

紀要

36

- 初期土偶から中期土偶への展開を読み解く
 —精霊像としての土偶に関する認識の更新と深化を課題として—…………… 瀬口 眞司（1）
- 古墳時代の「石杵」状石製品について
 —蒲生郡日野町播沢遺跡出土事例の紹介—…………… 辻川 哲朗（17）
- 群集墳の築造と被葬者像
 —太鼓塚古墳群を素材として—…………… 堀 真人（24）
- 古墳時代の大刀形製品にかかる覚書…………… 宮村 誠二（40）
- 長浜市八雲書院資料調査報告＜瓦編2＞…………… 福井 知樹（45）
- 遺物三次元計測の実験的試行…………… 山田梨紗子・福井 知樹（64）
- 滋賀県埋蔵文化財地域展Ⅳにおける試みとその成果
 —「広げる」「深める」「育てる」「つながる」展示へ—…………… 木下 義信（78）

遺物三次元計測の実験的試行

山田梨紗子・福井知樹

目次

1. はじめに
2. 考古遺物における三次元計測の現状と問題点
3. 三次元計測の方法
4. 手実測と三次元データ
5. おわりに—今後の課題と展望—

— 論文要旨 —

近年、三次元計測の技術が急速に進んだことで博物館や研究所、さらには都道府県・市町村の教育委員会でも三次元データの作成が普及してきている。考古学界では従来、遺構や遺物は手測りで行われてきたが、レーザースキャンやフォトグラメトリによる三次元計測を用いた遺跡や遺構、遺物の三次元データ化が進められている。博物館や研究所、教育委員会などではそのデータをインターネット上で一般公開し、専用のソフト無しでも閲覧できる試みを行っているところもあり、文化財に触れるための新たな方法も生まれている。

また、研究や調査の手法においても三次元計測が進んでおり、当協会においても令和4年（2022）に三次元解析ソフトウェアが導入され、遺構・遺物の実測図作成について試行錯誤を繰り返している。

本稿では、遺物に焦点を当てて、三次元計測の現状と課題、またこのソフトウェアを用いた三次元データと従来の手測りの実測図を比較しながら、三次元計測の長所と短所について考えていく。

——— キーワード

三次元計測 三次元データ Metashape GigaMesh 一石五輪塔 石臼 瓦 陶磁器 近世 近代

1. はじめに

近年、文化財分野で三次元計測が急速に普及するようになってきた。その背景のひとつには、令和2年（2020）より続くコロナ禍での出控えや公共施設の休館によって、博物館等がWeb上（館のホームページ（以下、HP）やSketchfabなどの公開サイト）で収蔵資料などの三次元データの公開を増やしてきたことが挙げられる。

また、三次元計測が手軽に行えるようになったことや精度が向上していることも、加速する一因となっている。実際、三次元計測はスマートフォンやコンパクトデジタルカメラなどの撮影する機材と処理を行えるパーソナルコンピュータ（以下、PC）があれば、行うことができる。

当協会においても、遺構・遺物における三次元計測の試行を行っており、筆者は安土分室において整理調査に携わっている関係から、遺物における三次元計測の試行を繰り返している。本稿では、第2章は遺物における三次元計測の現状と問題点について、第3章以降は筆者が試行した三次元計測の方法をまとめるとともに、主に中近世～近代のものが対象となるが、遺物に対しての三次元計測の長所・短所を従来の手実測と比較しながら考えていく。なお、本稿は2章を山田が、それ以外を福井が執筆した。

2. 考古遺物における三次元計測の現状と問題点

現在、日本の考古学界における三次元計測の活用は、研究機関や博物館にとどまらず各都道府県及び市町村の教育委員会でも実践されており、その活用は遺物の計測だけでなく、発掘現場における遺構の記録や教育普及活動、さらには新たな分析手法として用いられている。

考古遺物における三次元計測の方法は主に2つ挙げられ、1つはレーザースキャン、もう1つが本稿で取り扱うフォトグラメトリである。レーザースキャンは計測対象に照射したレーザー光線が反射して戻ってくる時間や波長の変化から距離等を測定し三次元モデルを作成する方法である。もともと都市や地形の計測で使用されていたが、技術の進歩によって精密なデータが必要とされる考古学においても活用されるようになった。近年ではスマートフォンにLiDARというレーザー光を利用した測距システムが搭載されているものもあり、より活用されつつある。一方、フォトグラメトリは計測対象を様々な方向からカメラなどを用いて撮影を行い、複数枚の写真から三次元モデルを作成する方法である。

レーザースキャンとフォトグラメトリは共に考古遺物や遺構の計測で主に用いられているが、機器・技術の一般化に伴って、「ありふれた遺物」への応用が進んだ。また、後者の方がより安価で簡単に三次元モデルの作成が可能であるため普及が進んでいる。

しかし、研究資料として扱えるほどの高精度な三次元モデルを作成するための機器の設備やデータ容量の大きい三

次元データの保存・管理のための設備に大きなコストがかかるという問題も孕んでいる。

三次元計測の研究では、三次元モデルから軒丸瓦の文様や範傷を比較して同範瓦を判定する研究（中村 2018）や拓本における遺物損傷のリスクやシリコーンレプリカ法の薬品使用を避ける目的で三次元モデルを用いて土器圧痕を資料化する研究（山口 2017）など、二次元の実測図では表現できない微細痕跡を資料化する研究が進んでいる。

また、三次元データの活用方法の一例として大手前大学史学研究所や東大阪市文化財課などが三次元モデルの公開共有サービスであるSketchfabを利用して、資料を公開している（野口 2020）。三次元モデルの公開の方法はこれ以外にも、三次元モデルをPDF形式にし、それを閲覧者がダウンロードしてAdobe acrobatを用いて閲覧する方法もある。奈良文化財研究所や筑波大学考古学研究室、鳥取県埋蔵文化財センターなどがこの方法を用い、各HPで三次元データを掲載している。

三次元モデルの一般公開が進む一方で、公開資料の著作権に関する問題が生じている。縄文文化発信サポーターズ（全国75市町村などによって運営されている縄文文化発信団体）は「縄文オープンソースプロジェクト」という縄文土器の三次元データをオープンソース化する取り組みを行っているが、それぞれのHPやSketchfabで三次元データを公開している研究機関や博物館、自治体では二次利用に関する規定を明記しているところが多い。

東大阪市文化財課や埼玉県立さきたま史跡の博物館などのようにSketchfabを利用して三次元データの公開を行っている機関では、「三次元データに公開に関する運用ポリシー」で、「公開されている三次元データに著作権が存在する場合、その著作権は運用者または正当な権利を有するものに帰属するとし、この場合において、三次元データの無断使用・無断転載を禁じる」と明記されている。筑波大学考古学研究室では商業・研究・個人利用を含めた二次利用の申請フォームを設けている。早稲田大学文化資源データベースでは、研究資料として個人的に保存する場合や学会等での一時利用する場合には申請不要と明記される。

このように組織によって三次元データの二次利用に関する取り組みは様々あるが、著作権の問題は今後三次元計測の導入が急速に進む中でより表面化していくであろう。

3. 三次元計測の方法

(1) 使用した機材・ソフトウェア

撮影には、Canon製ミラーレス一眼カメラEOS Kiss M、レンズはEF-M28mm F3.5 Macro IS STM（一部EF-M15-45mm F3.5-6.3 IS STM）を使用した。撮影画像はRAW画像（CR3形式）で保存し、JPEG形式は保存していない。

カメラ以外には、三脚・ジンバルや回転台、スケール情

報のためのターゲットマーカー、撮影ボックス、卓上ライトといった機材を適宜使用した。

使用したソフトウェアは、RAW 画像の現像は Canon Digital Photo Professional4 (Ver.4.16.10.0、以下、DPP4)、三次元データの解析は Agisoft Metashape Professional (Ver.1.8.4、以下、Metashape)、三次元データの角度調整、断面図・オルソ画像作成は GigaMesh (V.200529)、断面図・オルソ画像の調整や配置は Adobe Photoshop (V24.1、以下、Ps)、Adobe Illustrator (V27.1.1、以下、Ai) をそれぞれ用いた。なお、バージョンは使用時のものである。

Metashape の解析に用いた PC は、OS が Windows11 pro 64bit、CPU が Intel Core i7-11700F (第 11 世代)、メモリが 64GB のデスクトップ型 PC である。Metashape 以外のソフトウェアを使用した PC は、OS が Windows11 Home 64bit、CPU が AMD Ryzen 7 5800U (第 4 世代)、メモリが 16GB のラップトップ型 PC である。画像データ等の保存は BUFFALO ポータブル HDD (容量：2.0TB) を用いた。

三次元計測の対象としたものは、筆者が自宅敷地内で採集した中世～近代の石造物、瓦、陶磁器などを対象とした。

(2) 三次元データの作成

三次元データの作成から断面図・オルソ画像作成は基本的に a. 写真撮影、b. Metashape で撮影した写真の解析、c. GigaMesh で角度調整、断面図・オルソ画像の作成という流れで行う。

a. 写真撮影 (写真 1・図 1)

撮影対象を回転台に設置し、対象の周囲に Metashape でダウンロードできるターゲットマーカーを任意の箇所に設置 (ツール>マーカー>マーカーのプリント)、もしくは任意間隔でターゲットマーカーを配した枠を作成し、スケールの基準とした。カメラの設定は、マニュアル撮影で絞り値は 22～29、ISO100～200 で撮影している。三脚に据えているとはいえ、シャッタースピードが遅く、シャッターを切るだけで手ブレが起きる場合もあるので、タッチシャッターや iOS/Android アプリの Camera Connect (Ver. 3.0.1.21)、Windows/Mac ソフトウェアの EOS Utility 3 (Ver.3.16.0) といったリモート撮影が可能なソフトウェアを適宜用いた。

撮影は回転台を利用して俯瞰写真を撮影した (写真 1)。回転台 1 周あたり 20 枚前後撮影している。その後、俯瞰では影になってしまっている箇所や刻印・文様といった細かい表現のある箇所などの個別撮影を行う。また、配置したターゲットマーカー全体が写るような写真と、ホワイトバランス調整のためのグレーカードを写し込んだ写真を 1 枚ずつ撮影しておく。撮影できなかった箇所は三次元データで穴になってしまうため、不足がないように撮影する。

フルモデルにする場合は、撮影後に対象を反転し、撮影

できていない面がないようにする。また、ターゲットマーカーは異なるものを用いる。

撮影終了後、PC に RAW 画像を取り込み、DPP4 を用いて現像する (図 1)。他に Adobe 社の Bridge や Lightroom、Nikon 製カメラであれば NX Studio、SONY 製カメラであれば Imaging Edge Desktop といったソフトウェアで現像が可能である。今回は TIFF 画像に現像し、解像度については 400dpi に設定した。

b. 写真の解析 (図 2)

現像した TIFF 画像を Metashape で取り込み、解析を始める。撮影した方向数に合わせてチャンクを用意して、それぞれのチャンクで写真を取り込み (ワークフロー>写真を追加)、解析を行う。解析はバッチ処理というある程度一括で解析を進める方法を取った。バッチ処理は 3 工程にわけ、便宜的に A～C 工程とする (図 2-1)。なお、各処理精度は、A・B 工程は高、C 工程は最高に設定した。

写真の取り込み後、A 工程の「写真のアラインメント (図 2-2)」 「マーカーの検出 (図 2-3)」 「高密度クラウド構築」 「メッシュ構築」を行い、仮の三次元データを作成する。「マーカーの検出」はターゲットマーカーの位置を解析し、検出したマーカー間の距離を入れることで、三次元データにスケール情報を入れることができる。処理完了後、データの不要部分の削除を行う。

B 工程に入り、「マスクのインポート」をして画像の不要部分がモデルに反映されないようにする。その後、改めて「写真のアラインメント」 「高密度クラウド構築」 「メッシュ構築」を行い、マスクを適用させた三次元データを作り、「テクスチャー構築」 「チャンクのアラインメント」 「チャンクを統合」を行って、2 つの三次元データの位置合わせをする。なお、この工程で「テクスチャー構築」を行わなくても特に問題はない。

次に C 工程に入り、統合されたチャンク (「Merged Chunk」) のみを対象として、再度「写真のアラインメント」から「テクスチャー構築」までを行えば、統合された三次元データができあがる。C 工程が終了後、スケールバーの作成 (図 2-4) を行い、三次元データの書き出しを行う (ファイル>エクスポート>モデルをエクスポート)。ファイル形式は PLY 形式で、ファイル名に日本語が含まれないようにする。

c. 断面図・オルソ画像の作成 (表 1・図 3・4)

次に GigaMesh を起動し、書き出した PLY 形式のファイルを開く。「the mesh appears to ...」というダイアログが出たら、「Yes」をクリックし、「1000」を入力すると原寸で開く。画面上では特に数値は出ないので、念のためオルソ画像や断面図の作成時にスケールを確認する必要がある。初期設定ではグリッド (Rectangular Raster Grid) に設定されているが、同心円 (Polar Grid) もあり、口径復元も可能である。



写真1 撮影のようす

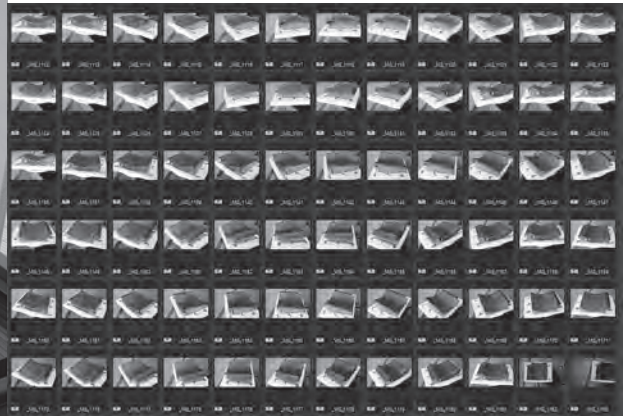
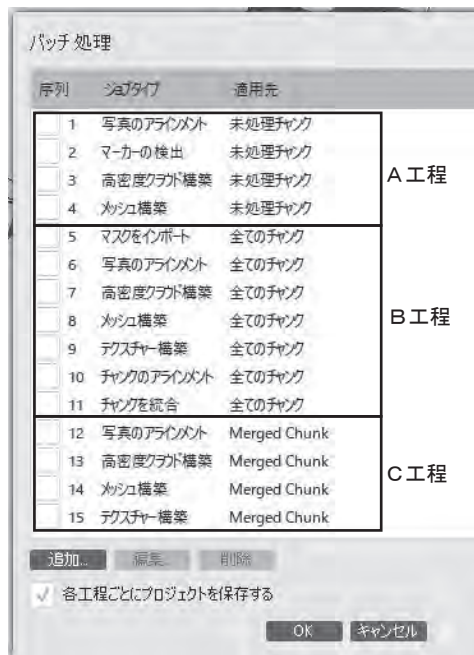
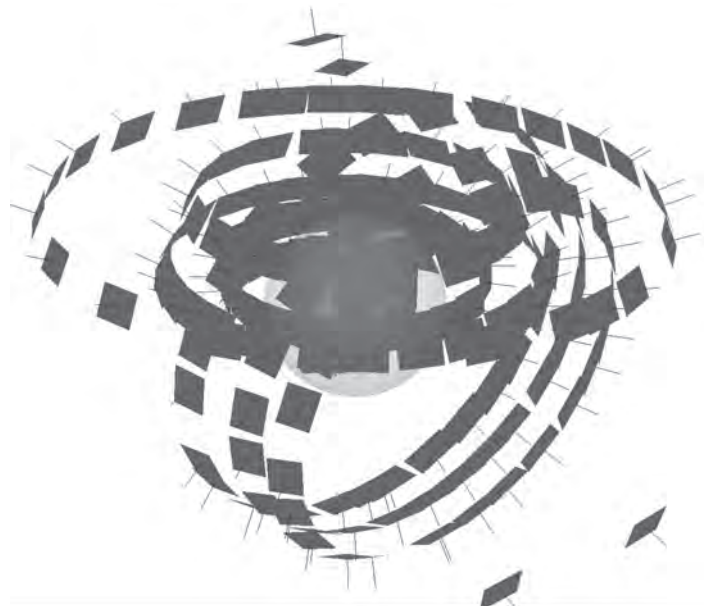


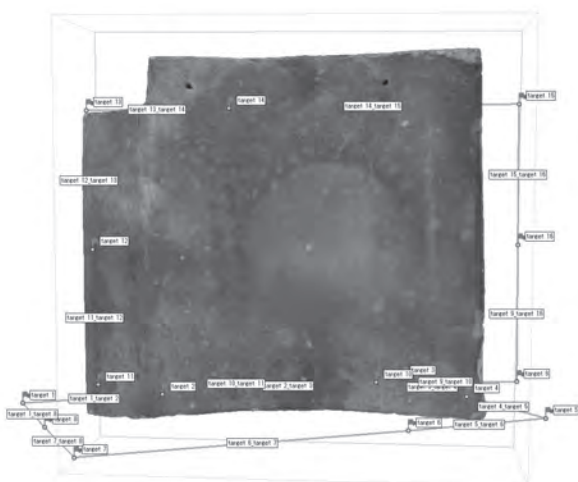
図1 現像した TIFF 画像（軒棧瓦）



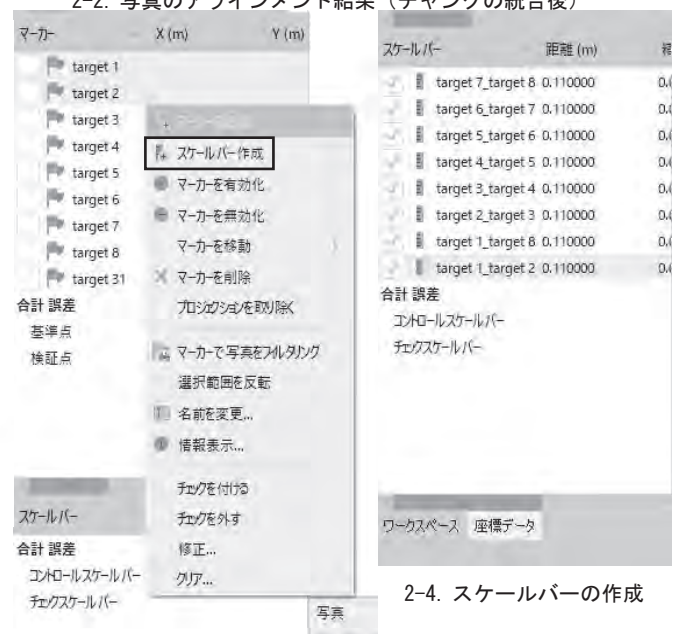
2-1. バッチ処理の工程



2-2. 写真のアラインメント結果（チャンクの統合後）



2-3. マーカー・スケールバーの表示



2-4. スケールバーの作成

図2 Metashape の画面

ファイルが開けば、まず角度の調整をする。キーボードを用いて（表1・図3-1）、水平になるように調整を行い、調整が終わればF6キーを押して、デフォルトビューに設定しておく、再度ファイルを開くときに便利である。

次に中心線の設定をする。「Additional cross-hair」をクリックし、表示される十字線に三次元データの中央をマウスの右ボタンを押しながらドラッグして移動させて中心を決める。そして、「Set the rotational axis using the central pixel」をクリックし、出るダイアログは「No」を選択すると、対象物に中心線が引かれる（図4-1）。

その後、断面を取りたい箇所にCtrlキーを押しながら左クリックをするとピンが立ち、「Compute polylines using an axis and selected positions」をクリックすると、中心線を軸として対象物に断面位置のラインが引かれる（図4-2）。そのラインが断面図を取る箇所で問題ないかの確認後（図4-3）、「Export Plane Intersections (SVG)」をクリックすると、そのラインがSVG形式の描画ファイルとして書き出される（図4-4）。なお、GigaMeshはInkscapeという描画ソフトと連動しており、起動時にInkscapeがインストールされていないと警告が出る。公式解説動画（https://www.youtube.com/watch?v=hFwc_HjpfNs）においてもInkscapeを使用しているが、本稿ではAiを使用している。この図はアンカーポイントの集合体であるので、微調整も可能である。複数箇所にピンを立てれば、複数のパスが生成されるので、断面図の合成も簡単にできる。

オルソ画像が必要な場合は、テクスチャーモデルかサーフェスモデルにして、必要な方向に調整した上で「Capture a screenshot as PNG」をクリックすると、背景透過のPNG形式で書き出される。画像を拡大して保存すると、解像度の高い画像が書き出されるが、拡大しすぎると処理できずにソフトが強制終了してしまうことがある。

オルソ画像で調整痕などを強調して表示したい場合は、GigaMeshの機能として調整痕（細かな凹凸）を強調して表示ができる。ツールバーの「MSII (Multi-Scale Integral Invariant)」をクリックし、出るダイアログは「OK」→「Yes」の順に選択すると解析が始まり、終了すると別ファイルとして保存される。この処理は数分から1時間以上かかるものもある。その後、調整が見やすいようにGigaMesh上で編集を行い（今回はColorramp>Grayscale→Colorramp>Invert）、角度・方向を調整した上で「Capture a screenshot as PNG」をクリックしてオルソ画像を保存する。

以上が写真撮影から断面図・オルソ画像の作成までの大まかな流れである。

4. 手実測と三次元データ

(1) 三次元データと手実測・拓本の比較

本項では、従来の手測りの実測図・拓本と比較しつつ、三次元データから得られた断面図・オルソ画像を中心に見ていく。比較のため、三次元データから得られた断面図には、基本的にスケール合わせ以外の手を加えていないが、一部合成復元を行っている。オルソ画像は、テクスチャー画像、サーフェスモデル、凹凸を強調して表示したもののいずれかを選択して掲載している。

また、表2に撮影枚数、各工程の処理時間の一覧を付した。PC処理時間は、PCでの自動処理の時間であり、手作業で行うもの、例えばスケールバーの作成などの時間は含めていない。

a. 一石五輪塔（図5）

自宅敷地の一角で放置されていた花崗岩製の一石五輪塔である。16～17世紀頃のものと考えられる。筆者の父によると、伝承などは特にないという。

作成した三次元データは、テクスチャーモデルは撮影状況に影響されて両側面がやや暗くなったものの、大きな齟齬もなくできあがった。拓本と比較しても言うまでもなく、オルソ画像のほうが明瞭である。

また、オルソ画像から起こした立面図も作成した。外形線・稜線は上からトレースするだけなので簡便であるが、観察は必要である。断面図は花崗岩特有の凹凸がすべて拾われているので、実態に即しすぎているようにも思われる。

b. 石臼（図6）

軒下で採集した花崗岩製の石臼である。近代までは使われていたものと思われる。

解析の際に、B工程終了までは順調だったが、C工程終了後には天地逆で統合されてしまっていた。これは撮影時のミスで、同じターゲットマーカースを使用して撮影したことで統合がされなかったようである。片面のマーカース情報を削除したところ、統合が成功した。これを応用すれば、もう少し簡単に解析ができるのかもしれない。

さて、三次元データであるが、断面図もオルソ画像も表面の摺り目や裏面の加工痕といった箇所は明瞭に表現できている。一石五輪塔同様、実態に即しすぎているようにも見える。摺り目が摩滅しているため、拓本には表れていない箇所もあるが、オルソ画像ではそれを感じさせない。一石五輪塔同様、石造物には大いに有効だろう。

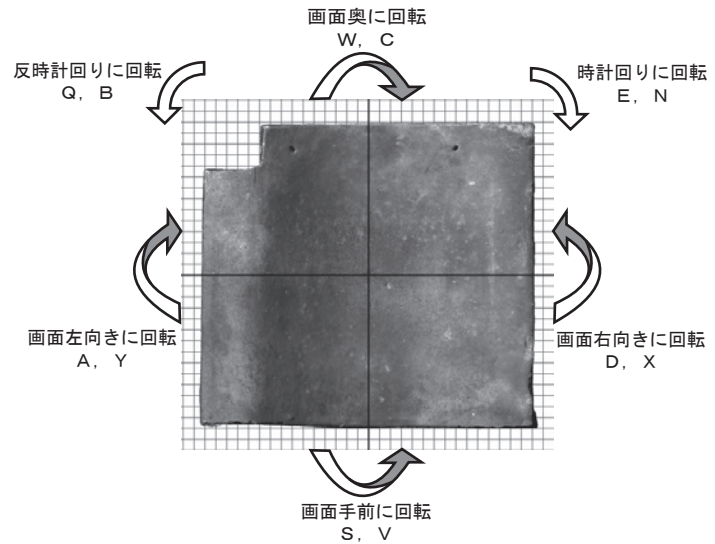
c. 鬼瓦（図7）

昭和58年（1983）に取り壊した旧家屋で用いられていた近世末期～近代の鬼瓦で、一般に家紋や吉祥文、屋号などが入る箇所に名字が入る。正面上部と天面に「極上／甲賀郡／村亀／大野村」というスタンプ刻印が捺されている。

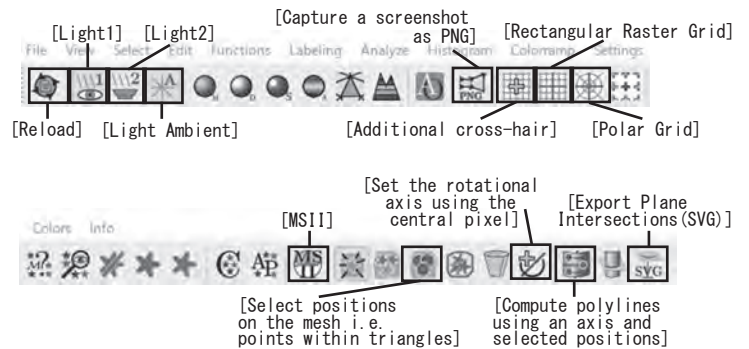
得られた三次元データは文様や刻印の表現がある程度されていると思われるが、接写撮影をシャッタースピードの関係上、オート撮影にしていたことで、絞り値が低くなり、ピントが甘くなったようで、菊花や文字の隙間、周囲の溝状部分などがややぼやけている（図7-2①、②）。

表 1 GigaMesh のキーボードショートカット

キー	内容
F1	バウンディングボックスの表示・非表示
F2	背景のグリッドの表示・非表示
F3	任意の面で切り取る
F6	デフォルトビューに設定
F12	デフォルトビューに戻す
1	ライト 1 の ON・OFF
2	ライト 2 の ON・OFF
9	周囲のライト (Ambient light) の ON・OFF
O	ライトの ON・OFF
Q	反時計回りに 1 度回す
E	時計回りに 1 度回す
B	反時計回りに 90 度回す
N	時計回りに 90 度回す
A	画面左向きに 1 度回す
D	画面右向きに 1 度回す
Y	画面左向きに 90 度回す
X	画面右向きに 90 度回す
W	画面奥に 1 度回す
S	画面手前に 1 度回す
C	画面奥に 90 度回す
V	画面手前に 90 度回す

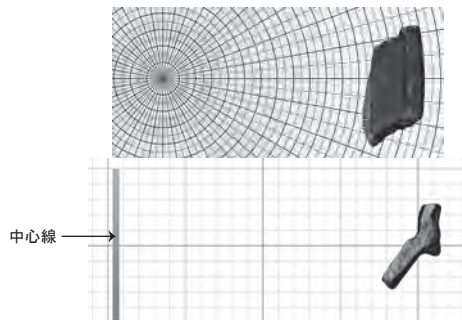


3-1. 回転方向とショートカットキー



3-2. GigaMesh の主な使用アイコン

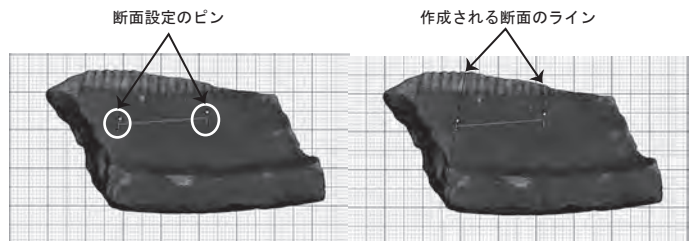
図 3 GigaMesh の基本操作



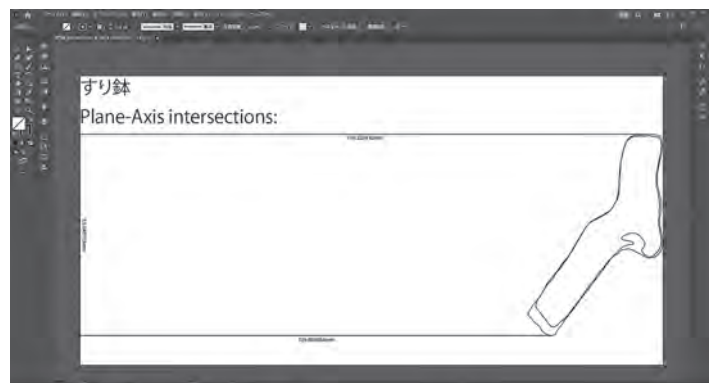
4-1. 中心線を引く



4-3. 別角度からの確認

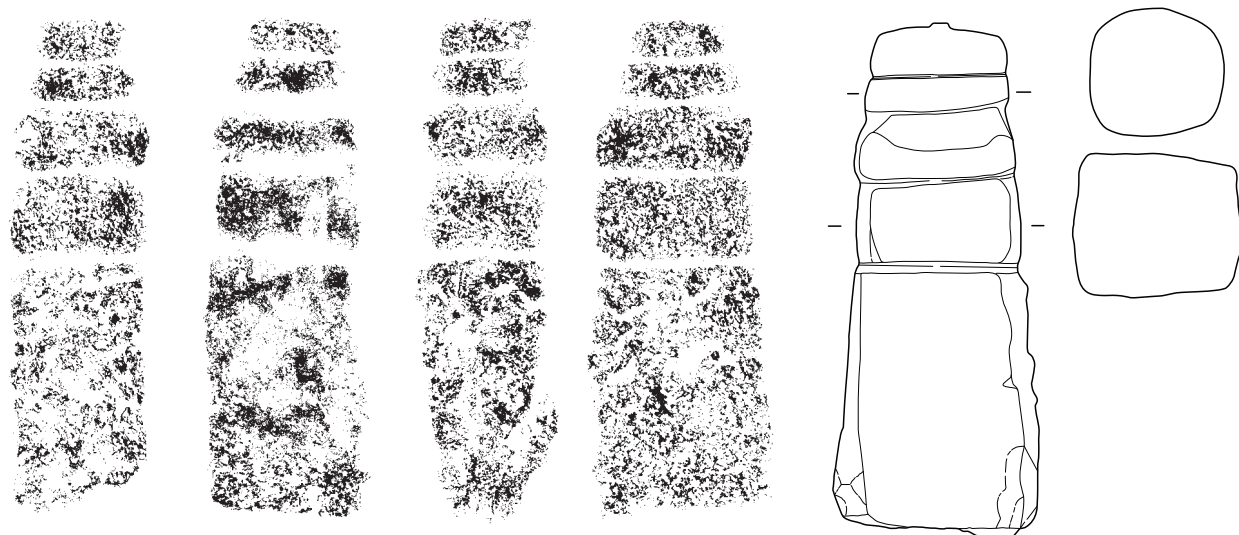


4-2. 断面箇所を選ぶ

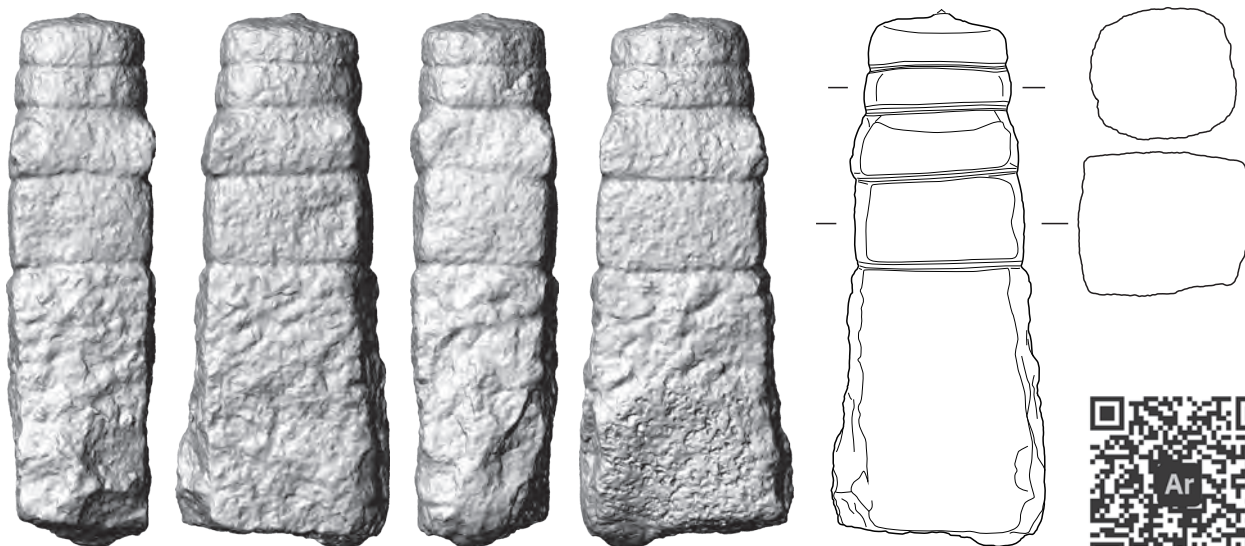


4-4. 書き出された図の確認 (Ai)

図 4 GigaMesh での断面図作成



手実測

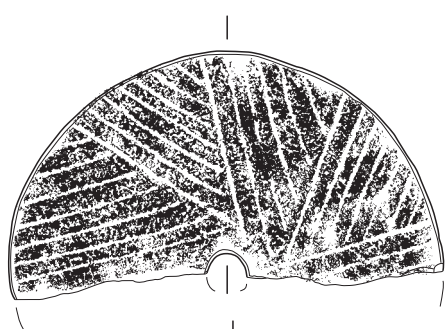


三次元データ

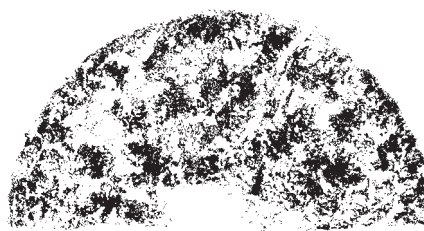
図5 一石五輪塔



一石五輪塔 AR



手実測



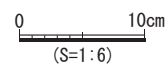
石臼 AR



三次元データ



図6 石臼



また、背面に巻き付けられていた針金を外さずに撮影したため、中途半端にデータ化されている（図7-2③）。

断面図も三次元データの乱れている部分の影響を受けて、ライン自体が変形してしまっている。乱れている部分はそのまま撮影不足の箇所になり、撮影した枚数ではデータ構築に足りていないことがわかる。

刻印は鬼瓦全体とは別に三次元計測を行っており、①が拓本、②はサーフェスモデル、③は強調表示、④はテクスチャーモデル、⑤はフルモデル中の刻印（サーフェス画像）である（図7-3、7-4）。いずれの刻印もオルソ画像が明瞭になっている。しかし、全体で撮影するとやや埋没気味となって画像が乱れている。

d. 鎌軒棧瓦（図8）

鬼瓦同様、取り壊した旧家で使われていた近世末期～近代の鎌軒棧瓦である。瓦当文様は線表現の半截菊花文を中心飾とし、連続する唐草が2反転する均整唐草文である。

断面図に関しては、概ね良好である（図8-1）。三次元データから作成した図は見通しが画像となるため、やや違和感があるようにも思われる。また、固定用の銅線を通す穴が、細いこともあり、表面には表れているものの、貫通した穴とはならなかった。

また、文様の比較に同文の瓦当の三次元計測も行った（図8-2②）。瓦当面目だけであれば撮影枚数が少ないので、短い時間で作成可能で、範型の確認には充分だが、正面だけを撮影すると瓦当面が弓形状に歪むので、斜角からの撮影も必要である。図8-2は拓本、サーフェスモデル、強調したものの3点を掲載した。拓本は画仙紙の伸縮があるので、同文であっても同範・異範であることを客観的に示すには難があるが、サーフェスモデルや強調表示のものはレンズによる歪みが解決していれば、細かい点も含めて客観的な表示ができる。一方で欠損部などの不要な部分も含めてデータができあがり、余計な情報も入ってくるので、拓本と三次元データの併用がいいのかもしれない。

e. 陶器擂鉢（図9）

畑で採集した擂鉢片で、近代以降のものとみられる。

口径はほとんど残存していないため、反転復元は行っていない。稜線については、書き出されたラインから推定して引いているが、メリハリがあまりなく、手実測の方が緩急をつけられているように見える。また、残存箇所が少ないためか、実際の角度で書き出される三次元データよりも、拓本の方が視認しやすい。

f. 磁器碗（図10・12-1）

蔵に残されている桐箆筥に収められていた染付碗である。桐箆筥の中には「弘化三（1846）」銘の箱や大正14年（1925）9月3日付の新聞片があることから、近世末期～近代のものと思われる。

外面には上部に雷文、体部に「福」と「壽」の字を2つずつ意匠とし、字間と下部に葉文、内面は上部に雷文、底

部に「壽」の字を意匠とする。

結論として、三次元計測の結果は芳しくなかった。特に内面は雷文と「壽」の字しかないため、特徴を掴みづらかったようである。チャンクを統合する前は、ある程度の解析ができていたものの、統合後はトグロを巻いたような点群ができあがっており、C工程終了後には、ほとんど原型がなかったため（図12-1）、写真を撮り直し、スケールバーの設定などのタイミングを変更したところ、5回目ですらC工程まで完了した。しかし、全体的に穴が多く、かつ、何回か試したものの、ファイルがGigaMeshで開けなかったため、Blender（Ver.2.93.111.0）を使用して、新たなデータとして保存したところ、GigaMeshで開くことができた。断面図は内外面ともにノイズが多いことが見て取れる。染付部分と無地部分で凹凸があると認識したようだ。

オルソ画像はややノイズがあるとはいえ、ある程度までは解析できていることもあり、釉薬の反射や器壁による影がないので、画像としては望ましいものになっているように思われる。しかし、画像精度がよくないという根本的な欠点があるため、はめ込み画像には使用できない。いずれにしても、処理に要した時間が結果に見合っていない。

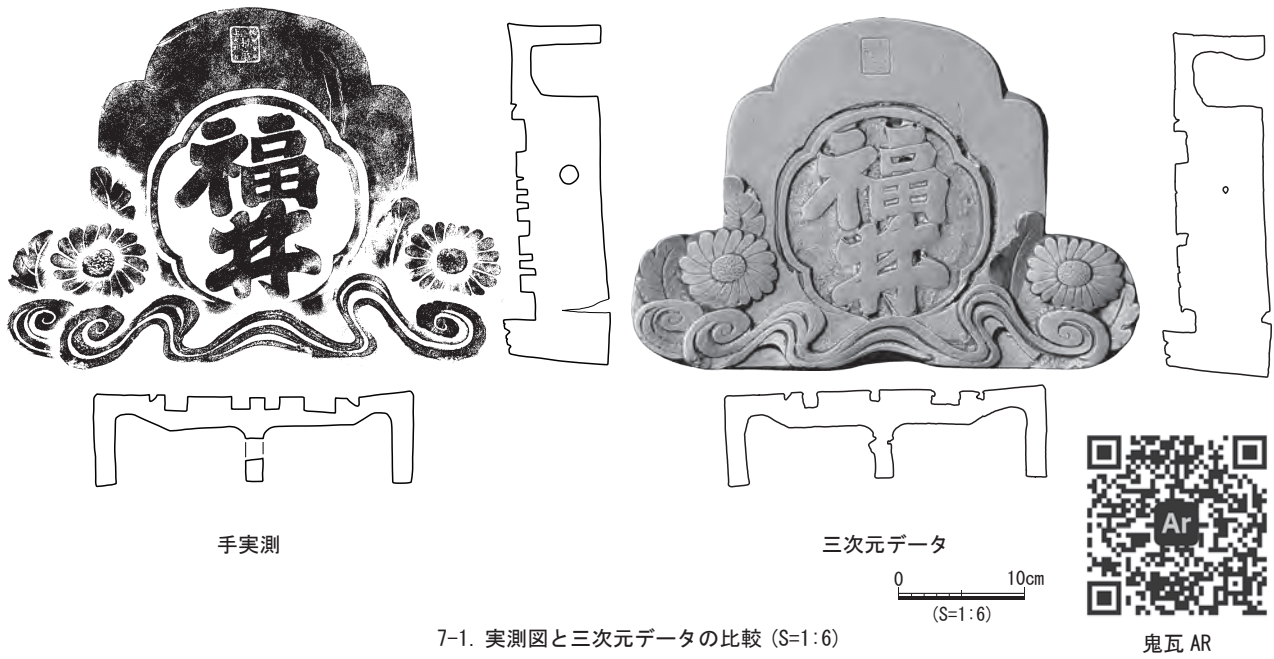
g. 磁器皿（図11・12-2）

蔵にある木箱に収められていた蛇の目高台を持つ肥前系の輪花皿（箱書「生物皿」）である。年代は記されていないが、蓋や箱底面に「福井治右衛門」と署名があり、享和元年（1801）9月20日付の福井市右衛門宛「月牌之証文」で福井姓の使用が確認できるため、その子である初代治右衛門が家長になった文化9年（1812）から、3代治右衛門が没した明治28年（1895）までに購入したと考えられる。外面は連続する唐草文、内面は蝶や花を意匠とする。

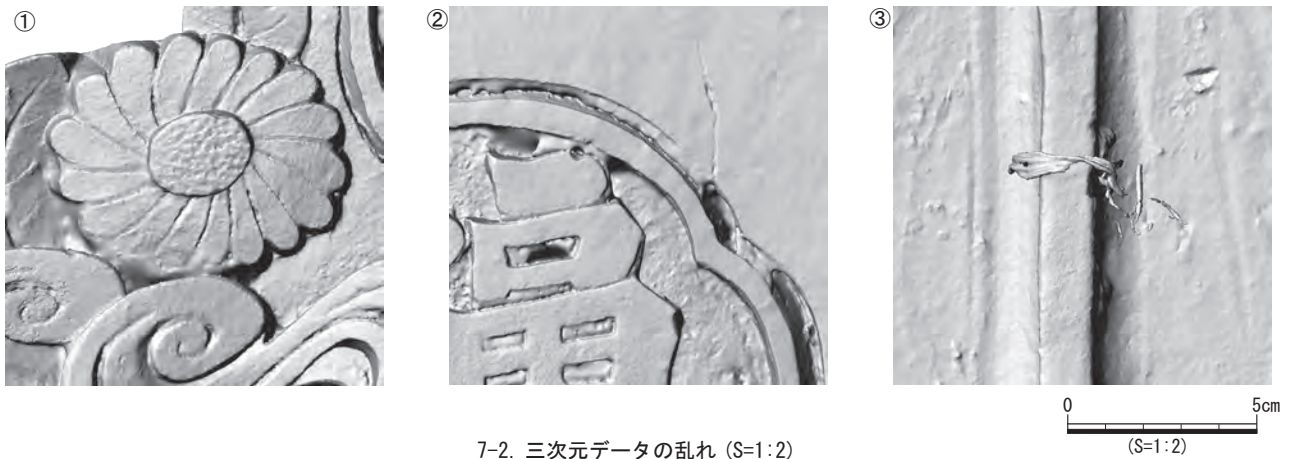
三次元計測の結果は碗同様芳しくなかった。染付部分は画像の信頼度も高く、解析ができていたものの、無地部分は特徴がないためか、解析ができていたとはいえない状況であった。写真枚数を増やしてみたものの、変わらなかったため、やはり特徴がない箇所の解析は難しいようだ。

また、チャンクの統合をするとほとんど原型を留めなかったため（図12-2）、断面図は合成して作成した。こちらも解析できていない無地部分の影響を受けてやや凹凸のあるものになっている。一方、無釉部分（高台内側）は問題なく解析ができています。

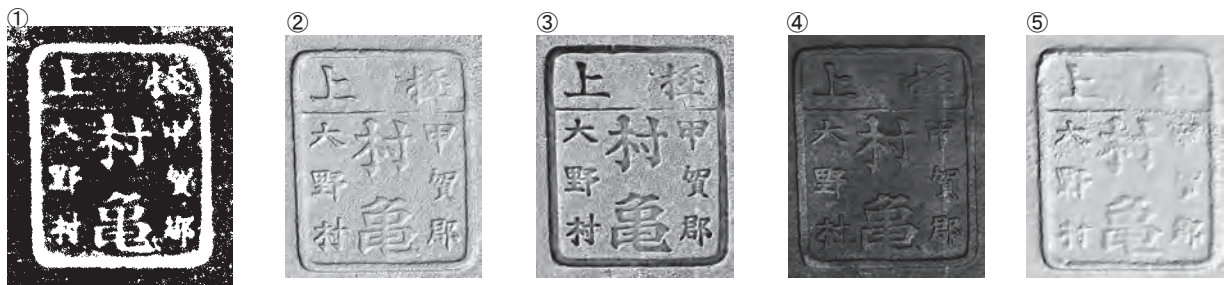
オルソ画像も解析できていない箇所の影響が顕著に表れている。しかし、完形品の内面の横撮りはできないので、三次元データでは可能になっている点と、俯瞰画像も写真を普通に撮影するだけでは釉薬が反射するので、三次元データでは反射がない点は活用できると思われる。しかし、実質A工程+テクスチャー構築だけなので、C工程まで行ったことで、12時間少々余計に時間がかかっていることから、処理にかかった時間に見合わない結果となった。



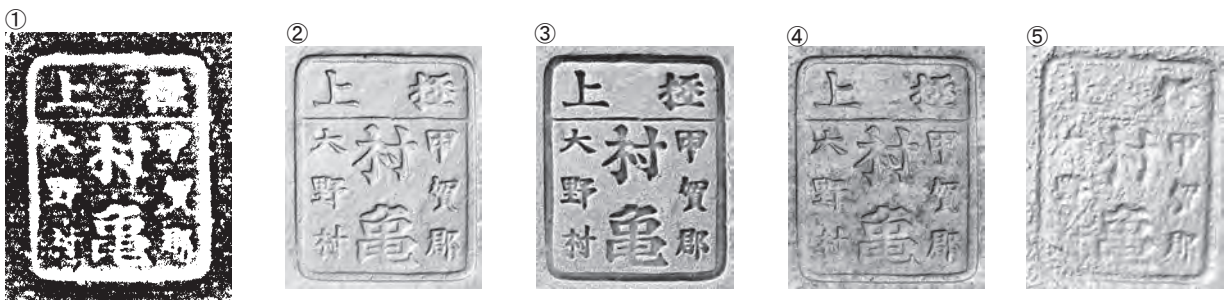
7-1. 実測図と三次元データの比較 (S=1:6)



7-2. 三次元データの乱れ (S=1:2)

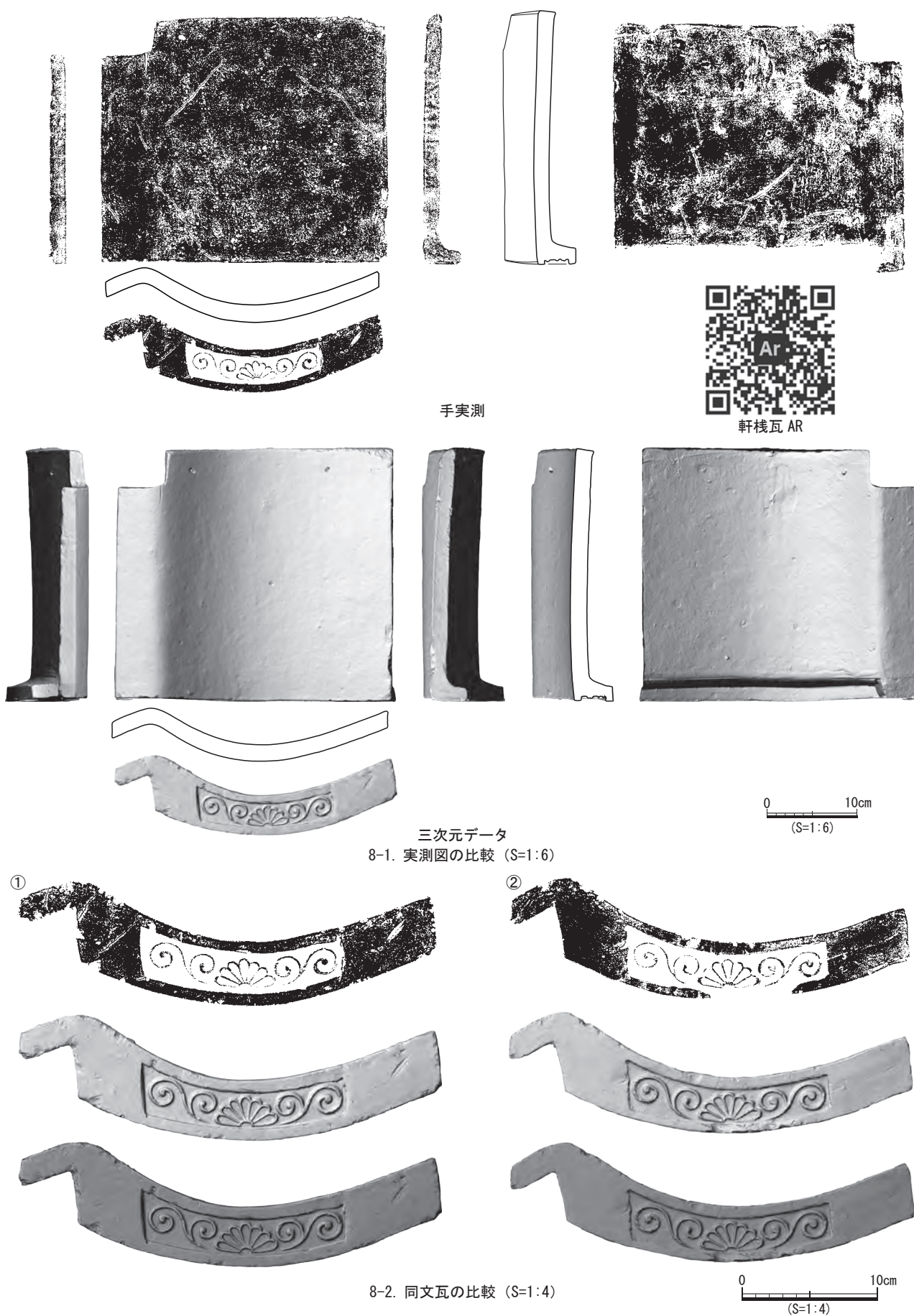


7-3. 正面の刻印 (S=1:1)



7-4. 天面の刻印 (S=1:1)

図7 鬼瓦



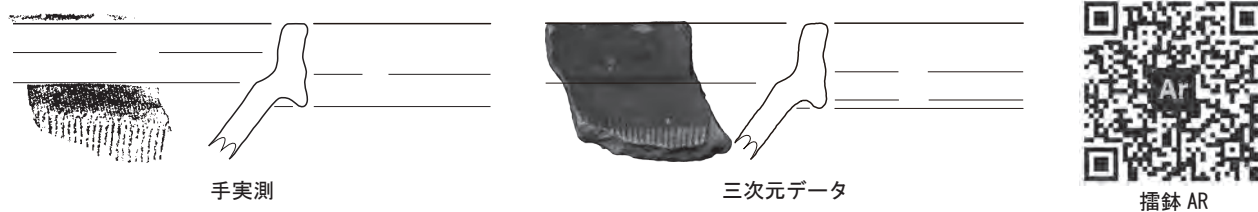


図9 播鉢 (S=1:3)

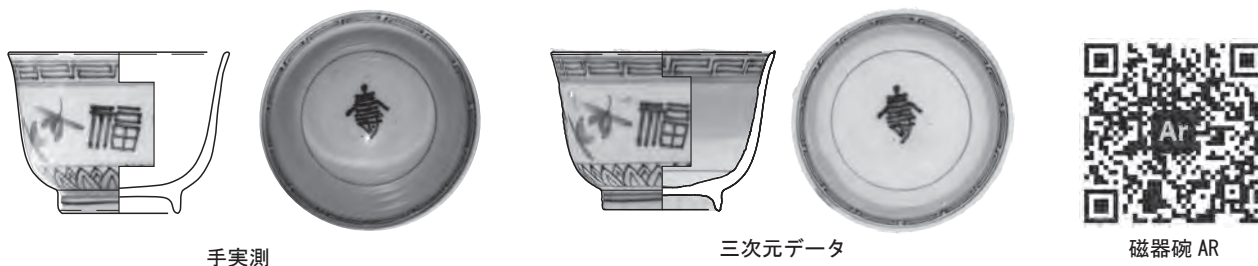


図10 磁器碗 (S=1:3)

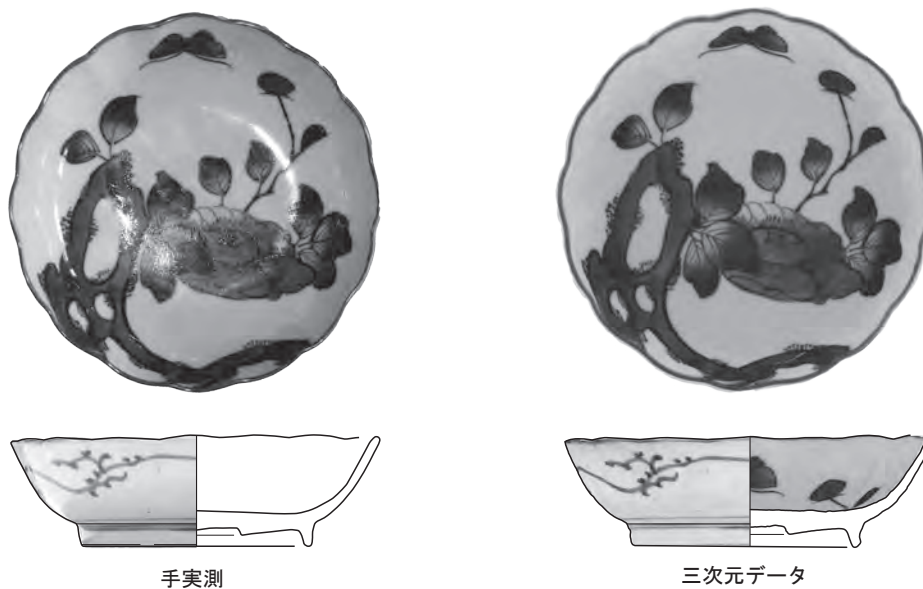


図11 磁器皿 (S=1:3)

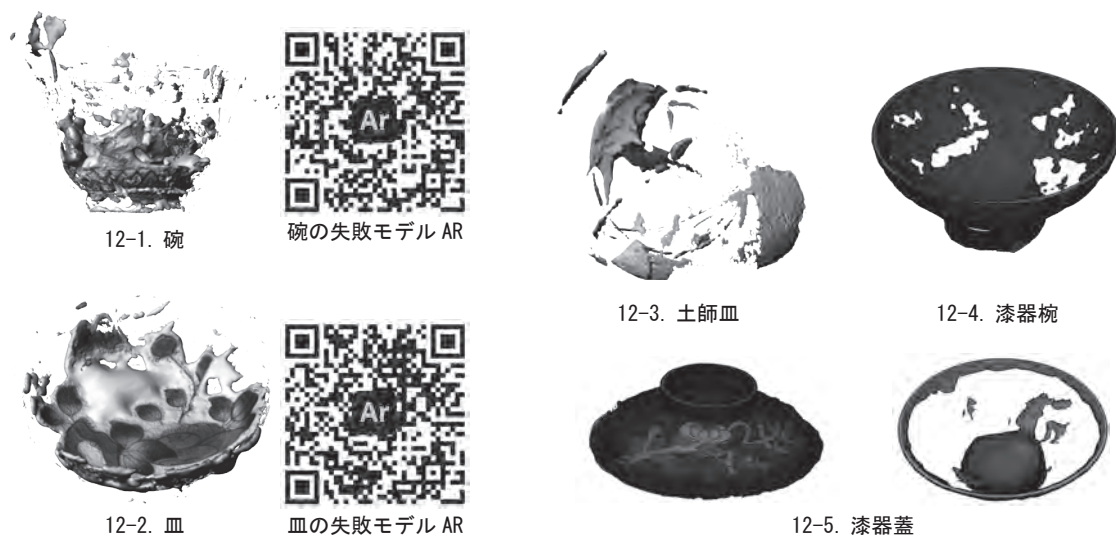


図12 失敗例（縮尺任意）

（2）本検証における長所と短所

長所は、写真撮影ができ、ある程度の手順を踏めば誰にでも精度の高い三次元データを構築することができる点だ。今回は解析にバッチ処理を使用しているので、作業の均一化もでき、連続して作業が行われるので、都度確認をしなくても解析が進み、その間に別の作業もできる。また、解析に関してはバッチ処理のA～Cの3工程と不要部分の削除、スケールバーの作成の5工程で済んでいる。写真撮影・画像の現像、断面図作成のための調整や、今回は行っていないが、画像の信頼度での点群のフィルタリングなどの作業を含めてもそこまで工程が多いわけではない。機材さえ揃えば容易に行うことができる。

また、写真や拓本では表現できない純粋な対象物の形状が表現できる点、遺物に触れずにデータ化できる点、拓本では表れない箇所や細かい箇所が三次元データでは表れている点からも、採拓する遺物に対して有効であることは明らかだろう。例えば、瓦の拓本では文様凸部分のみが表れるが、三次元データでは文様のない箇所や範傷、瓦範の木目といった目視できても拓本に表れないような箇所の客観的な表示ができる。

断面図にしても、破断面や剥離面といった、通常では図化しないところまで図化されることと、稜線や調整痕などはないので、観察に基づく加筆・修正等は必要となるが、簡単に作成できる。ただ、前提として、レンズの歪みなどの影響を考慮した上で、撮影を行い、三次元データのスケール情報が正確である必要はある。今回の検証での誤差は磁器を除くと1mm未満だったので、問題はなさそうだ。

一方で、短所の一番に挙げられるのは時間がかかることだ。処理精度を最高クラスにしていること、TIFF画像かつ高解像度になっていることもあるが、Metashapeでの処理時間は平均8時間59分42秒かかっており、全体的に長い処理時間である。JPEG画像にする、Metashapeにおける解析の精度を少し下げるといった方法で短縮化もできるが、JPEG画像は圧縮されることもあり、画像の明瞭さなども下がってしまう可能性がある(1)。その兼ね合いやJPEG画像とTIFF画像による差などの検討を進めたい。三次元データで何をするのかによって、解析精度や画像形式の選択をするべきなのだろう。

また、撮影枚数が多いからといって確実に三次元データができあがるわけではないようで、かつ、撮影した写真すべてが解析された上で三次元データに用いられるとも限らない。今回の例で言えば、石臼の解析では一石五輪塔よりも撮影枚数が多いものの、一度は片面の解析ができなかった。これはMetashapeで解析をしてみないとわからないことであり、大きな時間のロスとなっている。ほかに「明治卅一年（1898）」銘の土師皿の検証をしてみたところ、各面の解析はできていたものの、共通箇所が少ないためか、統合ができなかった(図12-3)。また、刻印などの細か

な情報を重視して撮影を行うと、その部分は解析されても、全体が解析されないという「木を見て森を見ず」のような状態になったものもあった。刻印などは別に解析することを選択する方がいいのかもしれない。

磁器も三次元データ化が上手くいかなかった。これは特徴の少ない無地部分が多いことと、光沢があることによって解析できなかったと考えられる。元々、Metashapeの解析は、光沢のあるもの、模様や表面に変化のないものの解析は不得意としているため、磁器は難しいのだろう。

ほかに、箱書に「文久三年（1863）亥二月吉辰」とある漆器吸物椀・蓋の解析を行ったところ、蒔絵以外はほとんど解析できなかったため断念している(図12-4、12-5)。陶磁器・漆器などの光沢があり、特徴が少ないものは三次元計測には向かないことがわかる。そのため、当然ながら、実測と同様に対象物の特徴の観察に基づいて、三次元計測を行うかの検討をする必要がある。

加えて、撮影枚数が多い分、データ容量が大きいことが挙げられる。本検証のために撮影した写真は2,384枚（うち1,103枚は失敗・未掲載など）で、三次元計測に関わるデータ容量は約430GBとなっている(2)。

ただ、現像さえしてしまえばRAW画像（1枚当たり約30MB）は削除できるので、データ容量の削減は可能とはいえ、そもそもTIFF画像が1枚当たり約140MBあるので、大きく変わらない（JPEG画像では400dpiで1枚あたり約15MB）。MetashapeでPLY形式の三次元データを作成すれば、Metashapeで作成したファイルとTIFF画像を削除することも可能ではあるが、元データの保存をしておくべきならば、TIFF画像含めて保存が必要となる。

結果として、一長一短があり、一概には善し悪しが言い難い。決して帯に短し襷に長しではないものの、すべてに使えるというわけではない。本項で挙げた短所と思われる内容でも、解析時間の短縮やデータ容量の削減は不可能ではないので(3)、下限を見極めたい。

5. おわりに—今後の課題と展望—

今後三次元データの利活用はより活発になるとと思われる。作成した三次元データを用いて、AR（拡張現実）を作成することもできる。コロナ禍以降、博物館・資料館などの施設のホームページや、Sketchfabなどの三次元データの公開サイトでも、公開されたデータからARの体験ができるものもある。

そこで、本検証で作成した三次元データをBlenderとAdobe Aero（デスクトップ版V0.18.4、iOS版V2.18.4、以下、Aero）、Adobe Creative Cloudクラウドストレージを使用してARを作成してみた。Aeroは執筆段階（令和4年12月末）ではβ版である。詳しい説明は省略するが、作成したPLY形式ファイルをBlenderで変換して(4)、クラウドストレージにアップロードし、Aeroに取り込む

表2 所要時間等一覧表

資料	撮影枚数 (枚)	容量 (GB)		撮影時間 ⁽¹⁾	PCでの処理時間 ⁽²⁾				所要時間計
		RAW	tiff		現像時間 ⁽³⁾	A工程	B工程	C工程	
a 一石五輪塔	126	3.2	16.9	0:39:00	0:29:24	1:42:41	0:22:04	1:42:55	4:56:04
b 石臼	156	4.2	20.9	0:22:00	0:28:56	2:41:44	0:41:40	2:27:15	6:31:43
c 鬼瓦	294	6.4	30.6	0:30:00	0:45:00	2:44:33	0:45:43	3:13:09	7:58:25
d 軒棧瓦	212	5.8	28.4	0:35:00	0:56:32	4:44:56	1:06:02	5:35:58	12:58:28
d 軒棧瓦当	52	1.4	5.2	0:16:00	0:09:07	0:11:24 ⁽⁴⁾			0:36:31
e 播鉢	102	2.9	13.7	0:19:00	0:23:48	1:22:53	0:20:05	0:32:45	2:58:31
f 磁器碗 ⁽⁵⁾	134	3.3	17.9	0:15:00	0:19:56	3:37:28	0:18:31	9:43:50	14:14:45
g 磁器皿 ⁽⁵⁾	205	4.3	27.5	0:38:00	0:44:25	6:48:37	0:44:05	11:41:02	20:36:09
合計	1,281	31.5	161.1	3:34:00	4:17:08	62:57:56			70:50:36
平均	183.0	4.5	23.0	0:30:34	0:36:44	8:59:42			10:07:14

(1) 1枚目の撮影から、最後の1枚までの撮影時間（カメラの日時記録から算出）
(2) スケールバー作成・不要部分の削除などの手作業分を除く (3) 1枚の処理時間×枚数で算出
(4) A工程+テクスチャー構築のみ (5) Metashapeの解析をラップトップ型PCで行った



図13 ARでの表示

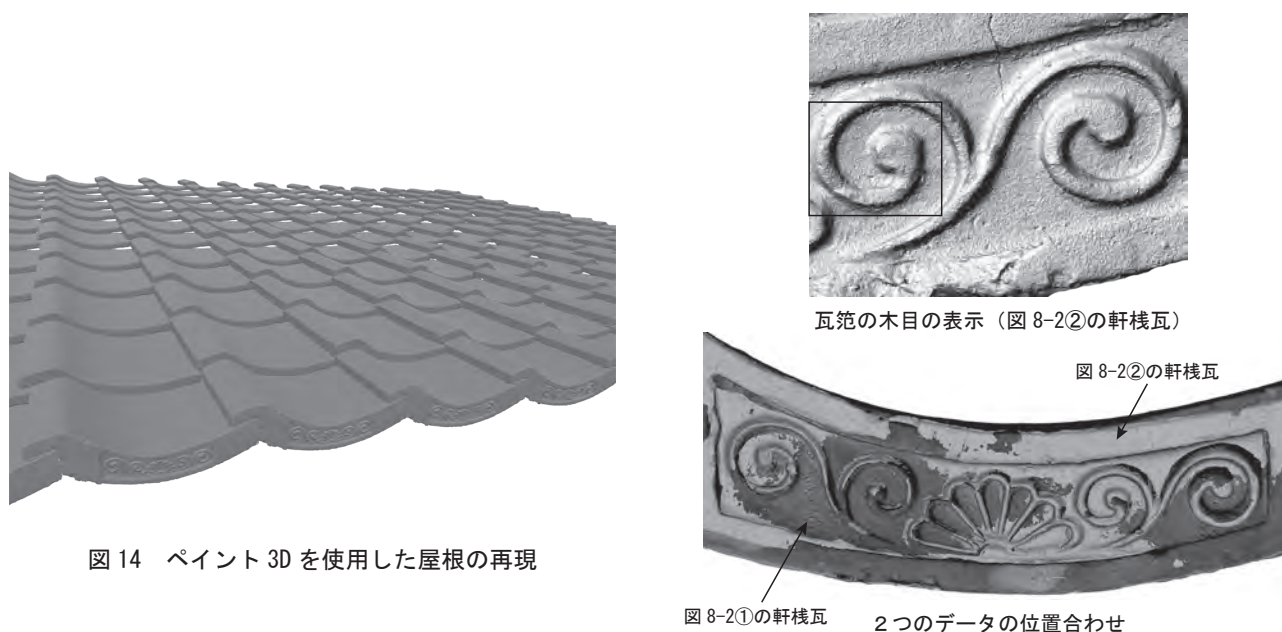


図14 ペイント3Dを使用した屋根の再現

図8-2①の軒棧瓦 2つのデータの位置合わせ

図15 三次元データ利用による表示

だけで作成できる。本稿では、磁器皿以外の AR 閲覧用の二次元コードを掲載している。執筆段階では、二次元コードをスマートフォンのカメラで読み込む、もしくは URL を開くことで閲覧することができる（図 13）。iOS 端末はソフトウェア不要で閲覧できるが、android 端末は無料のビューアをダウンロードする必要がある。ただし、すべての機器で動作するわけではないので、注意が必要である。

ほかに、ペイント 3D などのソフトウェアを用いれば、簡単に複数の三次元データを組み合わせた画像を作成できる（図 14）（5）。これは画像に限らず、三次元データとして出力することや動画として撮影することもできる。

三次元計測は手順さえ分かれば手軽に行える面があるが、撮影方法やソフトウェアの解析精度によってできあがってくる三次元データにややムラがある。現状では、必ずしも成功する方法というものを編み出せておらず、同じ画像を使用しても結果に差が生まれることもある。そのため、写真枚数の下限や三次元データの利用目的による解析精度の設定などを含めて、検討していく必要がある。

一方で、石造物や施文土器、瓦といった従来採拓していたような遺物には三次元データが有効である。例えば瓦では、拓本には表れない細かな箇所や範傷の確認、2つの三次元データの重ね合わせによる同范認定（CloudCompare（v2.13.alpha）を使用）などを客観的なデータとして提示できることは大きな利点と言える（図 15）。

結果として、遺物に三次元計測を用いるには向き不向きがあることは否めない状況にあるが、検証を積み重ねる事によって、有用性があるものが次第に判明していくと思われる。今回の検証は筆者の自宅敷地内で採集したものであるため、新しい時代のものかつ、石造物や瓦といったレアケースのものが中心となった。今後、発掘調査で主体を占める土器類についても検証を重ねていきたい。

なお、本稿における作業・処理工程は筆者が紆余曲折を経て作業をした結果によるもので、作業に非効率な部分もあると思われるが、御容赦いただきたい。

〔謝辞〕

三次元計測の検証に際して、滋賀県立大学人間文化学部の佐藤 聖教授・金宇大准教授、当協会精度向上委員会の皆様には様々なご意見・アドバイスをいただきました。また、AR の検証には福井の友人である松原汐里氏にご協力いただきました。併せて御礼申し上げます（福井）。

註

（1）同じ遺物を使用した、同じ画像を使って比較したわけではないので、一概には言いにくいものの、JPEG 画像（72dpi）で作成した三次元データは、TIFF 画像で作成した三次元データに比べてノイズが多い。

（2）表 2 には示していない、PLY 形式のファイルや Metashape で

作成したデータ、オルソ画像データなどを含む。

（3）本稿とは別に検証を行った完形須恵器で、撮影枚数 66 枚の JPEG 画像（72dpi）、Metashape の解析精度をすべて中にしたところ、処理時間 3 分 39 秒でフルモデルを作成できた。断面図作成まで約 20 分で完成しており、大きな齟齬もなかったため、三次元データの用途次第ではあるが、処理時間の短縮化・データ量の削減は可能である。

（4）作成した三次元データは容量が大きいため、Blender で面の数を 50～75%削減し、容量を小さくしてから変換している。

（5）三次元データは Blender で面を 75%削減したものを使用した。

文献一覧

- 金田明大（2017）「三次元計測と RTI による土器計測・観察の可能性と課題」『文化財の壺』第 5 号 文化財方法論研究会
- 中村亜希子（2017）「データベース作成に向けた瓦当の三次元計測方法とその実践」『文化財の壺』第 5 号 文化財方法論研究会
- 中村亜希子（2018）「瓦当紋様の三次元計測データを用いた研究法」『文化財の壺』第 6 号 文化財方法論研究会
- 中村亜希子・山口欧志（2017）「瓦当の三次元計測法の検討—瓦当データベース構築に向けた模索—」『奈良文化財研究所紀要 2017』独立行政法人 奈良文化財研究所
- 野口淳（2020）「三次元データの可能性—活用と課題—」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 2』奈良文化財研究所 研究報告 第 24 冊 独立行政法人 奈良文化財研究所
- 林正憲・中村亜希子・山口欧志（2022）『3 次元データによる瓦の同范認識技術の基礎的研究』
- 山口欧志（2016）「考古遺物の三次元モデル作成」『文化財の壺』第 4 号 文化財方法論研究会
- 山口欧志（2017）「遺物の微細痕跡の資料化」『文化財の壺』第 5 号 文化財方法論研究会
- 山口欧志（2019）「新たな可視化方法の試行：文化財の特徴を捉えるために」『文化財の壺』第 7 号 文化財方法論研究会

挿図典拠

写真 1 福井撮影

図 1～4・14・15・表 1・2 福井作成

図 5～12 実 測 図：山田・福井実測

三次元データ：福井作成

図 13 松原汐里氏提供

（やまだ りさこ：
滋賀県立大学人間文化学部地域文化学科）
（ふくい ともき：調査課 技師）

ANNUAL BULLETIN
of
Shiga Prefectural Association for Cultural Heritage
Vol.36 2023.3

私たちは文化財をととして
ゆたかな滋賀づくりに貢献します。



公益財団法人滋賀県文化財保護協会
Shiga Prefectural Association for Cultural Heritages