省科学研究費補助金基盤研究 (2000).
- [7] 井口征士、佐藤宏介、「三次元画像計測」、昭晃堂 (1990).