

陸前高田市文化遺産調査における3D機器の活用

－向堂観音堂十一面観音菩薩坐像のレプリカ作成の事例を通して－

佐野宏一郎

(奈良教育大学大学院 教科教育専攻 理科教育 (文化財科学を含む) 専修)

赤津將之

(奈良教育大学大学院 教科教育専攻 造形表現 (美術・書道)・伝統文化教育専修)

鈴木奈津・濱松佳生

(奈良教育大学 文化遺産教育専修)

山岸公基

(奈良教育大学 美術教育講座 (造形芸術学))

Practical Use of 3D Devices at Researching Cultural Heritage around Rikuzentakata City

－Through the Example of Making Replicas of

“Seated Eleven-Headed Avalokiteshvara Statue in Mukaido-Kannondo”－

Koichiro SANO, Masayuki AKATSU

(Graduate Student, Graduate School of Education, Nara University of Education)

Natsu SUZUKI, Kai HAMAMATSU

(Undergraduate Student, Nara University of Education)

Koki YAMAGISHI

(Department of Fine Arts, Nara University of Education)

要旨：2016・2017年度の陸前高田市文化遺産調査において、本学が所有する「先端的デジタル教材開発整備一式」のうち、3D スキャナと3D プリンタを用いて、向堂観音堂十一面観音菩薩坐像の三次元計測・レプリカ作成を行った。無住の小堂である向堂観音堂に安置された十一面観音菩薩坐像の盗難が、管理者から危惧されたことが発端となり調査が行われ、レプリカを作成したことで、被災地域の文化財の保護に貢献した。一方で、学生が主体的に取り組むこの活動は、次世代の教育に必要な実践力を身に着けることにもつながった。本稿では、3D 機器を利用した文化財調査の実践例として本調査を報告し、この取り組みの被災地への貢献や学生が主体的に行う意義を、次世代の教育的実践力と関連付けながら考察する。

キーワード：3D 機器 3D Devices

文化遺産調査 Researching Cultural Heritage

次世代教育 Education for Future Generation

1. はじめに

奈良教育大学は、地域と連携した「学ぶ喜びを知り、自ら学び続ける」教員の養成に向けた持続可能な開発のための教育活性化プロジェクトの一環として、陸前高田市文化遺産調査を継続して実施してきた。今年で6年目となるこの調査では、被災地域で被害を免れた文化財を調査し、その価値を明確にして、被災した方々を元気づけることを目的に、陸前高田市を中心とした地域の文化財調査を行ってきた¹。これに関連して、平成27年度の第4次調査より、三次元計測機器を用いた調査を取り入れている。これまでの実績として、岩手県陸前高田市小友町・常勝寺不動明王

立像の三次元計測及び、それを基にした教材の作成、津波の被害に遭った宮城県宮城郡七ヶ浜町・湊浜穴薬師石窟仏の三次元計測、そして本稿で述べる岩手県気仙郡住田町・向堂観音堂十一面観音菩薩坐像の三次元計測、レプリカ作成などが挙げられる。

また、調査に使用した3Dスキャナ及び3Dプリンタは、「学ぶ続ける教員」のための教員養成・研修高度化事業—京阪奈三教育大学連携による教員養成イノベーションの創成—事業の一環で、国から交付された国立大学改革強化推進補助金によって、奈良教育大学における取組のために整備された先進機器の一部である²。導入された先進機器は、その活用を通じて教員養成において、より実践的な教育力を獲得させることを目指している。

本稿では、第5次調査、第6次調査で行われた向堂観音堂十一面観音菩薩坐像の三次元計測調査、レプリカ作成を実践例とし、本学の3Dスキャナをはじめとした先進機器が、陸前高田市文化遺産調査の活動を通して、どのように被災地域に貢献しているか、また、この活動に参加した学生がどのような実践的教育力を学び得たか、本学が被災地で文化財を調査する意義を考察し、報告する。

2. 陸前高田市文化遺産調査における実践例

本項では、陸前高田市文化遺産調査の第5次調査、第6次調査で行われた向堂観音堂十一面観音菩薩坐像の三次元計測調査、およびレプリカの作成とその利用についての報告をする。

2. 1. 向堂観音堂と本尊十一面観音菩薩坐像について

向堂観音堂は岩手県気仙郡住田町世田米にある無住の小堂である。本尊の十一面観音菩薩坐像は、2013年度の第2次調査で山岸らによって調査された。像高29.8cm、やや頭の大きなプロポーションと張りのある頬で、童子を思わせるような小像である。隣町陸前高田市の常膳寺本尊十一面観音菩薩立像他(室町時代)や



図 1. 十一面観音菩薩坐像

同市黒崎神社蔵の十一面観音菩薩坐像懸仏〔明応五年(1496)〕等と作風、形式的特徴が酷似し、室町時代、15世紀後半を前後する頃に、同一の作者ないし工房によって制作されたと考えられている³。向堂観音堂は江戸時代には気仙三十三観音の十三番札所であり、本尊十一面観音菩薩坐像は33年に一度開帳される秘仏として古くから気仙郡内での信仰を集めてきた⁴。また陸前高田市や住田町域をふくむ旧陸奥国気仙地域の中世の造仏や信仰を物語る重要な文化財、歴史資料でもある。

2. 2. レプリカ作成の経緯

十一面観音菩薩坐像は上記の通り、中世の気仙地域の文化を知るための重要な仏像である。しかし、同像を安置する向堂観音堂は無住の小堂で、国道107号線が堂の前を通っていることもあって夜間など防犯対策が希薄にならざるを得ない状況であった。地元の方のお話では、夜間は車通りこそ少なくないものの、人気はほとんどなく、いつ盗難の被害に遭ってもおかしくない状況であったという。

事実、向堂観音堂の隣に建つ不動堂は仏像の盗難被害に遭っており、向堂観音堂を管理する近傍の浄福寺多田御住職をはじめ、住田町の方々は盗難対策が急務であるとお考えになっていた。2013年度の第2次調査で、学術的な価値が明確になったことがきっかけとなり、2016年度の第5次調査で本学の3Dスキャナを用いた三次元計測を実施し、その後3Dプリンタを用いたレプリカ作成を行った。

2. 3. レプリカの作成

2. 3. 1. 3Dスキャナによるデータの取得

レプリカ作成に必要な三次元データの計測には、本学の所有する3Dスキャナ Artec Eva 3D scanner (Artec社製)と、Dell Precision M3800 (Dell社製)のパーソナルコンピュータを用いた。Artec Eva 3D scannerは、能動型ステレオという、光を照射する投影部と対象を観測するカメラなどの受光部からなるスキャナである。この3Dスキャナは格子状の影があるパターン光を発し、対象に投影した際の格子のゆがみをカメラが計測することで三次元情報を取得する、ストラクチャライト方式を採用している⁵。非接触で三次元データを取得出来るため、文化財を損傷する恐れもなく、非常に有用な機器であるといえる。また、スキャナによって取り込まれたデータは、連動する三次元データ編集ソフトウェア Artec Studio 11 (Artec社製)により、計測された三次元位置座標が処理される。スキャナによって取得された座標データは、それぞれが線結び、ポリゴンと呼ばれる三角形を一つの面とする多面体に変換され、立体データとして記録される。

データの取得は、2016年度の第5次調査で、向堂観音堂内で行った。堂内では電源が確保できなかったため、バッテリー駆動で計測を行った。レプリカ作成のためには、像に対して全方向からスキャニングを行い、三次元情報を過不足なく取得することが必要である。そのため、像を回転盤に乗せ、カメラの角度や位置を変え、像を回転させながら複数回に分けてデータを取得した。また、頂底部を計測するために、像を寝かせた状態での計測も行った。最終的に、記録は28カットに分けて計測した。記録した総ポリゴン数は124,585,198で、頂点の数は72,941,037であった。



図 2. 三次元計測の様子

2. 3. 2. 三次元データの編集と出力

計測した三次元データは、Artec Studio 11 で読み込むことのできるファイル形式で、パーソナルコンピュータ内に保存される。計測したデータには、対象以外の情報が読み取られている場合や、計測データにノイズが入ってしまうことがある。そのために、不要な情報を削除する必要がある。また、複数回に分けて計測を行ったため、それらのデータをつなぎ、統合する必要がある。これらの操作は、Artec Studio 11 で行った。データ編集は、不要部の削除、位置合わせ、メッシュ化、テクスチャマッピングという一連の行程で 3D モデルを形成した。



図 3. 計測データを位置合わせした 3D データ(左)とメッシュ化処理の完了した 3D データ(右)

Artec Studio 11 上で作成した 3D モデルを、3D プリンタで出力するために、VRML ファイル (*.wrl)形式に変換した。また、Claytools (Geomagic 社製)を用いて、出力される 3D モデルの内割り作業を行った。Claytools は、専用のハプティック・デバイス「Omni」を通じて、画面に表示されている 3D モデルを実世界で接触しているように提示し、仮想空間にある 3D モデルを実際の彫刻のように編集することのできるソフトウェアである。このソフトウェアを用いることで、三次元計測して得られた 3D モデルを直感的に編集することが可能になる。

Artec Studio 11 で編集・出力した 3D モデルを、そのままの状態に 3D プリンタに読み込ませると、中身がすべて詰まった無垢の状態に出力される。しかし、これではレプリカが重くなりすぎてしまい、落下時の破壊の恐れなどを考慮すると、遠距離を運ぶには適さない。そのため、Claytools を用いて、3D モデルに内割りを施すことで、レプリカの軽量化を図った。

内割り作業を終えた 3D モデルは本学の 3D プリンタ、ProJet 460 Plus Professional 3D Printer (3D Systems 社製)で出力した。この 3D プリンタは、粉末固着方式の石膏積層造形法を採用しており、CMYK でのフルカラー出力が可能である⁶。石膏粉末をプラットフォーム上に一様に敷き、プリントヘッドからインクと接着剤を吐出するこ

とで石膏を任意の形に固定し、それを積み立てていくことで、3D モデルを出力する。石膏を敷くプラットフォームは、約 25cm³の空間であるため、この大きさ以上の 3D モデルを出力するには分割する必要がある。今回出力した向堂観音堂十一観音菩薩坐像は像高が 29.8cm であるため、頂部から約 5cm 下にある頭上面の一段目と二段目の間で切り離し、別材とした。また、内部から石膏を取り出すことができるように、底部を切り抜き別材とした。造形が完了した 3D モデルは、しっかりと乾燥するように十分時間を置いたうえで、プラットフォーム上に積み重ねられた石膏粉末内から取り出した。刷毛や 3D プリンタに付属するエアブラシで造形したモデルの隙間にたまった石膏粉末を吹き落とした後、強度や発色を向上させるために液化プラスチックを表面に塗布し、十分に乾燥させた。最後に別材として出力した頭頂部の頭上面・底部を接着し、レプリカが完成した。



図 4. 3D プリンタで出力された直後のレプリカ

2. 4. レプリカの受け渡し

三次元計測で作成されたレプリカの利点として、複数の同一モデルが容易に作成可能であるということが挙げられる。実際に、今回の調査ではレプリカを 2 点作成し、1 点は向堂観音堂に期限を切ることなくお預けすることとし、もう 1 点は、本学が所蔵する教育資料として大学教育や社会教育に活かすことにした。

2017 年度の第 6 次調査に際して、住田町の方々の立ち合いの下、向堂観音堂の管理者である浄福寺の多田御住職へレプリカの受け渡しが行われた。本学で作成したレプリカは、調査時に使用した宿泊施設まで運輸し、向堂観音堂までは自動車で運搬した。運輸時には、綿布団や薄様紙を用いて、厳重に梱包した。レプリカの運輸時における欠損が心配されたが、宿泊施設で梱包を解いて確認したところ、欠損は見当たらず良好な状態であった。

レプリカの作成は、実物が現地の向堂観音堂内にあったため、写真や法量でしか見比べることができない中での作業であった。そのため、大きさや色、質感、細部の表現などが、どれほど再現できているか、または差が出てしまうかを確認できず、手探りの状態であった。現地で実物と見

比べて、それらの項目を比較したところ、大きさはほぼ一致したが、木材と石膏という用いられた素材の違いが影響し、色や質感には差が出てしまった。特にレプリカは強化のため、表面に液化プラスチックを塗布したことにより、光沢のある見た目となってしまった。細部の表現も、胸飾や腕釧、頭上面の表情などの細かな表現はレプリカでは表現しきれていなかった。これは、三次元計測で取得したデータの時点で読み取ることができていなかった情報であり、より詳細を記録できるスキャナを用いることで改善される可能性がある。しかし、実物と見比べることで再認識された細かな差違は、実物の美術的価値を再認識することでもあり、改めて実物の素晴らしさを確認できる機会にもなった。



図 5. 実物の仏像とレプリカの比較

完成したレプリカは身代わり本尊として堂内に安置され、実物は管理者の下で厳重に管理されることになった。これにより、盗難などの被害に遭う可能性は低くなったと考えられ、何よりも管理者の方の盗難に対する危惧を軽減できたことが成果である。立ち会っていただいた住田町の方々にも、この結果を喜んでいただいた。それは、管理者の多田御住職から感謝状をいただいたことに端的に示された。

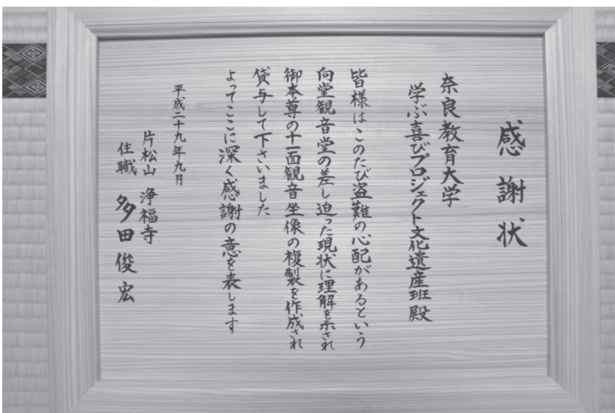


図 6. 管理者の多田御住職からいただいた感謝状

2. 5. 学内での展示

本学が所蔵するレプリカの教材利用の一例として、今回

の一連の調査成果等を反映した「これは凄い!!! 3Dプリンターレプリカ展」が、2017年11月22日から12月26日の期間で、奈良教育大学図書館内のライぶらりギャラリーで行われた。この展示は、本学の学生や教職員だけでなく、他大学の学生や一般の方など、様々な利用層を有する大学図書館で、3Dスキャナや3Dプリンタをはじめとした「先端のデジタル教材開発整備一式」の使用例や、本学の取り組みをアピールするために行われた。多くの図書館利用者の目に留まり、本学の実践が注目されると幸いである。本学所蔵のレプリカは、岩手県気仙地域の仏像を知るための教材として、また本学の被災地支援活動の典型例として、今後も教育活用されることになる。



図 7. 本学図書館での展示の様子

3. 本実践の地域貢献と教育的意義について

本項では、上記の実践例が、被災地での地域貢献を担い、三次元計測に関する実践的教育力を学ぶ場になっているか、そして、本学でこうした取り組みを実践する意義を述べる。

3. 1. 被災地での地域貢献について

陸前高田市文化遺産調査は、被災地域で被害を免れた文化財を調査し、その価値を明確にして、被災した方々を元気づけることに目的があることは既に述べた。しかし、価値を明確にすることは、その情報が広まることによって、盗難などの悪影響を生む可能性が考えられる。実際に、貴重な文化財が発見されたとき、立ち会った報道機関に対して報道規制を依頼することもある。文化財の盗難は深刻な問題で、40都道府県の308の寺社仏閣を対象に盗難、落書きなどの人災の実態をアンケート調査した結果、全体の約14.6%にあたる45ヶ所で「盗難の被害に遭った」と回答があり、そのうちの11ヶ所では防犯設備が設置されていなかったという報告がある⁷。このような実態に対して、文化庁は「美術工芸品の防火・防犯対策チェックリスト」を発行し、防犯カメラやセンサーの設置、見回りの強化などの対策を促しているが、本稿で取り上げた向堂観音堂のように、地方にある小堂では、費用や人手などが賄いきれず、実行できない場合もある。本調査でも、単に、地域の

文化財の価値を明確化するだけでなく、明確になった価値をその地域の方に示し、今後の適切な在り方を考えていくことが重要なのではないだろうか。そういった文化財の広報活動が、被災した方々を元気づけることにつながるのである。このような観点で本実践を考察すると、貴重な文化財の盗難の危惧を軽減させ、後世に残すための手助けをできたことは、大きな成果である。また、この調査を通じて、この地域に住む方々が改めて貴重な文化財の存在を認識し、地域の誇りとして愛着を持っていただいたことが、文化財を通して元気づけるということも含めて重要なことである。

3. 2. 三次元機器を用いた教育実践力について

現行の平成 20 年度版学習指導要領では「郷土の伝統や文化を受け止め、そのよさを継承・発展させるための教育を充実する」ことが盛り込まれている。この内容を反映して今後、地域に根差した伝統文化や文化財を教材化する事例が増えていくことが予想される。しかし、地域の文化財の資料化には課題がある。文化財は、一つ一つが唯一無二の価値を持つ。そうした前提の下、貴重なものであると認識される。しかし、文化財を教材としてレプリカ化しようと専門の業者等に依頼すると、唯一無二の価値が受注生産という状況を生み、結果として高コストが問題となってしまう。将来的に 3D スキャナや 3D プリンタといった先端機器が学校現場で普及すれば、自力で教材として文化財のレプリカを作成することが可能になり、この課題は解消できる。そうすることにより、地域に根差した文化財教育がより効果的に展開され、伝統や文化に関する教育の充実につながると考えられる。本実践における、地域の貴重な文化財を三次元計測し、レプリカを作成するという活動は、学生が能動的に 3D 機器を活用しながら、その技術や利用価値を学び、実践力を養うことのできる実習であったと捉えることができる。このような実践力は、今後の学校現場においてさらに需要が大きくなると予想され、次世代の教育力を養う本実践は有効であったと考えられる。

3. 3. 本学が本実践に取り組む意義

本実践は、被災地での三次元計測とレプリカの作成を通じて、被災地の貴重な文化財を盗難の危険性から保護し、被災地を元気づける活動であった。また、学生が主体的にこの活動を行うことは、次世代の実践的教育力を自ら学ぶ機会となった。このような実践的教育力が、今後求められる教員の資質であると予想されることから、本学でこの実践に取り組んだ意義は大きい。

また、本実践と類似する報告があり、全国規模でこうした取り組みが行われている。例えば、和歌山県では近年、仏像盗難の多発が深刻化しており、この状況を打破すべく、和歌山県立博物館の大河内氏が中心となって、盗難の恐れのある仏像のレプリカを、和歌山県立和歌山工業高等学校産業デザイン科の学生と連携して、3D スキャナや 3D プ

リンタといった 3D 機器を利用する実習で作成した⁹。この実践では、高校生が授業の一環としてレプリカを作成した点に違いはあるものの、学校現場で 3D 機器を用いて、文化財を保護しようとするモデルとして非常に興味深い。また、この報告は、和歌山県には教育機関と連携し、三次元機器を用いて文化財を保護する環境が県内にあることを示している。しかし、奈良県や調査を行った陸前高田市を中心とした気仙地域では、このような実践報告はされておらず、環境の整備が普及していないことが現状である。この状況を打破し、文化財を保護する環境を整えていくためにも、本学が率先してこのような取り組みを進めていく必要がある。

4. まとめ

2016・2017 年度の陸前高田市文化遺産調査で行われた向堂観音堂十一面観音菩薩坐像の三次元計測・レプリカ作成の事例を取り上げ、本学の 3D 機器が被災地での地域貢献を担っているか、この事例が三次元計測に関する実践的教育力をどのように学ぶ場になっているか、そして、本学でこのような取り組みを実践する意義を考察した。

地域の文化財のレプリカを作成し、教材化・資料化していくことは、経済活動を第一に優先する業者委託などには難しい分野でもある。文化財を学ぶということは、経済性を優先しない文化的価値観を伝え、継承していくことでもある。このことは、本学が有する 3D スキャナや 3D プリンタといった 3D 機器を使用するからこそできる利点であり、伝統文化教育の充実を図るためにも、教育現場での 3D 機器の普及が期待される。

引用参考文献

- 1) 地域と連携した「学ぶ喜びを知り、自ら学び続ける」教員の養成に向けた持続可能な開発のための教育活性化プロジェクト (2013), 「平成 24 年度 奈良教育大学 陸前高田市文化遺産調査団 報告概要」, 平成 24 年度 奈良教育大学 陸前高田市文化遺産調査報告書, p.3.
- 2) 山岸公基・青木智史・大山明彦・金原正明・小山聖美・馬場翔子 (2015), 「先進機器を用いた文化財調査とその教育的活用 一次世代教員養成に向けた新たな取り組み」, 奈良教育大学次世代教員養成センター研究紀要, 第 1 号, pp. 145-153.
- 3) 山岸公基 (2015), 「岩手県陸前高田市・常膳寺の仏像」 同「陸前高田市・常膳寺と住田町向堂観音堂の十一面観音菩薩像」, 同「陸前高田市黒崎神社の十一面観音菩薩坐像懸仏と陸前高田市・住田町の十五世紀後半の仏像」, 2012 年度-2014 年度 奈良教育大学 陸前高田市文化遺産調査報告書, pp.118-119, pp.106-109, pp.94-96.
- 4) 田辺希文 (1772 年撰), 「封内風土記 卷二十一 気仙

- 郡」,仙台叢書 封内風土記 仙台叢書出版会(1893年)
- 5) 前述,「先進機器を用いた文化財調査とその教育的活用
一次世代教員養成に向けた新たな取り組み」,p. 147.
- 6) 同上,「先進機器を用いた文化財調査とその教育的活用
一次世代教員養成に向けた新たな取り組み」,p. 147.
- 7) 朴ジョンヨン・崔青林・金 玟淑・谷口 仁士 (2013),
「文化財所有者を対象とした人災・獣害の現状と防御
システムに関する調査研究」,歴史都市防災論文集 -
立命館大学グローバル COE プログラム歴史都市を守る
「文化遺産災害学」推進拠点 編,Vol.7,pp161-168.
- 8) 大河内智之(2015),「犯罪被害に遭う仏像 - 文化財盗
難についての現状と対策」,高野山時報 第 3342
号,pp.168-170.