

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：12606

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K00185

研究課題名(和文) デジタル写真測量による3DCGとX線を用いた古典木彫像の調査研究-平安～鎌倉期-

研究課題名(英文) A survey of historical wooden statues by using 3DCG and X-rays from digital photogrammetry: Heian to Kamakura periods

研究代表者

藪内 直樹(藪内佐斗司)(YABUUCHI, Naoki(Satoshi))

東京藝術大学・大学院美術研究科・教授

研究者番号：10376931

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、これまで仏像研究分野ではあまり活用されてこなかった「デジタル写真測量技術」により簡便・安全な調査と、従来の透過X線撮影を組み合わせた調査を行い、仏像の構造と造形を客観的なデータとして記録し、その構造をわかりやすく明確に示した映像やAR(拡張現実)などの資料作成を行った。またそのデータを活用することで、仏像の制作工程を読み解き、制作当時の様子を詳らかにする一助とし、同時に、将来的な不慮の毀損に備えた彫刻文化財のデジタルアーカイブにも繋げることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で確立した「デジタル写真測量技術」による仏像調査手法は、簡便・安全なものであり、現在も国内に多く遺る仏像の幅広い調査の道を拓くものである。その結果明らかになった仏像の構造と、そこから読み取れる制作工程を3Dモデルを使用したわかりやすい映像・AR(拡張現実)の形にしたことは、文化財への理解を広めることにもつながる。同時に、災害の多い我が国において今後ますます重要となるであろう文化財のデジタルアーカイブにもつながるものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted a simple and safe survey using "digital photogrammetry technology", which has not been widely used in the field of Buddhist statue research, and combined it with conventional X-ray transmission to record the structure and form of Buddhist statues as objective data, and to create materials such as images and AR that clearly show the structure in an easy-to-understand manner. In addition, by using this data, we were able to decipher the production process of the Buddha statues and help to reveal the details of the time when they were made.

研究分野：彫刻文化財の構造技法史

キーワード：仏像 構造技法 3D計測 透過X線 制作工程

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

平安時代～鎌倉時代の仏像が実際どのような工程を経て制作されたのかは、いまだ不明な点が多い。先行研究においては、仏像制作における図面とも推定される「引懸」なるものが文献に記されており、それに基づくであろう「錐点」の痕跡(図1)など、ある一定の精確な基準を用いて制作を行っていた可能性が指摘されているものの、図面そのものの存在は確認されていないなど、いまだ研究の余地が残されている。当研究室では、3次元計測による解析を早くから取り入れ、多数の作例の精密な法量測定や断面線の比較検証等を行ってきた。その結果、平安時代後期の仏師定朝から仏師運慶、さらには末流の仏師にまで、特に面部の形状に共通点が見いだせることが明らかになった(図2)。そこから、工房ごとの共通した図面が存在した可能性が導き出されたと同時に、仏像の調査研究における3次元計測技術の有用性も確かめられた。

これら仏像研究における3次元計測では、これまでレーザー光線の反射を利用した非接触3次元デジタル計測が主に使用されてきた(図3)。これは安全で可搬性の高いものではあるものの、一人で使用するのには困難なほどの重量と、それを支える頑丈な三脚および安定したAC電源が必須であった。そのため狭い寺院内での使用には不便な点も多く、計測および計測後のデータ処理には熟練した技術も必要であった。また、現地調査では安定した電源の確保が難しい場合もあり、定量的造形比較のために重要な調査を阻む壁となっていた。

一方、画像から立体形状を把握する技術である写真測量法(Photogrammetry)は、考古学分野における遺構の測量や、建造物の経年変化測定、その他地図・図面作成など多方面での一般的な手法となっている。仏像研究分野での歴史も古く、明治5年の壬申検査では既にステレオ写真撮影が行われており、1970年代からは図化機を用いた仏像の実測図作成が行われている(図4)。しかし、この手法は手間がかかるものであり、造形要素の比較の比重が大きい仏像研究の分野ではほとんど活用されてこなかった。ところが、近年になりデータ処理ソフトが劇的に進化した結果、高精度な3次元モデルを、民生用デジタルカメラと安価なソフトウェアで生成することが可能になっている(図5)。機材もミラーレスカメラなど小型軽量で安価なものでよいため費用対効果は高く、また非接触調査が可能である。これまでの手法に替わる新たな技術としてすでに特に現地での文化財調査においてますます有力な手法になると考えた。



図1 広隆寺五髻文殊菩薩面部の錐点と使用想像図

出典：山崎隆之「仏像の造像比例法—錐点について」

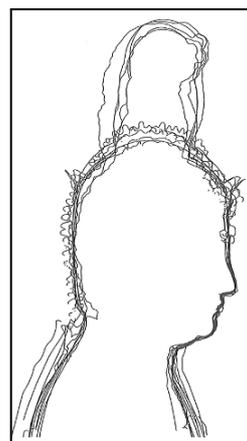
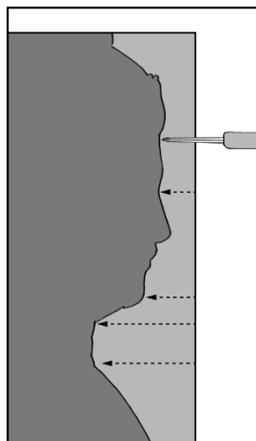


図2 平安後期～鎌倉期作例の断面線比較

科研費(基盤B)研究成果報告書『3Dデジタルデータをもとにした快慶的特徴基準の作成-快慶とその周辺への形状伝播-』



図3 3次元レーザー計測の様子

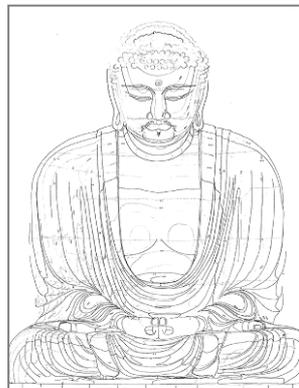


図4 図化機による鎌倉大仏実測図

出典『高德院銅造阿弥陀如来坐像修理工事報告書』高德院,昭和36年。

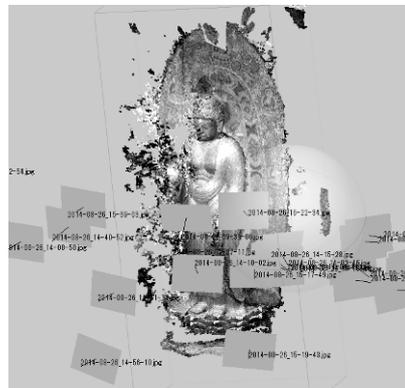


図5 PC上での半自動合成作業

Agisoft社 PhotoScanPro 使用。

2. 研究の目的

本研究では、これまで仏像研究分野ではあまり活用されてこなかった「デジタル写真測量技術」により簡便・安全な調査と、従来の透過 X 線撮影を組み合わせた調査を行い、仏像の構造と造形を客観的なデータとして記録し、その構造をわかりやすく明確に示した基礎資料の作成を行う。またそのデータを活用することで、仏像の制作工程を読み解き、制作当時の様子を詳らかにする一助とする。同時に、将来的な不慮の毀損に備えた彫刻文化財のデジタルアーカイブにも繋げる。

3. 研究の方法

はじめに、仏像のデジタル写真撮影を行う。機材は特殊なものではなく、市販のミラーレスカメラなど廉価なものを使用し、調査対象を全方位から 500 枚～2,000 枚程度撮影する。このデータを Agisoft 社の Metashape (旧 PhotoScan) で処理し、3次元データを作成する。レーザー計測とは異なり対象の実寸測定は難しいため、調査時の正確な手計測も行う (2～3箇所)。スマートフォンに搭載されているデジタルカメラでも条件が揃えば十分に計測可能なため、像内に挿入の余地があれば内割り面の計測も合わせて行う。また、透過 X 線撮影も合わせて行うことで、像の構造を細部まで追い、これらの情報を統合するとによって、像の構造を解明し、わかりやすい形式で図示する。

4. 研究成果

【主な調査実施対象】

3カ年の研究の中で、次の彫刻文化財の調査を行うことができた。

京都府大報恩寺六観音菩薩像 (3次元計測・透過 X 線撮影)

滋賀県石道寺十一面観音菩薩立像 (3次元計測)

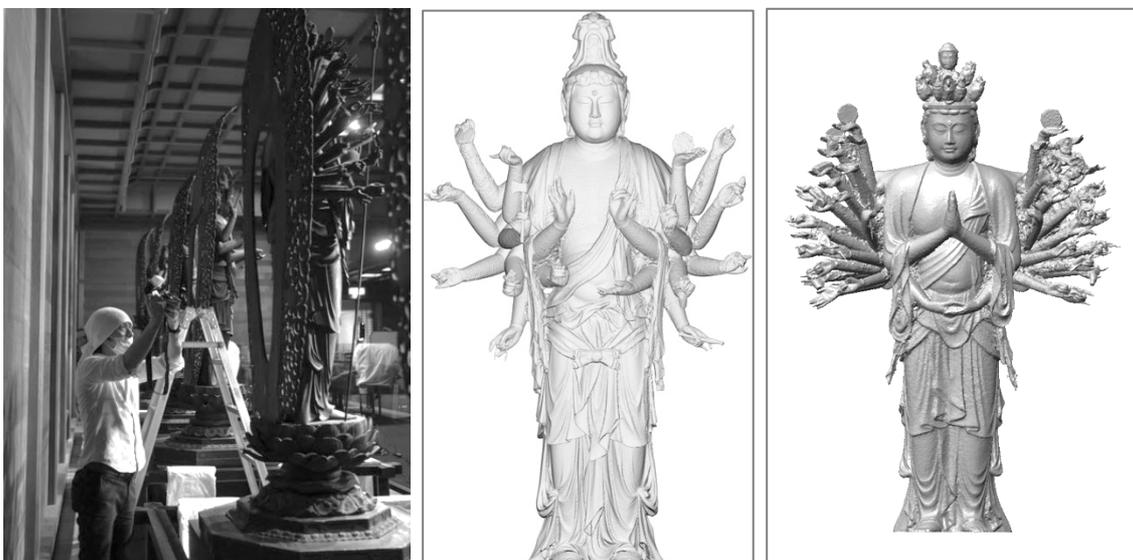
アメリカボストン美術館僧形坐像 (3次元計測)

神奈川県青蓮寺弘法大師坐像 (3次元計測・透過 X 線撮影)

奈良県聖林寺十一面観音菩薩立像調査 (補足的な3次元計測・透過 X 線撮影)

山形県本山慈恩寺釈迦如来坐像及び脇侍像ならびに眷属像 (3次元計測・透過 X 線撮影)

いずれの調査でもデジタル写真撮影による写真測量を行い、正確で素早い、かつ安全な調査を行うことができた。特にボストン美術館での調査では、これまでの手法では計測が難しかった内割り面も計測することができ、以前に撮影された透過 X 線撮影による内部情報と融合させることができた。聖林寺十一面観音菩薩立像は、本研究の調査対象である平安～鎌倉期の作例ではないが、比較研究のうえで重要な作例であることから調査を行った。その結果、これまででない精度で内部構造を明らかにすることができた。なお、ボストン美術館では調査にあわせて専門家向けの講演を行い、これまでに科研費等で行った彫刻文化財調査 (特に3次元計測) について発表し、高い評価を得ることができた。最終年度はコロナ禍により現地調査を行うことができなかったが、これまでに調査したデータの整理・解析を中心に行った。また当研究室は、故・本間紀夫氏の遺族から、氏が所蔵していた資料の寄贈を受けた。本間氏は奈良～鎌倉時代の作例を中心に多大な業績を遺されている。これらの透過 X 線写真 (原本) は本研究の目的にも合致する極めて貴重なものであることから、その高精細スキャンや資料整理を行った。権利関係や所蔵者の了解を得ることができれば、今後一般に公開することも可能である。

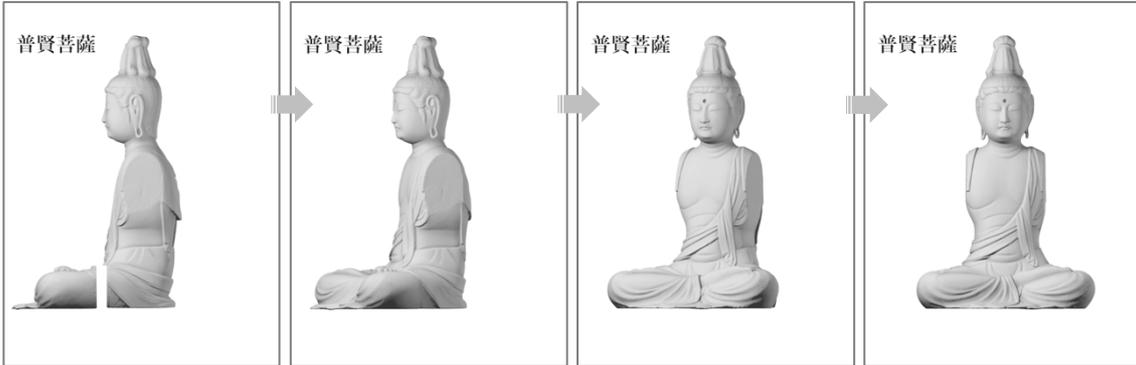


左から、大報恩寺六観音像の写真測量の様子／同准胝観音立像 3D モデル／同千手観音立像 3D モデル

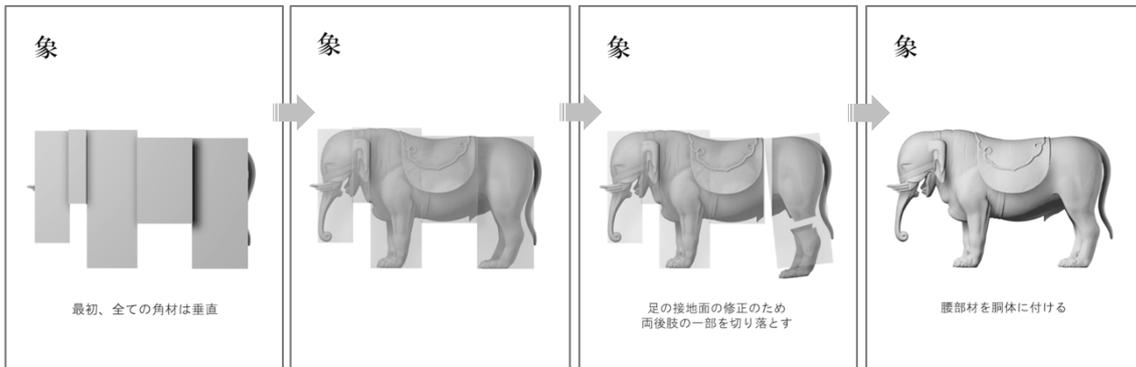


左から、石道寺十一面観音菩薩立像 3D モデル、青蓮寺弘法大師坐像透過 X 線撮影の様子／ボストン美術館僧形八幡神坐像の 3D

研究対象のうち、特に山形県本山慈恩寺釈迦如来坐像及び脇侍像ならびに眷属像は、一部に「面部下半をいったん切り離す」「随所にマチ材を挟む」「形姿のよく似た脇侍像の構造がかなり異なる」など、目的未詳の仕口が認められており、獸座には玉眼との関係が指摘されている木眼が嵌入されているなど、多くの風変わりな構造が指摘されてきた。しかし、本研究でデジタル写真測量・透過 X 線撮影を行うことによって、これまで知られていたものよりはるかに複雑な構造を持つことが明らかになった。その構造を、3Dモデルを活用した映像に編集することで、その構造を明解に図示することができた。これらの研究成果を活用し、当研究室博士課程の学生が慈恩寺像の制作工程に関する研究も行っており、この構造が制作段階における造形変更の結果生まれたものであることを明らかにしている（註1）。



慈恩寺普賢菩薩像の 3D モデルを使用した構造図解映像（画面キャプチャ）



慈恩寺象座の 3D モデルを使用した構造図解映像（画面キャプチャ）

またボストン美術館八幡神坐像については、その構造の図示に AR 技術を活用した。AR とは「Augmented Reality」の略称で、「拡張現実」と訳される技術である。実際の風景の中に、まるでそこにあるかのように仮想の立体 CG を重ねて表示することで、目の前の風景を仮想的に「拡張」することができるものであり、スマートフォンやタブレットの進化に伴い近年急速に普及し

ている。これを使用すると、実際にはボストン美術館にある像が目の前にあるかのように表示することができる。また本像に関しては、内削り面の写真測量も行ったため、像に近づけばそのまま内部構造や像内銘記まで観察することができる。従来、仏像の構造の図示にはクロスセクション図などが多用されてきたが、この手法により構造解析の幅をより広げることが可能となった。



AR で表示したボストン美術館像 3D モデル。タブレットを動かすと像の後ろにも回り込むことができる

本研究では、簡便な機材を活用した写真測量と透過X線撮影をあわせた彫刻文化財の調査、および3DモデルやAR技術を用いた明解な構造の図示という手法を確立することができた。残念ながら、最終年度はコロナ禍により十分な現地調査を行うことが叶わなかったが、この手法を用いればより多くの彫刻文化財の詳細な調査を行うことができ、その構造技法研究も進めることができるということを確認できた。写真測量による3Dモデルの作成は、条件さえ揃えば過去に撮影された写真からも生成することが可能であり、またファイバースコープ撮影によって像内の三次元計測も可能なため、今後その活用の幅はますます広がっていくと考えられる。

註1 李品誼「12世紀後半の造像技法にみる構造改変およびその目的について—山形県本山慈恩寺釈迦如来坐像・普賢菩薩騎象像・文殊菩薩騎獅像の模刻制作を通して—」(令和2年度東京藝術大学大学院美術研究科課程博士学位取得論文。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計4件

1. 著者名 東京藝術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻保存修復彫刻研究室	4. 発行年 2019年
2. 出版社 東京藝術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻保存修復彫刻研究室	5. 総ページ数 216
3. 書名 年報2018-2019	

1. 著者名 籾内佐斗司	4. 発行年 2021年
2. 出版社 求龍堂	5. 総ページ数 208
3. 書名 古典彫刻技法大全	

1. 著者名 東京藝術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻保存修復彫刻研究室	4. 発行年 2021年
2. 出版社 東京藝術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻保存修復彫刻研究室	5. 総ページ数 71
3. 書名 年報2019-2020補遺	

1. 著者名 東京藝術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻保存修復彫刻研究室	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京藝術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻保存修復彫刻研究室	5. 総ページ数 192
3. 書名 年報2019-2020	

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	松田 誠一郎 (MATSUDA Seiichiro) (20239031)	東京藝術大学・美術学部・教授 (12606)	
研究分担者	山田 修 (YAMADA Osamu) (30571723)	東京藝術大学・大学院美術研究科・特任教授 (12606)	
研究分担者	和田 圭子 (WADA Keiko) (80463933)	東京藝術大学・美術学部・講師 (12606)	
研究分担者	藤曲 隆哉 (FUJIMAGARI Takaya) (20466999)	東京藝術大学・大学院美術研究科・講師 (12606)	
研究分担者	鈴木 篤 (SUZUKI Atsushi) (90620873)	東京藝術大学・大学院美術研究科・講師 (12606)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	李 品誼 (LEE Pin-yi)		
連携研究者	小島 久典 (KOJIMA Hisanori) (20787452)	東京藝術大学・大学院美術研究科・助教 (12606)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	白澤 陽治 (SHIRASAWA Youji) (80736778)	東京藝術大学・大学院美術研究科・講師 (12606)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関