

## 文化財保存修復における 三次元デジタルアーカイブの可能性

岡本篤志 牧野隆夫 長島茂 上野恵士  
吉備文化財修復所

文化財保存修復を行うのと同様に保存修復過程の記録を行うことは、必要不可欠な活動である。特に仏像では、形状を記録するために様々な方法で記録が行われてきたが、正確さに欠けていた。しかし、非接触三次元計測機を用いることで、文化財の立体形状を正確に記録することが可能となった。この技術を用いることで、形状を三次元的に記録するだけでなく、採寸やレプリカ制作といったデータの二次利用も期待できる。

本論では、静岡県指定文化財「善名寺木造薬師如来坐像」の修理に先立ち、修理前の立体情報を非接触三次元計測機で記録保存した。本事例を取り上げ保存修復における三次元デジタルアーカイブの可能性と、この技術が保存修復の分野で普及していくためにはどうすればいいのか、文化財保存修復に携わる者の立場から報告する。

### **The possibility of the 3-dimensional digital archives in cultural property conservation**

Atsushi Okamoto Takamo Makino Shigeru Nagashima Eiji Ueno  
Kibi restoration studio of cultural property

It is indispensable to record the process of conservation and restoration as well as to conserve and restore the cultural property. Especially the Buddhist statues, various methods were invented in order to record their shape, although each method lacked its correctness.

By using the non-contact 3D digitizer, it has become possible to record the shape of a cultural property correctly. Using this technology we can expect not only to record the shape of object in three dimensions, but also to apply the data of this record secondarily for measurement and for making replica and so on.

In this paper, it is reported that before restoration we recorded and preserved the shape of the “seated statue of Yakushi Nyorai in Zenmyo-ji temple” with the non-contact 3D digitizer. Furthermore, from the position of conservators taking this case we consider the possibility of the 3D digital archives and how to extend this technology in this field.

---

東北芸術工科大学 美術史・文化財保存修復学科

Tohoku University of Art & Design Department of Art History and Conservation

東京貿易テクノシステム株式会社

TOKYO BOEKI TECHNO·SYSTEM LTD

## 1 はじめに

文化財保存修復では、自然科学的な手法（保存科学）をはじめとし、様々な技術の応用と伝統的な保存修復技術を駆使して、文化財が守られている。むろんコンピュータなどデジタル技術の応用も保存修復の現場で活用されてきている。

保存修復を行うのと同様に保存修復過程の記録を行うことは、必要不可欠な活動である。医療に例えると、患者の病歴や投薬状況・レントゲン写真・検査データを参考にすることで患者に適切な処置が行える。同様なことが、文化財にも当てはまる。実際、保存修復を行う際には、医療同様に様々な調査や実験が行われ処置方法に至るまで、その記録は報告書と言う形で記録されてきている。すなわち、「文化財のカルテ」を作成することで、後世において再度保存修復を行う際、過去の記録から、より適切な処置を施し、後世へ伝えていくことができるのである。修理前後の詳細な記録を後世に残すことは「文化財の保存史」「後世への継承」の観点からも重要であることは言うまでもない。特に、仏像などの文化財では、立体形状を記録するために様々な方法を用いてきた。では、先人達はどのようにして記録を遺してきたのであろうか。

形状の記録方法としては、絵画や図面、拓本による形状・文様の写し取りに見られる二次元資料や型取りによる三次元資料、法量（採寸）などがある。明治時代には、廃仏毀釈で危機に瀕した文化財の現状調査のため当時の最新メディアであった写真を用い記録が行われた。先人達は、写真・絵画等様々な方法で、詳細な形状情報を記録しようと努めてきた。これらの記録は、今日に至るまで保存修復活動、美術研究等、様々な分野で重要な資料として活用されている。

しかし、先に述べた二次元資料や写真では、三次元形状を二次元に記録しており、立体情報としては正確に欠ける。実際、写真から像の模刻をして、実物と比較すると形状が異なることが多々ある。型取りでは、レプリカとして博物館に展示されているように正確かつ精巧な形状を記録することができるが、同時に型取りを行う際に文化財を破損してしまう危険も伴う。また、型取りを行うには長い日数がかかる。脆弱なものや信仰上、触れることを嫌う文化財もあり型取りで記録していくことも困難である。したがって、立体文化財の形状記録には、非接触であり現場で短時間に立体形状を計測できることが求められる。

以上のことから、非接触三次元計測機（3D レンジセンサー）を用いて立体文化財の形状計測を行うことが、保存修復の記録方法として有効であると思われる。美術工芸品の計測としては、東京大学生産技術研究所丸安研究室が行った「高德院本尊阿弥陀如来坐像」（通称：鎌倉大仏）の写真測量<sup>1</sup>からはじまり、非接触三次元計測機（レンジセンサー）を用いたものとしては、元興寺文化財研究所「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」<sup>2</sup>や東京大学生産技術研究所池内克史氏「高德院本尊阿弥陀如来坐像」「東大寺盧舎那仏坐像」（通称：東大寺大仏）の計測が行われてきている。<sup>3</sup>このように、文化財の記録に三次元計測技術は寄与しているが、残念ながらこの方法が文化財保存修復分野で普及しているとは言い難い。

本論では、静岡県指定文化財「善名寺木造薬師如来坐像」の修理に先立ち、修理前の立体情報を非接触三次元計測機で記録保存した。本事例を取り上げ保存修復における三次元デジタルアーカイブの可能性と、この技術が保存修復の分野で普及していくためにはどうすればいいのか、文化財保存修復に携わる者の立場から論じてみたいと思う。

## 2 善名寺木造薬師如来坐像の計測について

### 2-1 善名寺木造薬師如来坐像の現状

平安中期の作品で、伊豆半島にある坐像としては、美術史上貴重な位置付けの像である。像高約1.5メートル、材質はカヤの一木造り。元禄2年の修理名札があり、現状の表面を含め、大がかりな修理を受けている。表面布貼り・漆箔・彩色は後補のものである。

朽損の著しい部分もあるが、形状の後補箇所は少なく当初の形を遺した貴重な像である。



写真 1 善名寺薬師如来坐像 修復前写真(吉備文化財修復所)

### 2-2 計測における注意点

計測対象物が文化財であることから、慎重に計測を行わなくてはならない。まず初めに念頭に置くことがある。それは仏像などの場合、美術品であると同時に信仰の対象であることである。対象物には、敬意をもって接し、寺院関係者の理解と協力を配慮することが必要である。次に、不注意による人為的事故が想定される。このような事故を防ぐため、作業においては、全体の作業を監視する監督者、計測対象物の異常を監視する者、計測機を扱う者と補助者を置くことで、ミスを予防するようにした。特に計測機の接触・落下による事故を防ぐため、常に計測機の横に人を置き計測を行った。

## 2-3 三次元計測について

今回は、steinbichler 社 COMET400(写真2)を使用して計測を行った。本計測機は、ハロゲンランプによるコード化パターン光法(空間コード化法)を用いている。計測対象物に直線状の格子模様のパターンを投影し、物体空間位置に特徴付けを行うことで座標を得るものである。1回の計測時間は約30秒で最大42万点の三次元座標データを取得することができ、非接触かつ短時間で精度の高い立体計測を行うことが可能である。また、計測範囲よりも大きなものでも、分割計測することが可能なことから、今回のように大型の仏像も計測することができた。

### テクニカルデータ<sup>iv</sup>

測定範囲：400 mm(X) × 300 mm(Y) × 300 mm(Z)。

計測精度(z)：±0.1 mm

計測時間(1ショットあたり)30秒



写真2 COMET400

## 2-4 計測方法及び記録

計測は、実際に修復を行う吉備文化財修復所にて行った。計測方法としては、仏像の正面・両側面・背面を基準とし、分割計測を行った。仏像は、車の付いた作業台に安置されており像自体を動かすことが可能となっていた。しかし、像自体が大きいこともあり必要以上に台車を動かすことは避け、移動可能なカメラスタンドに計測機を取り付け、計測機自体を移動させる方法で分割測定を行った。特に、頭部は細かい彫刻がされており死角が多いので、様々な方向から分割測定を行うことにした。

各分割計測したデータは、その都度モニターで計測結果を確かめながら作業を進行していった。分割計測したデータを張り合わせるために、本機に付属しているソフトを用いて張り合わせを行った。通常、工業製品などの場合は、ターゲットを対象物に貼り付け、それを参考マークにして位置合わせを行うことができるが、文化財ではこのような方法をとることができない。したがって、今回のような場合では、特徴のある彫刻部分や釘跡などをターゲットにして位置合わせの参考マークとした。コンピュータ上で位置合わせを行い貼り合わせた。分割計測数、約140カット、測定点群数、約4000万点で構成されている。8時間で像全体の計測が完了した。



写真3 計測風景

原本となるデータは、張り合わせを行いOBJデータ・CADデータ・STLデータの3種類で保存した。なお人為的な形状情報の変化を最小限にするため、この原本データでは、死角となり計測できなかった部分に関して、あえて穴埋めなど修正を行っていない。

## 2-5 計測結果

計測結果は、想像していた以上に良い結果を得られた。特に頭部の螺髪部分は、形状が複雑で計測が難しい箇所であるが細部まで計測できた。(写真5)一方、右腕脇のように死角となる箇所では、様々な方向から計測を試みたが計測出来なかったため、一部データが欠落している。表面の彩色(金箔・漆塗膜)による影響は、比較的小さく極端なノイズが発生することもなかった。影響が少なかった要因としては、金箔・漆塗膜とも経年変化のため表面が艶消しされた状態であったためと思われる。

以上の結果から、一部データが欠落してしまっただが、立体文化財(仏像)においては本機のように分割計測ができる計測機が有効である。立体形状を記録することがまた、保存修復・デジタルアーカイブの観点からみても十分役立つことができるデータを取得することができ、三次元デジタルアーカイブの可能性を確認することができた。非接触三次元計測による文化財計測データは、写真・レプリカに並ぶ貴重な資料となることが今後期待できる。



写真4 計測結果CG 全体像



写真5 計測結果CG 頭部附拡大

### 3 計測における改善点

修復工房で計測を行ったため、比較的計測しやすい条件で計測を行うことができた。だが、実際にデジタルアーカイブを進めて行くことを考えると、多くの場合は寺院で計測することが考えられる。寺院に安置されている仏像では、計測機の移動が制限されることが想定される。このことから、小型の計測機もしくは、ハンディースキャナーを用いるのが実際の寺院での計測では有効に思える。今回は、COMET400を使用した。同社製のハンディースキャナーもあるので実際に計測し比較してみたいと思う。また、ハンディースキャナーでの計測では、安全性を確保するため落下防止のストラップ・保護クッションなどを取り付ける必要が考えられる。

現在の方法では、形状を記録することができるが表面彩色のカラー画像を得ることができない。この記録の幅広い利用と後世への継承を考えると、より実物に近い状態で記録することが必要となってくる。したがって、計測と同時に色彩データを取得できる方法が必要となる。現段階では、残念ながらテクスチャマッピングを行うまでにいたっていないが、今後、多方面・他分野の技術協力を得ながら彩色データを取得し、テクスチャマッピングした3DCGの作成を試みてみたい。

これ以外に、実際の寺院における計測では、発電機、無停電電源装置、暗幕、足場などが必要になると想定される。

### 4 三次元計測の可能性

これら記録したデータを集積しデジタルアーカイブすることで、

- 後世に正確な形状情報を遺す
- 万一、災害によって消失してしまった文化財のバーチャル復元、光造形法やNC工作機等を用いたレプリカ復元
- 定期的な計測を行い、形状変化を調べることで破損劣化を察知し、保存修復に役立てる
- コンピュータ上での修復シミュレーション
- 鋳型などによる複数製作物の形状判定および真贋判定
- バーチャルミュージアム
- 文化財教育教材

といった、多岐に渡る応用が期待される。例えば、破損した箇所をデータから取り出し光造形法によって再現し、それをもとに修復家が模刻を行うと言った、デジタル技術と伝統的保存修復の融合による修復も可能となる。

また、文化財は常に「保存と公開のジレンマ」が存在する。保存を重視すると公開することができない。一方、公開を行うことは様々な破損要因を引き起こしてしまう可能性がある。中には、公開したら消失してしまうものもある。このような繊細な状況下で文化財は存在している。常に展示することができないことが多いが、人々に文化財の存在意味と保存修復の重要性を知ってもらわなくては、後世へと継承されていかない。バーチャルリアリティなどによる代替展示方法や情報提供によって、日常的に人々が文化財に接することができる環境を提供することができれば、単に保存修復に恩恵を与えるだけでなく、社会的な効果が期待できると思われる。

## 5 デジタルアーカイブが普及していくためには

先に述べたように、文化財の保存修復には様々な技術が応用されている。つまり、他分野の人々の協力があることで、より良い文化財保存修復が行われるのである。学際的な研究協力があってこそ、文化財デジタルアーカイブが行える。一分野のみの考えで、決してデジタルアーカイブを進めてはならない。もし、このようなことを行ってしまうと、デジタルアーカイブするつもりが結果として破損を招いてしまったという悲劇が起きてしまう可能性がある。こうなってしまうと、いくら良い技術であっても、人々は受け入れてはくれない。そのためにも、保存修復家や学芸員といった文化財に精通した人と協力する必要がある。

一方、文化財保存修復分野では、デジタルアーカイブを行うための技術・機材を持っていない。また、工学や情報技術分野の協力がなければ、現場にあった機材改良や要望にあったシステムを構築することが困難である。情報技術は、文化財の記録に欠かせない技術となりつつある。こうしたことから文化財保存修復と情報技術を融合した研究・教育が行われてきている。

文化財デジタルアーカイブが普及していくには、継続した活動と共に、文化財の知識と工学や情報技術を併せ持つ人材を養成する必要があるように思われる。そして、常に現場が何を求めているか耳を傾けていかななくてはならない。実物とデジタルアーカイブの情報が互いに補完しながら、文化財を保護し、後世に伝えていく仕組みを構築する必要があるのではないだろうか。

## 6 おわりに

今回は、文化財保存修復に携わる者の立場から報告を行った。技術としては、未熟ではあるが、学際的な協力を仰ぎ今後も仏像の計測を進めていきたいと思う。そして、伝統的な保存修復技術と情報科学技術を融合し、よりよい保存修復環境を構築したい。文化財保存修復学と情報科学の融合学、すなわち「文化財情報科学」を提唱していきたいと思う。

## 謝辞

今回の計測にあたっては、多くの方々の協力によって行うことができた。善名寺の関係者の皆様、吉備文化財修復所の皆様、牧野隆夫氏（東北芸術工科大学）に感謝申し上げます。また、多大なる協力と機材を提供していただいた、東京貿易テクノシステム株式会社 長島茂氏、上野恵士氏並びに社員の皆様に感謝する。ここに記して感謝申し上げます。

## 参考文献

- 
- <sup>i</sup> 田中 琢:「写真測量法」(日本の美術400)、至文堂、PP86-92 (1999)
  - <sup>ii</sup> 増澤文武:「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)
  - <sup>iii</sup> 池内克史:「観察に基づく文化遺産のデジタル保存」、画像電子学会第30回年次大会予稿集、画像電子学会、PP25-28 (2002)
  - <sup>iv</sup> 「COMET 概要説明書 Ver.1.1」、東京貿易テクノシステム、pp20(2000)