

# 旧陸軍通信学校時代の遺跡に関する 3Dデジタルアーカイブ化の技術的検討

—— 菫館と庭園を中心に ——

金 相賢

## Technical Principles in 3D digital Archives for the Imperial Japanese Army Heritage

—— The Akanekan and the Garden ——

Sanghyun KIM

In this study, 3D digital archives method using the latest technologies were experimentally verified to make 3D CG data of Imperial Japanese Army heritage in Sagami Women's University. The representative technologies to record complex 3D data with high accuracy and speed without touching or destructing an object, may include photogrammetry, Matterport Pro 2 with infrared 3D Sensor, 3D laser scan BLK360 G1. These technologies make it an essential tool in the field of cultural heritage, as well as arousing interest in the display of such 3D data on a computer. The author has implemented three scanning techniques to obtain 3D data for historic architectures such as the Akanekan and the garden. In this paper, the author introduces the method of measurement using three technologies, and the subsequent data processing, in order to demonstrate possible and useful applications for creating efficient and valuable 3D digital archives.

---

**Keywords:** 3D Digital archives, Photogrammetry, 3D laser scan, Matterport

### 1. はじめに

相模原市では、地域の歴史や文化、自然を知る上で貴重な文化財で、保存と活用が必要とされるものを文化財と指定している。現在、相模女子大学には旧陸軍通信学校時代の遺跡がおよそ10施設残されている。相模原市では、2003年に将校集会所を登録有形文化財とし、付設されたフランス式庭園を登録名勝として登録している<sup>[1]</sup>。将校集会所は1938年から1939年位かけて建てられた木造平屋建てで、外壁は下見板など新材に改装されている部分もあるが、外観は当時の姿を残している。相模女子大学の前身である帝国女子専門学校が、東京小石川から現在地へ移った際に第一本部棟として使用されて

いたが、本部棟が新設されてからは茜館と改称されて会議室や演習室として活用されている。集会所に付設された庭園は、洋風庭園として貴重であり、建物とともに当時の施工技術を知ることができる。

一方、文化庁は建造物や土木構造物などを重要文化財として指定する基準として、(1)意匠的に優秀なもの、(2)技術的に優秀なもの、(3)歴史的価値の高いもの、(4)学術的価値の高いもの、(5)流派的又は地方的特色において顕著なものを示している。この条件中の一つに該当することや、かつ各時代または類型の典型となるものとして指定している<sup>[2]</sup>。茜館の場合、設計者や図面など詳細が不明なことや、大学の本部棟として使用する際に外壁や内装は可変され、周辺の建物も増築されていることなど、重要文化財の基準には満たされていない。なお、木造建築物であるため材料の老化や風化、紫外線、湿気など自然な要素が加わって経年劣化が進んでいる。建物の外壁の塗膜が剥がれて腐食が進み、建物を支える役割だけでなく快適な生活空間の確保ができなくなっている。その故、学校では茜館の再開発に関する学内の意見を集めながら、建物や庭園の歴史的価値を保存する方法について模索している。

近年情報技術の発展を背景に、文化財をデジタルアーカイブとして残すことで保存や継承を試みている。デジタルアーカイブとは、有形無形の文化遺産などが収集されたアーカイブをデジタル化する活動、または、集積されたデータそのものを指す<sup>[3]</sup>。集積されたデータは、保存するのみではなく閲覧し活用することが求められる。すなわち文化財をデジタル化することで、本物の有効利用を促進することにつながり、本物を継承することにもなり得る。茜館のように歴史的な価値を持つ建物においても、デジタルデータになることで、物理的距離と時間的制限を超えて当時の状況を疑似体験することで新しい価値が生まれる。

デジタルデータを用いて保存と展示の両立を可能とする技術として、3Dデジタルアーカイブが注目されている。3Dデジタルアーカイブとは一般の写真や映像などの2D資料とは異なる、座標値（X、Y、Z）からなる3Dデータを持ち、対象の形状や構造、配置、再現などを3Dで表現する。アーカイブされた3Dデータは、様々な方法で公開が試みられている。近年において3DCGモデルで再構築され、メタバース空間で公開されるケースも増えている。例えば、菊竹清訓氏が設計した旧都城市民会館は1966年竣工し、メタポリズムの建築思想に基づいて設計され、世界的に高い評価を得た建物である。2019年7月老朽化のために解体工事を開始する前に、建物の記憶を後世へ継承すべく、レーザースキャナーによる測量データと10,000枚以上の写真を組み合わせ、デジタルアーカイブ化した<sup>[4]</sup>。また黒川紀章氏が設計した中銀カプセルタワービルも1972年に完成し、メタポリズムを代表する建物として世界的に知られている。建物の老朽化により2022年4月に解体工事が開始する前に、名建築の価値を継承するためにレーザースキャンのデータと、一眼レフカメラやドローンによって撮影した20,000枚以上の写真データを組み合わせ3Dデジタルアーカイブ化している<sup>[5]</sup>。

本研究では、これらの先行事例を参考として、文化財を3Dデータとして表現するために必要な3Dデジタルアーカイブの手法について検討を行う。最新の技術として、フォトグラメトリー、赤外線深度センサー搭載のカメラ、3Dレーザースキャナーを用いて、茜館と庭園を対象にスキャンおよび3Dモデルを構築し、3Dデジタルアーカイブに関する基礎的検討を行う。さらに、メタバース空間における活用案を考慮し、3Dデータ表現を盛り込んだコンテンツ制作と呈示システムの構築を行う。茜館のコンテンツ制作と呈示システムの試作から、文化財のデジタルアーカイブに関する効率的かつ効果的な表現に関する知見を得ることが本研究の目的である。

## 2. Photogrammetry (フォトグラメトリー)

フォトグラメトリーとは光を意味する「photo」、記録や描画を意味する「gram」、測定法を意味する「metry」から成り、日本では写真測量法として訳される。被写体を様々なアングルから撮影した複数の静止画を解析することで幾何学特性を得る方法である。フォトグラメトリーを使って被写体の一部を図表化したい場合、一定間隔を移動しながら写真を撮って、写真ごとに重なるポイントを三角法で測定し、ポイント間の距離をスケールとして定義する。なお、写真を撮影する際のカメラの位置

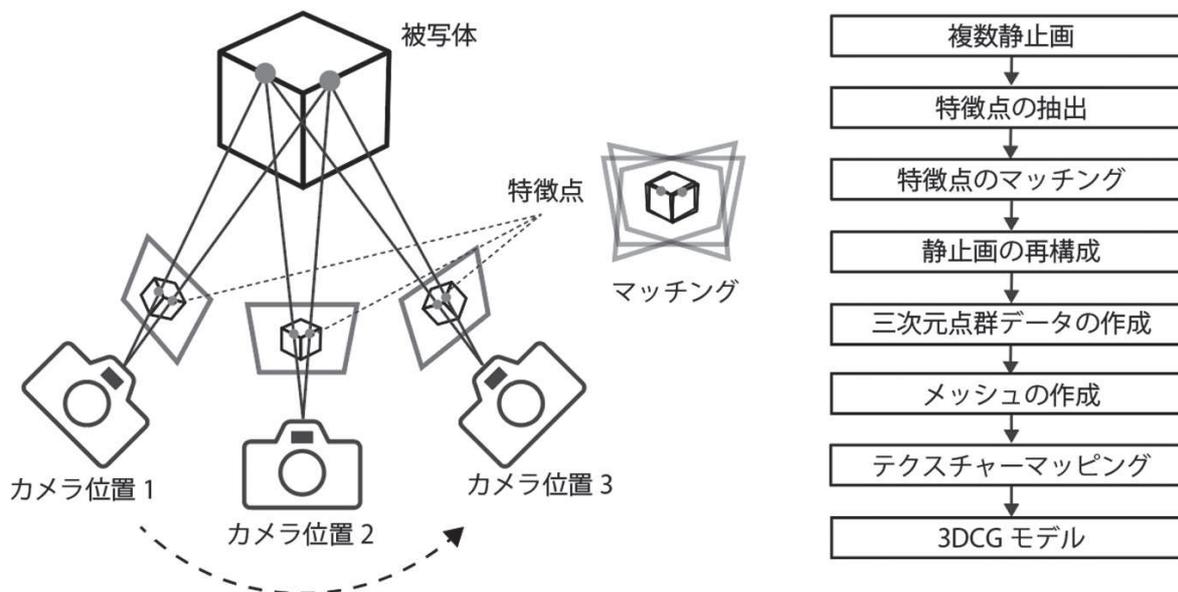


図1 フォトグラメトリーの原理とワークフロー

と角度、焦点距離、ピクセルサイズ、レンズの歪み等のカメラ特性など、写真に関する追加の情報も必要となる。このような1枚の写真から得られる情報に、2、3枚の写真上で特定できるポイント(特徴点)を重ねて、ソフトウェアは光線の幾何学的な交差点を見つけ出し、3D空間においてその特徴点がどこに位置するかを正確に判断する。フォトグラメトリーの計算アルゴリズムとしてSfM (Structure from Motion) とMVS (Multi-View-Stereo) が用いられる。SfMでは、照明条件や画像の回転、拡大縮小の影響を受けにくい特徴点を各画像から抽出し、その特徴量をベクトルとして表す。特徴点には、形や色などのパターン認識に役立つ情報量の多い部分の点群データとなり、抽出にはSIFTやAKAZEなどのアルゴリズムが用いられる<sup>[6]</sup>。特徴量の類似性から、被写体の同一箇所と推測される画像対と対応特徴点对の候補を集め、特徴点間マッチングを行う。SfM処理では、初期画像ペアから画像を逐次追加しながらカメラポーズとタイポイント(画像間の共通点)座標を算出することを繰り返す。再構成済みのタイポイントとカメラポーズに対し、新たな画像を1枚追加し、そのカメラポーズを投影関係にある3D点と2D点の関係を表すPerspective-n-Point問題を解くことで推定する。特徴点の3D化として、追加画像上で対応関係が新たに発生した特徴点对に対し、DLT法(Direct Linear Transformation method)を用いて3D位置座標を推定する。SfM処理では低密度で点群データによって構成された3Dデータが生成されるため、処理時に得られたカメラパラメータおよび画像情報を利用し、MVS処理を通して高密度な3D点群を算出する<sup>[7]</sup>。

撮影した画像をPCと専用ソフトを使用することで点群データから3DCGモデルが生成できる(図1)。メリットとして3Dスキャナーが不要で、市販のカメラや通常の写真だけで生成できる。被写体のサイズによって十数枚のから数万枚の画像データが必要となり、都市や建築物などの大きなものまで3Dデータ化ができる。写真から質の高いデータを抽出するには、写真そのものが高品質である必要がある。高品質の写真とは、高解像度であり、被写体にフォーカスが合っていること、撮影時に十分な照明環境を持つこと、適切な被写界深度を持つことが必要である。なお、ソフトウェアのアルゴリズムが複数の写真から特徴点からジオメトリを再構築するには適切な重複が重要である。ソフトウェアの性能によって重複度は異なるが、一般に写真間に60%以上の重なる領域があり、異なる位置や角度で撮影した他の写真と重複によって全体像が完成される。なお、複雑な形状を持つ被写体の場合は、写真間により高い重複度が求められる。

フォトグラメトリーは被写体を撮影した画像から非接触で計測することや、写真をもとにするため

テクスチャーの再現力が高く、3Dデジタルアーカイブに関する研究に多く活用されている。まず博物館など展示用途として、近藤らは埼玉県立博物館の埴輪の計測を行って3Dモデルの制作を行っている<sup>[8]</sup>。篠田らは、石造物を3D記録し、所在地・銘文・撮影日等のメタ情報を付与し、アーカイブ化を行っている<sup>[9]</sup>。また、みんなの首里城デジタルプロジェクトでは消失した首里城に対してフォトグラメトリーを用いてデジタル復元を試みている<sup>[10]</sup>。

本研究においても、フォトグラメトリーを用いて茜館と庭園を3Dデジタルアーカイブするために撮影を行った。使用機材は、Panasonic製デジタル一眼カメラ（GH5）、レンズはOLYMPUS標準ズームレンズM.ZUIKO ED 12-40mm F2.8 PROを使用した。マイクロフォーサーズ規格のレンズであり、35mm判換算で広角24mm相当から中望遠80mm相当までの画角をカバーする。レンズの焦点距離は35mmになるように設定し、レンズ周辺部の歪みを軽減して特徴点がマッチングしやすい条件を目指した。カメラの設定は、フォトグラメトリー編集ソフトのホームページを参考とし、ノイズが少なく白飛びや黒つぶれによって色情報が失われないように露出設定を行った<sup>[11]</sup>。ISO感度はカメラのリミットである200とし、露出をf11に合わせて被写界深度が深くなることで全体にフォーカスが合うように設定した。シャッタースピード1/50~1/125に調整しながら手ぶれによる影響を軽減した。撮影日の天気は曇りでホワイトバランスを6000Kと設定した。カメラから被写体までの距離は1mとし、写真間に含まれる同一被写体が60%以上重なるように撮影位置を変えながら撮影を行った。なお、撮影位置や角度によって被写体の重なる部分の見え方が顕著に変わる場合は、特徴点として抽出できず共通の点として認識できないためさらに撮影位置を細かく調整した。

フォトグラメトリーの構築にはグラフィックの処理能力が高いPCと専用のソフトウェアが必要である。専用のソフトウェアはAutodesk社の「ReCap」、Capturing Reality社の「Reality Capture」、3DFLOW社の「3DF Zephyr」、Agisoft社の「Metashape（旧名：PhotoScan）」などがある。今回は、PCにはMacBook Pro（Apple M1 Max, 64GB Memory）を用意し、ソフトにはMetashape standardを使用した。写真をソフトにインポートし、「Align photos」の工程でバラバラの写真の位置関係を整理して解析を行った。精度の設定として処理に使われる画像の解像度（画素数）を5段階（Highest、High、Medium、Low、Lowest）で設定でき、Highは元画像の画素数で処理する。Highestは読み込んだ元の画像を縦横それぞれ2倍に拡大した画素数で処理を行う。元の画像の大きさのままで処理した場合よりも、特徴点の座標を正確に推定できるが、Mediumは画像の解像度が縦横それぞれ半分（画素数1/4）になる。さらに特徴点の上限としてキーポイント制限、共通点の上限としてタイポイント制限を設定できる。今回は精度をHighとしてキーポイント上限を40,000、タイポイント上限を4,000と設定した。アラインメントが完了すると使用されたカメラと点群が生成される。これらの点群をもとに、「Build dense cloud」の工程で三次元の高密度点群を作成した。Quality設定にはUltra high、High、Medium、Low、Lowestの設定できる。Ultra highは、オリジナル写真画像の全ての画素に対してDepth mapを計算する。Qualityが下がるごとに、画像を幅と高さを半分にリサイズしてDepth mapを計算する。次に「Build mesh」の工程で点群データを結線してメッシュ（3Dポリゴンモデル）を構築する。Surface typeは、建物や人物などに有効なArbitraryを選択した。最後にBuild Textureでテクスチャーを構築するとUVマップが自動生成され、テクスチャー付きのCGデータが完成される。



377,717個の点群

30,548,656個の高密度点群

546,630頂点のポリゴン

図2 茜館の正面に対するフォトグラメトリー (608個のカメラより)



215,129個の点群

35,333,447個の高密度点群

669,453頂点のポリゴン

図3 茜館と庭園に対するフォトグラメトリー (277個のカメラより)



160,729個の点群

14,343,943個の高密度点群

227,849頂点のポリゴン

図4 庭園の石テーブルと椅子 (167個のカメラより)

### 3. Matterport (マターポート)

フォトグラメトリーの場合、カメラの写真から点群データを生成するため、初期費用が安価である一方、点群間のマッチングに大量の写真データが必要となる。そこで近年赤外線センサーとパノラマ画像を組み合わせたシステムとしてMatterportが注目を集めている。Matterportとは、米国のMatterport社が提供する空間スキャンおよび再現技術を活用し、空間をデジタルツインにするサービスである。デジタルツインとは、現実世界に存在する場所またはオブジェクトのデジタルコピーを意味し、メタバースの要素技術として注目を集めている。Matterportのサービスは物件の内覧など不動産分野を中心に利用されている。新型コロナウイルス感染拡大後には博物館・美術館の展示会や歴史的建造物でヴァーチャルツアーとして活用事例も増加している。2023年2月現在に、東京国立科

学博物館の「150年後の国宝展バーチャルミュージアム」、国立科学博物館の「おうちで体験！かはくVR」、国立アイヌ民族博物館の「バーチャル国立アイヌ博物館」などがWEB上にMatterportサービスを利用して開館している<sup>[12-14]</sup>。

Matterportの撮影・計測は、スマートフォン（タブレット）、や360度カメラ、自社製の赤外線深度センサ搭載カメラ（Matterport Pro2）、レーザースキャナーなど多様なカメラに対応し、撮影された画像データと距離情報を専用のクラウドへ送信することでデジタル空間が自動生成される仕組みである。レーザースキャナーの場合は次章で説明するために本章での説明は省く。撮影時にはMatterport Captureという専用アプリと対応カメラをWi-Fiで接続して使用する。スマートフォンを使用する場合はフォトグラメトリと同様に撮影されていない場所は空間の歪みが出やすい。360度カメラを使用すると1カ所に1度で撮影できるために空間の歪みは減少するが、画像による測量なので現実空間とのズレは発生する。



図5 Matterport pro 2

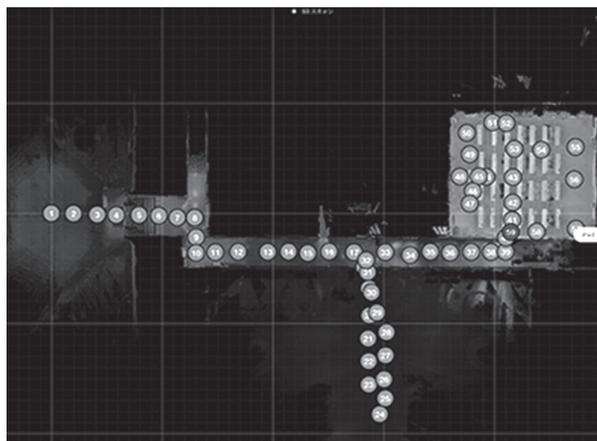


図6 平面図および測定箇所および順番

Matterport Pro2には距離情報を正確に測定するための赤外線カメラと空間撮影用カメラを横並びに配置している。両カメラシステムが3段に分かれて設置され、2段にはそれぞれ角度が付いていて上下部を撮影することで、縦165度の範囲で撮影やスキャンができる。カメラを専用の三脚に乗せて起動すると回転雲台によって60度ずつ自動で水平回転しながらおよそ20秒間に計6枚の撮影とスキャンを行って1枚のパノラマ画像（水平360度×垂直300度）と距離情報を得る。すなわち真上と真下に30度の死角があり、自動的にボカシで塗りつぶされる。パノラマ画像の解像度は最大4096×2048ピクセルであり、カメラの設定は自動で調整し、絞り、シャッタースピード、ホワイトバランスなどが最適値に設定される。赤外線センサーによる距離情報は最大4.5mの被写体に対して99%の正確さで有効である。

今回はMatterport Pro2を使用し、茜館の正面から撮影を開始し、正面口、廊下、広場、催事場まで1.5mから2mの間隔で合計59カ所において撮影を行った（図6）。撮影日は2022年12月1日で16時からおよそ90分にわたって撮影した。撮影されたデータをMatterport Captureを通してクラウドサーバーにアップロードすると、Cortexが撮影したデータを取り込み、画像と距離情報を合わせて3Dモデルを生成する。Cortexとは、Matterport社の独自の人工知能技術で何万何億とある様々な空間データを常に学習し続けるディープラーニングニューラルネットワーク（自動深層学習ネットワーク）によって画像分析と合成処理を行い、3D空間モデルが生成されてWebやアプリに埋め込みが可能な形式（iframe）で納品される。納品までかかる時間は、撮影した空間の広さ、撮影位置の数などによるが、標準サイズの空間（約140平方メートル）の場合、通常数時間かかり、博物館など大きなモデルの場合は最大48時間かかることもある。Webブラウザで確認できるviewerには、複数の360度で構成された「3Dスペース」、3D空間を俯瞰する「Dollhouseモード」、メジャーなどで寸法を測れる「測定モード」が表示される（図7、図8）。



図7 viewerのバーチャルツアー



図8 Dollhouseモード

Matterportにかかる費用はMatterport Pro2の価格が3,395ドルで安価の3Dレーザースキャナーと比べても1/10の価格である。ただし、カメラで撮影した4Kのパノラマ画像と大容量の距離データを正常に活用するには、Matterport社の3Dモデル専用のクラウドサーバーでのアップロードと配信が必須である。Matterport社は専用のクラウドサーバーによる3Dプラットフォームを提供できることをビジネスモデル化し、サブスクリプションモデルを採用している。Matterport Pro2を使用する場合、プロフェッショナルプラン以上の購入が必要であり、モデル1点を複数カメラの集合体とし、25点を配信できるようにアクティブモデル化するサービスが年間85,200円である。



図9 Matterport pro 2で撮影されるパノラマ画像（左：外観、右：廊下）

#### 4. 3Dレーザースキャナー BLK360 G1

レーザースキャナーとは、レーザー光を放射状に照射することで、表面形状の3D座標を取得することができる計測機器である。3D座標は、レーザー光の指向性や収束性を利用し、反射時間から求められる計測対象までの距離と照射角度により算出される。レーザースキャナーの方式には、飛行時間差方式（Time of Flight (ToF) 方式）と位相差方式（Phase Shift方式）がある。ToF方式は、言葉の通りに光の飛行時間を測定することで、レーザーを照射した時間と、被写体からレーザーが反射し戻ってくるまでの時間とレーザー照射角を測定し、被写体までの距離を求める。フェーズシフト方式は複数のレーザーを被写体に照射し、被写体から反射して戻ってきた拡散反射成分の位相差を測定して距離を求める。ToF方式は高い精度で測定が可能であるが、フェーズシフト方式と比べて測定時間がかかる。またレーザースキャナーは対象物や用途によって、3Dレーザースキャナー、航空レーザースキャナー、MMS（モバイルマッピングシステム）などに分類される。3Dレーザースキャナーは、当初工業製品の表面形状の計測に使用され、レーザー光の受光センサーの性能向上により計測距離が延びたことでさまざまな分野に使われている。日本では2008年にトプコン社が3Dレーザース

キャナー GLS-1000を開発した以降、建築や土木分野に使われるようになった<sup>[15]</sup>。現在は、機器の低価格化と点群データの処理技術の進歩によって、建築や土木分野以外にも使用領域を広げている。本章では使用したLeica 社のBLK360 G1はToF方式をベースとする3Dレーザースキャナーで、近距離用の現況計測用に開発されたものである。BLK360 G1は、水平回転しながら高速回転するミラーにレーザを放射することで、毎秒36万点の点群データとパノラマ画像を取得できる。スキャン範囲は水平360度×垂直300度でスキャンレンジは0.6～60mまで有効であり、測距精度は10m先で4mmの誤差が生じる。画像は500万画素のカメラ3台から上中下方向を撮影し、2K相当の解像度を持つパノラマ画像（水平360度×垂直300度）を生成する。測定はiPad Pro用の専用アプリを使い、計測時間はレーザ光の密度、パノラマ撮影、SDR/HDR設定によって異なる。高密度条件では、10m先の被写体へのレーザ光の間隔が5×5mmとなり、パノラマ撮影からレーザ計測、データ転送まで約5分20秒かかる。中密度条件では、レーザ間隔が10×10mmとなり、約3分30秒かかる。低密度条件では、レーザ間隔が20×20mmとなり、約2分30秒かかる。ここにHDR設定を行うと約1分30秒が加算される。

今回はBLK360 G1を用い、庭園の階段から始まり、庭園の外側を通過して正面口に入り、廊下までの全20カ所を測定した。スキャン間隔はレーザ光の直進性を考慮したうえ、5m間隔で測定しドアや角など位置によって変化が大きい場合はより細かく設定した。レーザの設定は高密度とし、HDR設定を外して計測を行った。スキャンしたデータはiPadを経由してPCに転送し、専用ソフトのLeica Cyclone REGISTER 360で20カ所から計測した点群データの相対的な位置合わせを行った。すなわち同じ3D座標を持つ点群同士を結合する作業である。



図10 BLK360 G1



図11 Leica Cyclone REGISTER 360にて測定20カ所とアライメント作業



図12 Leica Cyclone REGISTER 360にて高密度点群データ（正面）

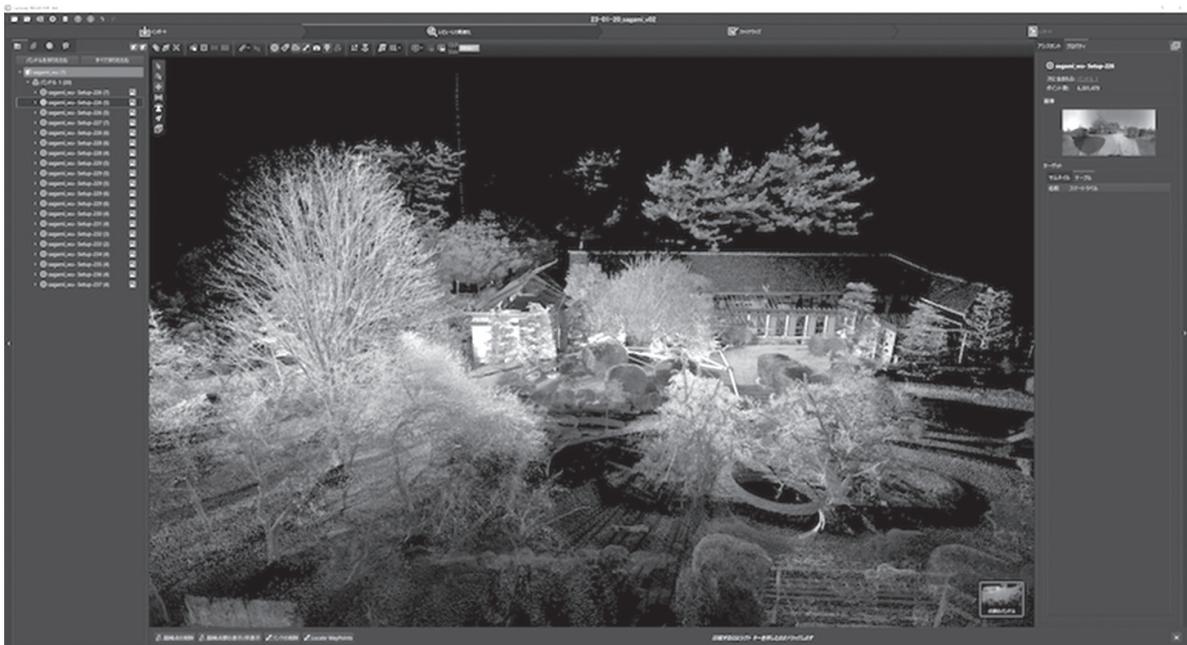


図13 Leica Cyclone REGISTER 360にて高密度点群データ（庭園）

点群データは3D座標を持つため、専用ソフト上に表示してマウス等で視点を移動することで被写体の形状を確認できる。なお点群データにはパノラマ画像からの色情報が付与されるため、遠方で俯瞰するとリアルに近い観察ができる。Leica Cyclone REGISTER 360ではポリゴン表示ができないため、頂点の記録にメッシュやテクスチャマッピング作業は別のソフトで行う必要がある。Leica Cyclone REGISTER 360からポイントクラウドデータファイルとしてE57形式に書き出すことは可能である。

## 5. まとめ

本研究では、茜館および庭園について3Dデジタルアーカイブ化するために必要な手法として、一眼レフカメラによるフォトグラメトリー、赤外線深度センサー搭載のカメラであるMatterport Pro2、3Dレーザースキャナー BLK360 G1を用いて撮影および3Dモデルを構築し、技術的検討を行った。まずフォトグラメトリー手法を用いて正面玄関付近や庭園、石テーブルと椅子の画像からそれぞれ3Dデータ化した。建物や庭園の一部ではあるが、3D座標を持つデータとなり、さまざまな角度で観察できるようになった。また、外壁や石階段、石テーブルは、写真データをもとにテクスチャーが生成され、リアルかつ綺麗なCGデータに仕上がった。一方、被写体の表面反射が強い場合や、ガラスのように透過する場合、模様や表面に変化のない場合には3Dデータ化が難しい。茜館には外壁に窓ガラスが多く設けられ長い廊下のガラスもフォトグラメトリーでは難しく、CGによる合成で補正を行う必要がある。なお、樹木においてもポリゴン形態では正確に表現されず、大きな塊になっている。また1台のカメラを使用する場合、写真ごとに時間差が生じるため、太陽の向きによる光量の変化、風による細かい揺れなどを考慮しなければならない。フォトグラメトリー技術を用いると、モデリングソフトを用いて一から3DCGモデルを作成する場合と比べ、短時間かつ正確に作成できる。しかし、大きな建物の作成ではポリゴン数が多くなることや、材質や明るさの影響から特徴点の抽出が難しく、手直しが必要である。今回は外壁を中心に撮影したが、廊下や部屋を撮影する場合、照明を設置して全体的に光量を上げる必要がある。今後、撮影方法や適切な写真の枚数、解像度の高いカメラで撮影するなど、点群データの欠損などを少なくする方法を検討する必要がある。

一方、Matterport Pro 2は高解像度（4K）のパノラマ画像に赤外線センサーからの距離情報を組み合わせることで、より広い範囲の空間情報を短時間に測定できる。今回は茜館の59カ所において2m間隔で測定を行い、1測量点当たり約1分で全撮影時間は約1時間30分かかった。スキャンデータはネット経由でクラウドへアップロードし、AIによって約4時間で3D空間モデルとして画像合成処理された。スキャンデータはShowcaseというWebブラウザベースで3D空間として再現された。なお専用のViewerでは撮影位置ごとのパノラマ画像を観察するため、フォトグラメトリーのようにCGの欠損部分が発生することはない。茜館のように外観だけでなく内部の記録も必要な場合、カメラはすべてオートで最適に設定されることは短時間にスキャンが可能であることについて強みとして働く。一方で、赤外線センサーの測定距離は最大4.5mであり、赤外線を含む太陽光が強く差し込む場合、エラーが発生して撮影できないことや3Dデータ化ができないこともある。庭園を対象とする場合は、3Dスキャン撮影モードではなく360撮影モードを用いて茜館の外観部分や庭園を撮影し、表示することも考えられる。一方、クラウドにアップされたスキャンデータはAIによって3Dデータ化されるため、データの修正や後処理が難しい。また、バーチャルツアー形式でデータを共有するためにはMatterport社のサーバー上のURLを利用するしかなく、Matterportのサービスを永久に受けなければならない。茜館のように再開発によって現存する建物がなくなる可能性もあることで、デジタルアーカイブとして保存するためには、スキャンデータを再利用可能な形式で取得しておく必要がある。そういう場合には、Matterportの有料アドオンを使用して点群データを抽出することや、3Dアプリでエクイレクタングラー形式の4K画像がダウンロードできる。これらを使用することでMatterportのプラットフォームを使用せず3Dデータ構築することも可能になる。

3Dレーザースキャナーは、被写体に対して高精度の点群データによる三次元形状データを取得できる技術として優れている。特に建築や土木などの分野において建築物を被写体とすることが多く、遠距離から正確かつ精密に測量するために開発されている。そのためスキャナー本体が精密機器として高額に設定されているが、今回使用したBLK360G1は3Dレーザースキャナーのなかでは比較的安価に設定されている。なおレーザー光を用いるため、測定可能距離が60mであり、太陽光による影響も少ない。そのため、茜館のように建物と庭園が一体となった文化財にはシームレスにアーカイブ化が可能となる。一方、文化財の場合に時間とともに風化していく物に対して高解像度でデジタルアー

カイクとしてデータを蓄積する必要がある。そういう面ではBLK360G1のパノラマ画像の解像度は2KでMatterport Pro2 (4K) 一般的なVRカメラ (5K~8K) と比べると低解像度である。なお、高密度の条件の場合、測定時間が1カ所あたりに約6分かかり、20カ所の撮影が終わった時には日差しの条件が変わったのは注意すべき点である。表1に3つの手法に関する比較データを示す。

本研究では、3つの手法による計測で、茜館と庭園の3Dデジタルアーカイブ化を試みた。その結果、それぞれの技術においてメリットとデメリットがあり、茜館と庭園のように屋内外をシームレスでアーカイブ化するには一つの手法だけではアーカイブ化が難しいのが現状である。一方、3Dスキャン装置を活用した文化財や史跡のデジタル記録保存は、従来の手作業による実測図に比べて、正確な3D情報を有しており、多くの活用法が想定される。従来の方法よりも迅速かつ安価、そして正確な3D情報を有した記録保存ができる。その故、3D計測装置のデータを用いて記録したうえでの保存管理する手法は、文化財にとって、新しくかつ有効な保存管理の方法の一つとなり得る。

また、今回試みた3Dデジタルアーカイブは、既存の映画や映像作品によるアーカイブ化とは別の試みであることは明確にしておきたい。今後は、メタバース空間における活用案を考慮し、より効率高い手法を用いて3Dデータ表現を盛り込んだコンテンツ制作と呈示システムの構築を行っていきたい。

表1 3Dスキャンに関する技術比較 (価格は2023年2月20日基準)

	Photogrammetry	Matterport Pro2	Leica BLK360 G1
寸法 (HDW)	カメラ・レンズによる	26cm × 11cm × 23cm	16.5cm × 10cm × 10cm
重量	カメラ・レンズによる	3.5Kg	1Kg
測定距離	レンズによる	最大4.5m	最大60m
計測時間	撮影枚数による	約1分	約6分 (高密度)
正確さ	撮影条件による	1%	0.1%
解像度	8K (CGテクスチャー)	4K (パノラマ画像)	2K (パノラマ画像)
価格	カメラ・レンズによる	約60万円	約270万円
編集ソフト 価格	Metashape など 10万円~50万円 ※教育機関用10,450円	クラウドホスティング 8,300円/月	Cyclone REGISTER 360 6,500円/月
編集用PC	高性能PC	必要なし	iPad Pro、高性能PC
メリット	綺麗なテクスチャー 初期費用が安い 小物に強い	屋内空間と一部の屋外空間の販促用途に最適	屋内・屋外の精密な計測や再現に最適
デメリット	複雑な形状や特徴点が少ない被写体は難しい	屋外では赤外線が干渉され、ミスアラインメントのエラーになりやすい	高密度の場合、撮影時間が長い

## 参考文献

- [ 1 ] 相模原市登録文化財 HP、(最終閲覧：2023年2月20日)  
<https://www.city.sagamihara.kanagawa.jp/kankou/bunka/1022295/bunkazai/list/1010204/index.html>
- [ 2 ] 文化庁：国宝及び重要文化財（建造物）指定基準 HP、(最終閲覧：2023年2月20日)  
[https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/yukei\\_kenzobutsu/pdf/yukei\\_kenzobutsu\\_kijun.pdf](https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/shokai/yukei_kenzobutsu/pdf/yukei_kenzobutsu_kijun.pdf)
- [ 3 ] 笠羽晴夫：デジタルアーカイブ 基点・手法・課題、水曜社（2010）
- [ 4 ] 旧都城市民会館の3Dデジタルアーカイブプロジェクト（最終閲覧：2023年2月20日）  
<https://www.city.miyakonojo.miyazaki.jp/soshiki/78/217435.html>
- [ 5 ] 3D Digital Archive Project / 建築『中銀カプセルタワービル』を3次元スキャンで記録に残したい（最終閲覧：2023年2月20日）、<https://motion-gallery.net/projects/3dda-nakagin>
- [ 6 ] A Comparative Analysis of SIFT, SURF, KAZE, AKAZE, ORB, and BRISK、2018 International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET) (2018)
- [ 7 ] 金井理、2. SfM-MVS技術の動向、写真測量とリモートセンシング、60 (3)、p. 95-99 (2021)
- [ 8 ] 近藤邦雄他、デジタルモデリングによる3次元立体の復元と複製、図学研究、35 (2)、(2001)
- [ 9 ] 篠田浩輔他、石造物 3D アーカイブプロジェクト—その手法と可能性—、情報処理学会研究報告、Vol.2020-CH-122 No.7 (2020)
- [10] みんなの首里城デジタル復元プロジェクト（最終閲覧：2023年2月20日）、<https://www.our-shurijo.org/>
- [11] Metashape pro user manual、[https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro\\_1\\_8\\_en.pdf](https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_en.pdf)
- [12] 150年後の国宝展バーチャルミュージアム（最終閲覧：2023年2月20日）、<https://my.matterport.com/show/?m=8vf2G2DvaMg>
- [13] おうちで体験！かはくVR - 国立科学博物館（最終閲覧：2023年2月20日）、<https://www.kahaku.go.jp/VR/>
- [14] バーチャル国立アイヌ博物館(最終閲覧：2023年2月20日)、<https://nam-vm.jp/>
- [15] 国産初！3Dレーザースキャナー GLS-1000、(最終閲覧：2023年2月20日)、<https://www.topcon.co.jp/news/4775/>