

反射・光沢のある文化財資料の三次元写真計測と 3D モデルの活用手法の検討

仲林 篤史

1. はじめに

近年の考古学・埋蔵文化財行政分野で導入が進んでいるデジタル技術の一つに、三次元計測（測量）が挙げられる。

京都府立大学考古学研究室でも、三次元計測技術を導入した取り組みは進んでおり（菱田・溝口 2022）、共同研究員の初村武寛氏（元興寺文化財研究所）や筆者、一部の学部生・大学院生を中心に、地方自治体の市（町）史編纂事業等での資料の計測（初村 2022）から教育普及を目的としたデータの活用（仲林 2024）まで多様な活動を行っている。

考古学などの学術研究を目的とした三次元計測技術の手法や、遺跡・遺物を問わず対象となる文化財に関する整理は 2010 年代後半に行われており（金田 2019）、近年では三次元計測した考古資料のデータをテクスチャ画像付きの 3D モデルとして公開活用を行うなど、教育普及分野での活用事例も増加している（高田 2023）。

公開活用を前提としたデータの取得は、デジタル写真から高精細なテクスチャ画像が取得できる三次元写真計測（以下「フォトグラメトリ」とする）を用いるのが主流で、最もメジャーな公開用プラットフォームの Sketchfab では、2024 年 11 月現在で 60 を超える公的機関等で文化財 3D モデルを公開している。Sketchfab はウェブ上での 3D モデルの公開・共有に特化したサービスであることに加え、物理ベースレンダリングと呼ばれるコンピューターグラフィックス技術が採用されており、文化財 3D モデルのより魅力的な描画が可能である（仲林 2023）。

ところで、考古資料と同じく有形文化財に分類される美術工芸品、たとえば陶磁器や金属器などの資料が三次元計測やデータの活用の対象になることは少ない。表面の質感に起因する技術上の課題があるからである。一方で、反射・光沢をもつ資料の 3D モデルでは、前述の物理ベースレンダリング技術を適用することで、表面の質感さえも本物に近づけた再現が可能である。

本稿では、多様な文化財の 3D モデルの公開活用は教育普及に一定の効果があるとの観点から、データ取得に課題のある資料を対象に、計測手法の構築に向けた検討を行う。

2. 検討の方向性

反射・光沢を表面にもつ資料のフォトグラメトリには、交差偏光撮影が有効である点が既に指摘されている（山口 2024）。しかし、交差偏光撮影には、偏光フィルタや照明機材の調達など、一般的な写真撮影よりも多くの機材・専門知識が必要となる。よって本稿では、交差偏光撮影の重要性を理

解しつつも、特殊な機材を用いない撮影をベースにしたデジタル画像の処理、いわゆるポストプロセスの有効性を検討する。

具体的には、撮影した画像データの補正処理、特に白飛びや影の除去の効果を、2つの異なるフォトグラメトリソフトで確認する。

次に、フォトグラメトリソフトで生成した3Dモデルのテクスチャ画像に対する補正処理の効果を確認する。

3. 検討

検討にあたって撮影・計測した資料は図1のとおりで、全て筆者の私物である。フォトグラメトリ用の写真撮影に用いた機材は表1で、ソフトウェアはAgisoft社のMetashape 2.1.01及びCapturing Reality社のRealityCapture1.4を使用した。

(1) 写真の補正処理

70枚程度の簡易的に撮影した写真群の画像データ（JPG形式）をAdobe Lightroomで読み込み、ハイライトや影を軽減する設定（図2）で書き出した（図3）。この補正処理の効果を以下の2つの比較を通じて確認する。

a. アラインメント処理結果の比較

ハイライトや影の補正処理は、フォトグラメトリのアラインメント（画像間に共通する特徴点（タイポイント）の抽出とカメラ位置の推定処理）において、タイポイントをより多く検出させる効果が

資料番号	1	2	3
種別	水滴	皿	小鉢
写真			

図1 撮影・計測対象資料

表1 使用機材

種別	製造元	製品番号
カメラ	SONY	ILCE-7M3
レンズ	SIGMA	70mm F2.8 DG MACRO
ライト	Godox	R200 / AD200 Pro
回転台	ORANGEMONKEY	Foldio360 / foldio3

見込まれる。補正処理の影響を確認するため、2つのフォトグラメトリソフトを用い、補正処理の有無と抽出されたタイポイント数を比較した（表2）。

結果、Metashape、RealityCapture とも資料1では補正処理を行った画像群のタイポイント抽出数が増加したが、他の資料では補正処理の効果は認められなかった。

b. 生成されたテクスチャ画像の比較

Lightroom の補正処理が 3D モデルのテクスチャ画像生成に与える影響を確認するため、フォトグラメトリソフトで 3D モデル及びテクスチャ画像を生成し、3DCG ソフト Blender4.2 を通して目視で比較した。ここでの「テクスチャ画像」とは、光の影響を受けていない物体表面の固有色であるディフューズ（拡散反射色）テクスチャのことである。

図4は上段が Metashape、下段が RealityCapture で生成したテクスチャ付き 3D モデルのオルソ画像である。左列は Lightroom での補正処理を行っていない画像群から、右列は補正処理を行った画像群からそれぞれ生成した。

資料1では、注口部下方に水平方向に伸びる帯状の線が見え



図2 Lightroom の設定



図3 Lightroom の補正処理なし（左）と補正処理あり（右）

表2 タイポイント検出数の比較

資料番号	イメージ数	Metashape		RealityCapture	
		補正処理なし	補正処理あり	補正処理なし	補正処理あり
1	69	266,347	277,108	142,057	158,781
2	72	69,008	65,844	42,703	39,901
3	72	55,545	53,219	27,793	27,664



図4 テクスチャ画像の比較
各資料の上段：Metashape 下段：RealityCapture
各資料の左列：処理なし画像群
右列：処理あり画像群

る。リングライトの写り込みがテクスチャ画像に反映されたもので、Metashape、RealityCapture ともに見られる。このような写り込みは、資料2の内面の立ち上がり部分に、資料3では、底部付近で水平方向に Metashape、RealityCapture それぞれのモデルで確認できる。資料1・3では Metashape のモデルの方がリングライトの写り込みによる影響が少ないものの、どの資料も写り込みの除去には至っていない。

以上より、Lightroom の補正処理がテクスチャ画像生成に与える効果は、アラインメント処理と同様に、限定的であることが確認できた。

(2) テクスチャ画像の加工処理

(1)での検討結果から、撮影した写真群に対する Lightroom の補正処理は行わず、いったん 3D モデル及びテクスチャ画像を生成し、そのテクスチャ画像に対して Lightroom で補正処理を行い、効果を確認した。

確認方法は、資料1～3を全方位から撮影した写真群を用いて 3D モデル化を行い、生成されたテクスチャ画像を Lightroom で補正処理したもの（図5右列）としなかったもの（図5左列）との比較による。Lightroom の設定は、図2を基本に適宜、調整している。3D モデル等の生成に用いたフォトグラメトリソフトは、資料1・2が RealityCapture、資料3が Metashape である。両ソフトで生成した 3D モデル及びテクスチャ画像を比較し、ハイライトやライトの写り込みが強いものを選択した。

資料1では、釉薬のかかっていない底部を除く表面全体に周辺光やリングライトによる反射が反映されている。これに対して補正処理を行ったテクスチャ画像を適用したモデルでは、ハイライ



図5 テクスチャ画像加工処理の比較

資料 1・2：RealityCapture で作成 資料 3：Metashape で作成
左列：Lightroom の補正処理なし 右列：Lightroom の補正処理あり

ト等が軽減されている。資料 2 では、図 4 で見られた内面の立ち上がり部分の写り込みの影響が、Lightroom の補正処理により軽減されている。資料 3 でも、図 4 で見られた底部外面のリングライトの写り込みが軽減されている。

以上から、テクスチャ画像に対する Lightroom の補正処理は、ハイライト等を軽減する効果があることが確認できた。

4. おわりに

陶磁器等の三次元計測の技術的な課題は、近年ではフォトグラメトリソフトのアルゴリズムに組込まれた画像補正処理の進歩により、多少のハイライトや写り込みにもかかわらず、「それなりの」テクスチャ画像が生成される段階でもある。本稿での検討結果、さらに効果を高める手法が確認できた。今後は、生成された 3D モデル及びディフューズテクスチャから、反射・光沢の再現手法を検討し、3D モデルを用いた多様な文化財の活用技術を確立したいと考えている。

本稿は、JSPS 科研費基盤研究 (C)23K00207「文化資源としての伝世陶磁器 3D モデル作成の手法構築と普及」(研究代表者：(地独) 大阪歴史博物館 加藤俊吾) の成果である。

引用・参考文献

- 金田明大 2019「3 次元技術等によるデジタル技術の導入」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用』奈良文化財研究所研究報告 21 (独) 奈良文化財研究所
- 高田祐一 2023「文化財 3D モデルをインターネットで公開するー歴史系博物館・埋蔵文化財センター等の sketchfab 開設状況ー」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用』奈良文化財研究所研究報告 37 (独) 奈良文化財研究所
- 仲林篤史 2023「Sketchfab に公開する 3D モデルの魅力的な見せ方」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用』奈良文化財研究所研究報告 37 (独) 奈良文化財研究所
- 仲林篤史 2024「三次元計測モデルを用いた京田辺市 VR コンテンツの制作」『京都府立大学文学部歴史学科フィールド調査集報』第 10 号 京都府立大学文学部歴史学科
- 初村武寛 2022「和束大杉の形象埴輪・須恵器提瓶の 3D スキャンと出力」『京都府立大学文学部歴史学科フィールド調査集報』第 8 号 京都府立大学文学部歴史学科
- 菱田哲郎・溝口泰久 2022「京都府立大学文学部考古学研究室における三次元計測ー現状と課題ー」『京都府立大学文学部歴史学科フィールド調査集報』第 8 号 京都府立大学文学部歴史学科
- 山口欧志 2024「交差偏光撮影×深度合成×フォトグラメトリによる文化財の三次元計測」『奈文研ニュース』奈文研ニュース 92 (独) 奈良文化財研究所