

学生作品のデジタルアーカイブ制作 -3 種類の手法による三次元デジタルアーカイブの比較-

小笠原 寛夫*

滋賀短期大学 デジタルライフビジネス学科

Creation of Digital Archives of Student Works

-Comparison of Three-Dimensional Digital Archives Created by Three Methods-

Hiroo OGASAWARA*

Department of Digital Life Business, Shiga Junior College

抄録：近年、ものづくり教育の現場においても、学生作品をデジタルアーカイブとして保存することが求められる。本研究では、3 種類の独立した手法を用いて、三次元デジタルアーカイブを制作するための基礎データを収集して、比較・検証をおこなった。さらに、記録の保存や再現方法の利便性についても検証した。これらの検証結果を踏まえて、学生作品を記録するための有効かつ実行可能なメディアを提案したい。

キーワード：ものづくり教育、デジタルアーカイブ、フォトグラメトリ、3D スキャナー

1. はじめに

近年、飛躍的なデジタル技術の発展により、様々な分野で多種多様な手法を用いてデジタルにおけるアーカイブが進行している。デジタルアーカイブを構築する目的のひとつは、文化的価値の高い資産を後世に継承していくことである。特に歴史的資産価値の高い美術作品は、非常に多くのデジタルアーカイブが存在している。

美術分野におけるアーカイブのキーワードは記録・保存・再現である¹⁾。

筆者は、所属する大学でものづくり教育に携わっており、授業課題として個人作品

を制作させることが多い。その多くは立体作品であり、主な記録方法として写真撮影が選択されている。写真のような静止画による記録方法では、一面的な情報の保存に限定され、空間情報を盛り込むことができない。したがって、教育現場において記録するためのメディアの選択肢は少ないのが現状である。また、最小規模で運用しているデジタルアーカイブは公益性の高いコンテンツが主である²⁾。

筆者の知り得る限り、個人作品のような公益性の低いものに対して、簡便にデジタルアーカイブを作成する手法は確立され

* E-mail:ogasawara@sumire.ac.jp

ていない。学生作品のデジタルアーカイブは、これからのものづくりを継続させていく上で重要であり、大きい情報量で作品を残すことは、その保存性や再現性の観点からも欠かせない。したがって、学生個人の作品を残して保存していくことは、教育現場におけるミッションのひとつである。

2022年に本学に着任して以来、筆者はものづくり教育の一環として、学生自らが個人作品をデジタル方式で撮影・記録できるように環境整備を進めて来た。その作品対象として、単なる静止画だけではなく、三次元（以下3D）空間を扱うことを視野に入れている。その端緒として、3D空間デジタルアーカイブに伴う周辺機器の選別や撮影・記録に関する基礎データを収集した。

本論文では、独立した3種類の手法を用いて、3Dデジタルアーカイブをそれぞれ作成し、記録で利用した機器の操作性、記録から3Dデータ生成までの所要時間、生成した3Dモデルの精度およびテクスチャーの完成度について比較・検証した。さらに、記録の保存や再現方法の利便性も確認した。検証した結果について考察し、限られた時間とコストの中で学生作品を記録するために有効かつ実行可能なメディアを提案する。

2. 記録における作品・手法・機材・ソフトウェア・場所の選定

2.1 記録・検証する作品の選定

本学のものづくり教育において、学生による制作作品の例として、服飾をはじめ、

ハンドメイドおよび模型建築が挙げられる（図1,2,3）。これらのうち、本研究では、あらかじめ記録・検証をおこなう対象として「服飾」を選定した。その理由は、服飾の作品群に從属する容量（大きさ・重さ）、豊富で多様な素材および色彩が、作品の記録に伴う情報量の検証、また記録作業で生じる問題点および課題要素の洗い出しに最適であると考えたからである。



図1 学生による服飾の作品



図2 学生によるハンドメイドの作品



図3 学生による模型建築の作品

表1 記録する作品のリスト

分類	作品の大きさ	作品の重さ	素材の種類	色彩の数
服飾	150cm 45cm	700g	5	3
ハンドメイド	33cm 28cm	160g	5	5
模型建築	33cm 28cm	100g	2	2

表データの結果、作品が大きく、重いと記録が困難になると想定できる。また、素材や色彩の数が多いと記録時における正確な記録がしづらい問題があり、3Dアーカイブによってそれらの問題を解決する糸口になると判断し、以上の結果から服飾を選定した。

2.2 3次元立体形状の情報取得法

3次元の立体形状の情報を取得する手段として、現在2つの手法が主流である。ひとつは、LiDARセンサーであり、この方法では、対象物に照射したレーザー光線の反射光を検知し、情報処理することにより、対象物までの距離や対象物の形状を計測する。一方、フォトグラメトリによる記録方法は、対象物をさまざまな方向から撮影し、複数枚のデジタル画像を解析・統合して立体的な3Dイメージを作成する手法で、「写真測量法」とも呼ばれる³⁾。

2.3 記録する機材およびソフトウェアの選定

検証に用いる機材は、学生が卒業後でも使用できるものが理想的であろう。そこで、3Dスキャナーには、Revopoint POP 2 (Revopoint社) を、記録機器にはLiDARセンサー搭載のスマートフォンを選定した (iPhoneでは、12 Pro 以降から標準装備)。

業務用3Dスキャナーは、一般的に高価である。価格が100万円以上するものも多く、学生が購入・使用することを考慮すると現実的ではない。しかし、最近では、家庭用3Dスキャナーでも比較的精度^{a)}の良いデータが取得できる機種もみられ、なかには価格が10万円以下で入手可能なものもある。

スマートフォンは、LiDARセンサーとフォトグラメトリのどちらにも対応可能であるiPhoneを使用し2つの方法を検証した。

(a)スキャニング精度は、スキャン結果が現物とどの程度一致しているのかを表す。今回採用したRevopoint POP 2の精度は、シングルフレームで最大0.05 mm, 0.15 mm 間隔の3D点群データで取得可能である (図4)。自動位置合わせの調整機能が搭載されている。



図4 使用した3Dスキャナー (Revopoint POP 2)

ソフトウェアについて、3Dスキャナーは、互換性のあるRevo Scan (Revopoint社) を使用する。

スマートフォンは、Metascanを使用する。

Metascanは市場での評価が高く、LiDARセンサーとフォトグラメトリの両方の記録が可能なアプリケーションであり、であることから使用する決断に至った。

2.4 その他の機材

- ・照明機器（写真撮影用）×2セット
- ・回転台（作品展示用）
- ・MacBook Air（Revopoint POP 2 からのデータ取得用PC）
- ・確認用モニター（Revopoint POP 2からのデータ取得時の拡大モニター）

2.5 撮影スタジオのセットアップ

大きなサイズの服飾作品を記録する場合、作品を展示するスペースだけでなく、撮影のための照明機器を設置するスペースも確保しなければならない。本学では、これらを常設できるように、十分な広さを持った専用の撮影スタジオが完備されている。

3. 結果および考察

3.1 3Dスキャナーを使用したLiDARセンサーによる記録方法の結果および考察

①記録時の注意点

LiDARセンサーを使用した場合、鏡のように乱反射する材質、透明な素材および黒色素材のデータ記録は困難となる（情報量が過度に少なくなる）。影の部分や凹凸の部分もうまく記録ができなため、記録を一時停止し自動位置調整を利用する。センサー深度の調節を行い再度記録する。

記録を円滑に行うため、回転速度の調整と通常回転、逆回転できる回転台を利用した（図5）。



図5 3Dスキャン記録の様子（本学スタジオ）

②記録時の環境整備

①記録準備の注意点を踏まえ、照明は素材がなるべく反射しない場所に設置した。反射する場合は、一時停止を行い、センサー深度の調整や照明位置を変更してデータの補完を行い記録した。

服飾作品をトルソーに着せることで立体性を保持して、あらゆる角度からデータを取得できるように準備した。また、服飾上部で手の届かないような高さは台に乗りながら、服飾下部は、かがみ込みながら記録を行った。トルソーの本体部分は、反射する素材であるため、黒色の布で覆い服飾部分以外の記録に映り込まないように工夫した（図5）。

③服飾の記録

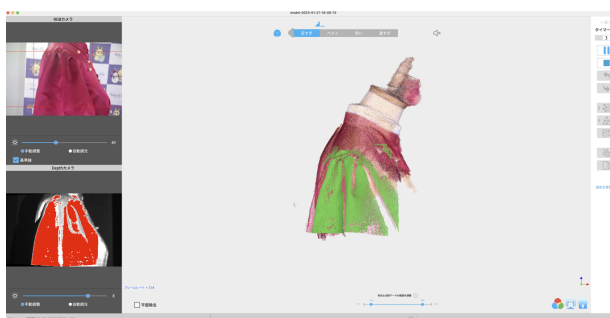


図6 3Dスキャン作成過程の記録画面



図7 3Dスキャンの点の集合体

図6は、3Dスキャンデータの記録途中の代表的な画面を示す。モニター画面上、緑色で示された領域はデータ読み込み中であり、かつ立体物としてきちんと認識されていることを示す。

対象物と3Dスキャナーの距離が不適切な場合、緑色の領域が赤色に変化するとともに、警告音が発する。正常な距離をとるまで警告音は停止しない。確認用モニターを注視し記録する。自動位置合せの調整機能を使用して、一時停止を行い記録漏れがないか確認を行う。

図7では、一連の作業が終了した後、自動処理された3D点群データの一例を示す。対象物の形状、すなわち素材の質感や色彩を忠実に再現する。

④テクスチャデータの作成

取得した点の集合体から面に変換する。面の変換方法として、三角面によるポリゴンメッシュの変換を行う。

次に色の再現性を向上させる方法としてテクスチャー機能を使用する。

⑤デジタルデータの作成

表2 3Dスキャンの頂点数及び記録時間など

記録日時	記録の準備時間	記録時間	頂点数	デジタルデータ作成時間	ファイルデータ
2023_01_24 13:35:15	13分	8分	8486834	12分	193.1MB
2023_01_24 14:15:13	12分	15分	23376268	20分	571.7MB
2023_01_24 15:10:50	12分	12分	17358929	16分	424.5MB
2023_01_24 16:00:37	10分	10分	12863729	14分	237.6MB
2023_01_24 16:40:51	10分	14分	20416099	18分	486.1MB



図8 3Dスキャンの完成データ

ここでは、合計5回の実験により、学生が効率よく記録できる頂点数と総時間を最適化した。

表2が示すように、3Dモデルに対する頂点数と画像精度およびデジタルデータの作成時間には正の相関がある。

服飾の頂点数が80万と120万では画像のシワや立体感、色彩に優劣の差がみられた。頂点数120万以上の場合、画像の精度は、完成データ画像を拡大しても、人間の目視では判別できない程度であった(図8)。

これらの結果から、頂点数を120万前後に設定した場合、準備時間10分、記録時間10分程度、ファイルデータの作成時間14分であり、合計時間は34分であった。ファイルデータの容量は237.6MBであった。3Dモデルの精度として十分な結果を得られた。

問題点として、影になる箇所や黒色の素材、形が動く箇所は、頂点数が多くても画像の空洞化や服飾の位置にずれが生じた。これらに対する解決策として、ポリゴンメ

ッシュの状態に保存し、3Dソフトで形を修正し、モデリングを行う必要がある。

⑥データの保存と再現

記録した3Dデータは、互換性の高い3種類のファイル（.obj .stl .ply）で保存可能である。保存する機器は、PC・タブレット・スマートフォンであり、これらの機器を使用して閲覧ができる。また、最近では、オンラインによる3Dデータを公開、共有、配信、閲覧できるサービスが増えており、保存したファイルをアップロードするだけで、オンライン上にアーカイブを保存、再現することが可能である⁴⁾。

3.2 スマートフォンを使用したLiDARセンサーによる記録方法の結果および考察

①記録時の注意点

3.1の考察を行った3Dスキャナーと同じLiDARセンサーのため、鏡のように乱反射する材質、透明な素材および黒色素材のデータ記録は同様に困難である。

使用したアプリケーション、Metascan（Abound Labs Incorporated）は、位置情報を補完する機能に優れているため、服飾の記録者自らが移動して記録を行った。

②記録時の環境整備

3Dスキャナーと異なる点は、回転台を使用せず、対象物とスマートフォンの距離を一定に保つ必要があった。あらかじめ動線をシュミレーションし、記録を行った。

③服飾の記録

記録時は、アプリ内にある記録ボタンを押し、記録を開始する。記録している箇所は画像として確認でき、それ以外は黒色の

画像として識別される。

スキャン中はスマートフォンをゆっくりと動かす必要がある。急に動かすとスキャンした場所が判断できなくなり、作成時に位置のズレや画像の記録漏れが起きる。ズレや画像の記録漏れが起きた場合は、一時停止機能がないため最初から記録を行う必要がある。

④テクスチャデータの作成

記録ボタンを終了すると自動的にテクスチャデータが自動生成される。

⑤デジタルデータの作成



図9 スマートフォンのLiDARセンサーを使用した記録データ

計3回の記録を行ったが、いずれも3Dスキャンのデータより形状・素材・色の再現性が劣ると判断した。

空間全体を認識することは、非常に優れていると感じたが、使用する用途が異なるため、保存・再現を省略する判断した（図9）。

3.3 スマートフォンを使用したフォトグラメトリによる記録方法の結果および考察

①記録時の注意点

3.2のスマートフォンを使用したLiDARセンサーの記録方法と同様に回転台は使

用せず、記録者が自ら移動する方法で記録を行った。

写真撮影により立体的な3DCGモデルを作成するため、撮影の三脚は使用せずてぶれ補正機能を使用し、撮影用の照明はスマートフォンの自動補正機能でカバーできたため照明を使用せず記録を行った。

②記録時の環境整備

写真撮影で色々なアングルから撮影を行うため、3.2のスマートフォンを使用したLiDARセンサーの記録方法と同様に、対象物とスマートフォンの距離を一定に保つ必要があった。あらかじめ動線をシュミレーションし、記録を行った。

③服飾の記録



図10 写真撮影時のスマホ画面

図10のように、Metascan上にあるシャッターボタンを押し写真撮影を行う。被写体の全体が収まるようにしながら、少しずつ角度を変えて360° 様々な角度から撮影を行う。手の届かない服飾の上部は台に乗り、服飾の下部は、かがみ込みながら撮影を行った。

④テクスチャデータの作成

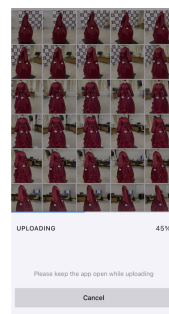


図11 写真データの保存の様子

Metascanで撮影した2D写真データは自動的に保存される(図11)。作業停止ボタンを押すと、撮影が終了されると同時に3Dモデルの生成処理が自動的に行われる(図12)。

⑤デジタルデータの作成

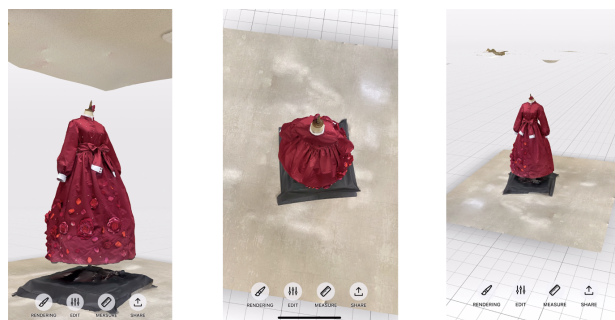


図12 空間全体を認識している様子

表3 フォトグラメトリの写真枚数及び記録時間など

記録日時	記録時間	写真枚数	デジタルデータ作成時間	ファイルデータ
2023_01_18 13:35:15	1分	29	3分	61.5MB
2023_01_18 14:15:13	3分	61	4分	129.4MB
2023_01_18 15:10:50	6分	113	5分	237.1MB

表3が示すように撮影回数を変更し、計3回の3Dモデルの生成を行った。

写真枚数29枚の場合は、服飾の裏面が綺麗に撮れておらず、3Dモデルの生成後に確認すると画像の抜けがみられた。

写真枚数61枚の場合は、360° 全て撮影することが出来た。

写真枚数61枚と113枚の3Dモデルの精度は、拡大しても目視で優劣の判断ができなかった。

それらの結果から写真枚数は61枚前後で記録時間は3分程度、3Dモデルの生成時間は4分程度、合計時間は7分、ファイルデータは129.4MBで3Dモデルの精度として十分な結果を得られた。

⑥データの保存

3.1の考察を行った3Dスキャナーと同様に記録した3Dデータは、互換性の高いファイル(.obj .fbx .ply)で保存が出来る。

保存する機器は、PC・タブレット・スマートフォンで保存が出来る。

⑦データの再現

3.1の考察を行った3Dスキャナーと同様に保存したファイルは、互換性の高いファイル(.obj .fbx .ply)のため、主要な3Dソフトウェアで閲覧ができる。閲覧可能な機器はPC、タブレット、スマートフォンである。また、最近では、オンラインによる3Dデータを公開、共有、配信、閲覧できるサービスが増えており、保存したファイルをアップロードするだけで、オンライン上にアーカイブを保存、再現することが可能である。

4. 結論

学生作品をデジタルで記録する方法を検討するにあたって、3種類の独立した手法により、3Dデジタルアーカイブをそれぞれ作成して、比較・検証をおこなった。まず3DスキャナーによるLiDARセンサーに

よる方法では、記録する頂点数を一定以上に設定することで、デジタルアーカイブを高精度に作成できることを確認した。ただし、この方法では、作品の影となる部分や黒色素材、反射する素材に対して修正作業を迫られるケースが多く、それと並行してさらなる3Dソフトにも習熟しなければならぬため、かかる時間と労力は学生にとって小さくない。次に、スマートフォンによるLiDARセンサーの3D記録方法では、LiDARセンサーのもつ解像度に大きく依存してしまい、今回使用したスマートフォンでは、筆者が望む精度で記録を得ることができなかった。一方、スマートフォンによるフォトグラメトリの3D記録方法では、内蔵された自動補正機能を使用するだけで、照明などの環境に左右されることなく、精度の高いデジタルアーカイブが作成できた。

以上の検証結果から、作品の記録を学生自身でおこなうような個人規模の場合、筆者は最も効率的な手法として「スマートフォンによるフォトグラメトリ」を推奨したい。デジタルネイティブと称される現在の学生にとって、スマートフォンは生活に密着しており、彼らはその取り扱いにも長けている。この方法により、学生が自分一人でも円滑にデジタル制作できるようになれば、ものづくり教育を支える技術基盤が豊かで充実したものになるであろう⁵⁾。

今後、目的によってはさらに高精度な再現性を求められることも想定される。そのような場合、一眼レフとフォトグラメトリの組合せによってどこまで精度を改善で

きるか、引き続き検討を進めていきたい。

謝辞

本研究にあたり、学生作品の提供、機材の提供、記録にご協力頂いた皆様に心から感謝いたします。

文献

- 1) 望月かおる(2021), 「アーカイブの創造性—過去をどう活かす? 未来にどう残す?—」美術手帖, vol.73, p.7
- 2) 柳与志夫(2017), 「入門デジタルアーカイブ—まなぶ・つくる・つかう—」勉誠出版, pp.5-7
- 3) モバイルスキャン協会(2023), 「モバイル端末によるデジタルアーカイブ手法と利活用」, 『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5—LiDAR・3D データ・デジタルアーカイブ・SNS・GIS・知的財産権—』奈良文化財研究所研究報告第37冊, pp.14-18
- 4) 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5—LiDAR・3D データ・デジタルアーカイブ・SNS・GIS・知的財産権—』, 奈良文化財研究所研究報告第37冊, pp.58-59
- 5) 宮下晃一(2022), 「中学校技術・家庭科(技術分野)における—レーザーカッターを使ったものづくり授業の提案—」, 鳴門教育大学研究紀要第37巻, p403