

参加型 3D デジタルアーカイブ支援システム の設計と試作

工藤 智博[†] 高橋 秀幸[†] 菅原 研[†]

近年、歴史的な建物などを 3 次元(3D)データとして保存する 3D デジタルアーカイブの作成と構築が盛んに行われている。3 次元データの作成方法として、フォトグラメトリ手法が存在するが、歴史的な建物などの広範囲のアーカイブを作成するためには、大量の写真が必要である。加えて、撮影から 3D データ作成までの工程を 1 度行うだけでは、完成度の高い 3D データを作成することは困難である。本研究では、大学キャンパスなどの多くの建物や教室などがある施設のアーカイブ作成を実現するために、多くの撮影協力者を募ることで効率的に大量の写真を撮影し、完成度の高い 3D アーカイブの構築と実現を目的とする。本稿では、スマートフォンおよびタブレットのカメラ機能を用いて、多人数で建築物の 3D デジタルアーカイブを構築するための参加型デジタルアーカイブ構築支援システムを提案する。具体的には、フォトグラメトリ支援機能、3D モデル生成機能、可視化機能、ボランティアチェーン機能と試作システムについて述べる。

Design and Prototype of a Participatory 3D Digital Archive Support System

Tomohiro Kudou[†] Hideyuki Takahashi[†] Ken Sugawara[†]

In recent years, the creation and construction of 3D digital archives, which store historical buildings as 3D data, has been actively carried out. The photogrammetry method exists as a method of creating 3D data, but a large number of photographs are required to create a wide range of archives such as historical buildings. In addition, it is difficult to create 3D data from one shot. In this research, we gather many collaborators and efficiently take photographs of many buildings and classrooms such as a large number of university campuses, with the aim of constructing and realizing a highly reproducible 3D archive. In this paper, we propose a participatory digital archive construction support system for constructing 3D digital archive of a building with a large number of people using the camera functions of smartphones and tablets. We introduce the photogrammetry support function, 3D model generation function, visualization function, voluntary chain function, and prototyping system.

1. はじめに

近年、歴史的な建造物などを 3 次元(3D)データとして保存する 3D デジタルアーカイブの取り組みが行われている。その保存や再現方法として、高価な 3 次元計測機器であるレーザースキャナなどを使用して、対象となる物体から立体的に 3D データを作成する手法がある。しかし、高価な計測機器を操作するには、専門的なスキルが必要である。そのため、1 つの建物のアーカイブを作成するために膨大なコストが必要となる。一方、大量の写真を専用のソフトで解析し、3D データを作成するフォトグラメトリを用いた手法がある。この手法は、専門的なスキルを必要とせず、比較的手軽に 3D データを作成することが可能であるが、1 つの建物のアーカイブを作成するためには、大量の写真が必要である。加えて、撮影から 3D データ作成までの 1 回の工程で完成度の高い 3D データの作成は困難であり、何度も撮影し直す必要がある。そこで、本研究では、専門的な機材やスキルが不要なフォトグラメトリ手法を用いて、大学のキャンパスなどの多くの建物や教室などがある施設のアーカイブ作成を実現するために、カメラ機能を備えたスマートフォンやタブレットで撮影協力が可能な協力者を募りながら効率的に大量の写真の撮影を行い、完成度の高い 3D アーカイブの構築の実現を目的とする。本稿では、フォトグラメトリ支援機能、3D モデル生成機能、可視化機能、ボランティアチェーン機能から構成される参加型デジタルアーカイブ構築支援システムを提案する。また、3D デジタルアーカイブとして東北学院大学泉キャンパスを対象とした試作システムによる動作実験について述べる。

2. 関連研究と技術課題

2.1 関連研究

文化財などを立体的な形状でデジタルアーカイブするために、フォトグラメトリで作成した 3D データの保存や活用、研究などが行われている。例えば、フォトグラメトリを活用して文化財の 3D モデルとジオラマの作成を行い、特定の箇所目印を表示する研究がある [1]。この研究は、専門家が注目している箇所や有識者による文化財の時系列変化観察を行っている箇所、文化財が災害や経年劣化などで破損した箇所などを作成したジオラマ上に目印となる画像の投影を行うことで、文化財の見学者などにも直感的に注目箇所の位置関係の理解を促すことを目指している。さらに、見学者は、有識者が指示した地点の撮影に協力することで、有識者による補修・損壊などの注目箇所の時系列変化の把握と観察の支援の実現を目指している。

[†] 東北学院大学教養学部情報科学科
Department of Information Science, Faculty of Liberal Arts, Tohoku Gakuin University

2.2 技術的課題

既存研究では、一般人でも直感的に注目箇所の位置関係の理解を促し、専門家と一般人との間で位置関係などの情報の共有を行うことに焦点が置かれている。そのため、広範囲の効率的なデジタルアーカイブの作成には適用が難しく、ジオラマで作成されていない範囲のアーカイブや注目箇所の位置関係などの情報共有、そして、高精度な3Dデータの作成は困難である。本研究では、上記の課題を解決するために未完成の3Dモデルを焦点とし、広範囲な対象物に対してフォトグラメトリを用いた3Dデータを構築するための参加型デジタルアーカイブ構築支援システムを提案する。

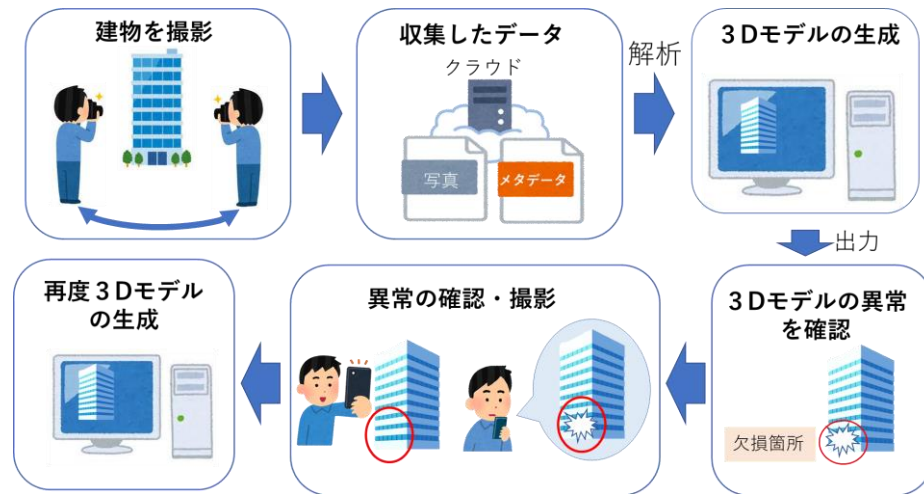


図1 参加型デジタルアーカイブ構築支援システムの概要

3. 提案手法

3.1 参加型デジタルアーカイブ構築支援システムの概要

図1に参加型デジタルアーカイブ構築支援システムの概要を示す。本提案システムでは、様々な協力者がスマートフォンなどの端末で撮影した大量の写真を利用し、3Dデータの生成を行う。3Dデータの生成後に、撮影が不十分であった箇所には、歪みや穴などの異常が発生する。そこで、異常箇所の修正を行うために、他の撮影協力者などに不足している地点の撮影を依頼する。他の撮影協力者が撮影した該当箇所の写真によって歪みや穴が発生した箇所のデータを補うことで、完成度の高い3Dアーカイブの作成が可能となる。本提案システムでは、作成した3Dデータに発生した異常に

関する位置などの情報や撮影地点・撮影方向を指示するアプリケーションによって、撮影協力者に撮影する箇所の把握を促し、専門的な知識を有さない協力者でも適切な撮影支援を行う。なお、撮影した写真は、クラウド上で共有を行い3Dデータの生成を行う。

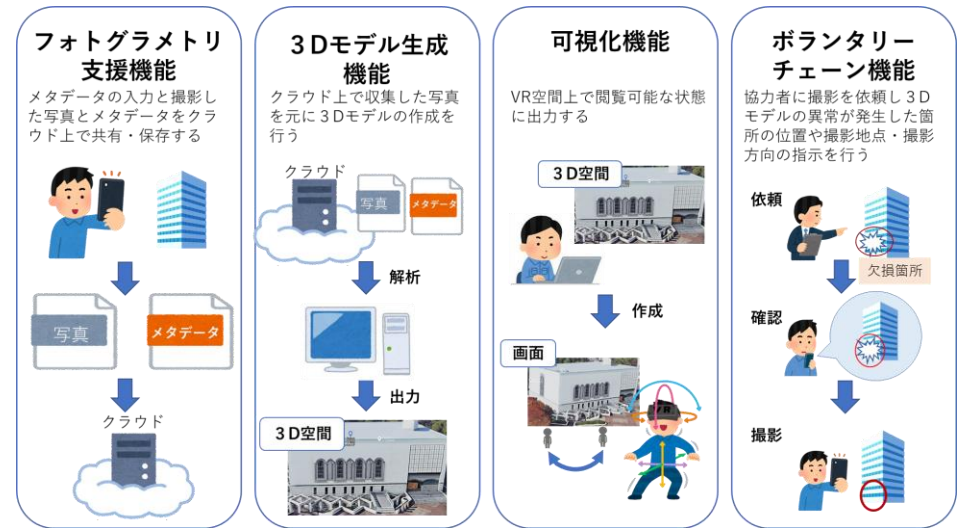


図2 提案システムの基本機能

3.2 提案システムを構成する基本機能

図2に本提案システムを構成する基本機能を示す。基本機能は、主に(1)フォトグラメトリ支援機能、(2)3Dモデル生成機能、(3)可視化機能、(4)ボランティアチェーン機能の4つの機能から構成される。

(1) フォトグラメトリ支援機能

様々な協力者が所有する機器のカメラ機能を用いて撮影をすることで、大量の写真を効率的に収集し、撮影した建物や部屋の名前などのメタデータをクラウド上で収集・管理する機能である。具体的には、撮影時に撮影対象の建物や撮影時間などのメタデータを収集あるいは入力を支援することで、撮影された写真のデータをクラウド上で保存・管理可能な状態にする機能である。

(2) 3Dモデル生成機能

様々な協力者がスマートフォンやタブレット、ドローンなどで撮影した写真と専用

のソフトを用いて解析を行い、3Dモデルを生成する機能である。

(3) 可視化機能

協力者が撮影した写真を用いて作成した3Dモデルを閲覧可能な状態に出力する機能である。具体的には、撮影協力者が参加したアーカイブ対象物(建物)からVR(Virtual Reality)空間上で閲覧可能なコンテンツを作成し、VRゴーグルなどで体験できるコンテンツを出力する機能である。

(4) ボランティアチェーン機能

様々な協力者が撮影した写真から生成した3Dモデルに関して、対象となる建物の一部の写真の不足などが原因で発生した3Dモデルの歪みや穴・欠損などの修正を行うために、該当箇所について撮影を行う必要がある。本機能は、3Dモデルに発生した異常な箇所の修正を行う必要がある場合、協力者に追加で撮影依頼を行う際の撮影箇所の位置や撮影地点の場所や方向の指示を行うための撮影支援機能である。協力者が本機能を用いて新たに撮影した写真と既存の3Dモデルを元に再度専用のソフトで解析し、3Dモデルの生成を行うことで、3Dデジタルアーカイブを行う。

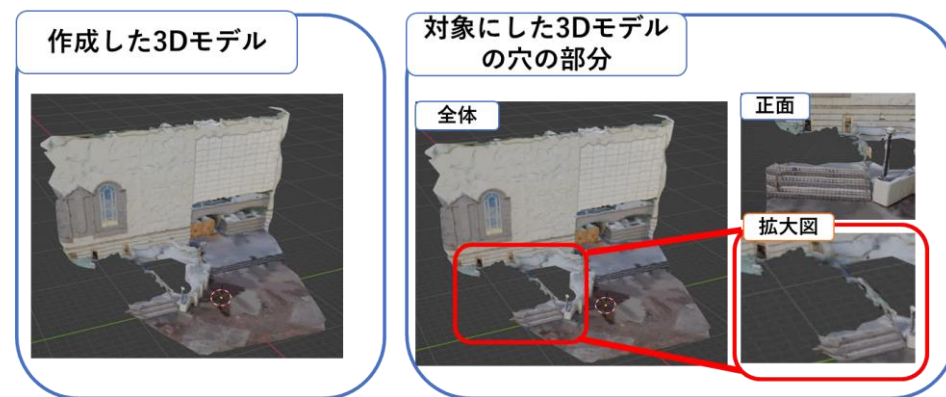


図3 試作システムで使用した3Dモデル

4. 試作システムの設計と実装

4.1 設計

本稿における3Dデジタルアーカイブの構築として、東北学院大学泉キャンパスを対象とする。また、本稿においては、主に試作システムの動作検証として、東北学院大学泉キャンパスの礼拝堂を例に述べる。まず、シナリオとして、スマートフォンで

撮影した大量の礼拝堂の写真の元に専用のソフトで礼拝堂の3Dモデルの作成を行った結果、3Dモデルに欠損箇所が発生するものとする。この写真不足が原因で発生した欠損が存在する3Dモデルを本提案に基づき試作したアプリケーションを通して現実の建物に重ね合わせる機能と3Dモデルに発生した欠損に合わせて必要な撮影地点と撮影方向の指示を行う機能を実装する。また、3Dモデルを用いてVR空間上で体験可能なコンテンツの試作を行う。

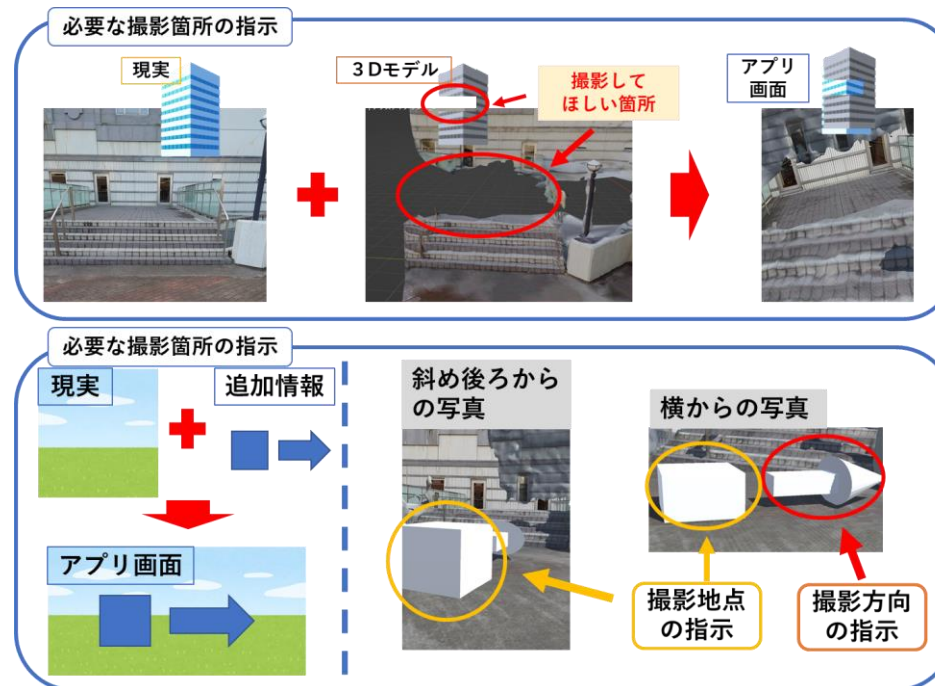


図4 試作システムの支援動作例

4.2 実装

実装として、作成したアプリケーションの開発環境にはUnityを用いた。また、位置情報の取得と利用には、Google Cloud API [2]を利用した。試作システムで使用した3Dモデルと対象にした3Dモデルの欠損の部分を図3に示す。今回3Dモデルの作成には3DF Zephyr Lite[3]を用いた。3Dモデルには、250枚の礼拝堂の写真利用し作成し

た。また、試作システムの可視化機能には meta Quest 2 を用いた。

図 4 に、ボランタリーチェーン機能として、撮影協力者が使用するアプリケーションの動作例を示す。撮影協力者が現実世界で今回対象とする 3D モデルの穴（欠損箇所）の位置に近づくと試作システムを通して、現実の建物と現状の 3D モデルを重ね合わせて表示が行われる。現実の建物と現状の 3D モデルを重ね合わせて比較し、撮影箇所の位置関係を共有することで、協力者に必要な撮影を指示することが可能である。さらに、今回対象にした 3D モデルの穴に合わせて、撮影地点を示す目印と撮影方向を指示する矢印をアプリケーション上で表示することで、協力者に適切な撮影の支援することが可能となる。

次に、図 5 に可視化機能の動作例を示す。今回作成した 3D モデルを元に VR ゴーグルを使用して VR 空間で立体的に閲覧可能なコンテンツを作成した。閲覧者は、VR ゴーグルを接続しているパソコンのキーボードを利用して画面移動の操作を行うことで、現実空間のように対象とした 3D モデルのコンテンツの閲覧や移動が可能である。



図 5 可視化機能の動作例

5. 予備実験

5.1 動作確認実験

試作システムを用いて動作実験を行った。撮影協力者が試作システムを通し、図 3 に示した 3D モデルの欠損箇所の確認を行い、スマートフォンに搭載している標準の

カメラアプリを利用して撮影を行う場面を想定する。また、今回の実験では、写真の増加による 3D モデルの変化に焦点を当てるため、撮影時間のずれを極力抑え、撮影に使用したスマートフォンも同じものを使用した。

撮影協力者が現実空間で対象にした 3D モデルに存在する欠損箇所付近で試作システムが起動し、撮影箇所の撮影を行った。その後、撮影した写真と既存の 3D データを元に、再度専用のソフトで解析を行い、新たに 3D モデルの作成した。

図 6 に実験結果を示す。協力者が対象にした欠損箇所の範囲を現実の建物と現状の 3D モデルとで比較することにより直感的な撮影箇所の理解が可能になった。また、試作システムを通して確認し、撮影した写真と既存の 3D データを合わせて専用のソフトで解析を行った。今回対象にした 3D モデルの欠損箇所付近の比較を行った結果、該当箇所の写真を追加することで対象にした穴が小さくなることを確認した。さらに、提案機能の試作アプリケーションを通して撮影を繰り返すことによって、3D モデルの欠損箇所が減少することを確認した。

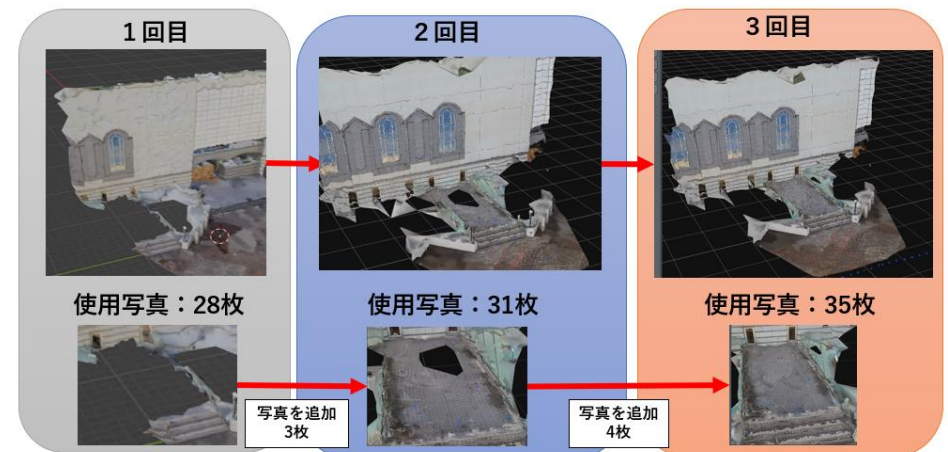


図 6 動作確認実験の 3D モデル比較説明図

5.2 協力者が複数人存在する場合の予備実験

3D モデルの作成に必要な写真の撮影協力者が複数人いる場合を想定した実験を行った。今回撮影に使用したスマートフォンの機種は、Xperia 5 II と Pixel 3 XL である。Xperia 5 II で撮影した写真は、幅 2268 ピクセル、高さ 4032 ピクセルである。Pixel 3 XL で撮影した写真は、幅 3024 ピクセル、高さ 4032 ピクセルである。今回は、画素数と写真の比率が異なるデバイスで撮影を行い、複数人で協力しながら撮影を行った写真

による 3D モデルの生成に関する予備実験を行った。

実験の結果を図 8 に示す。今回作成した 3D モデルに使用した写真は、撮影者が 1 人の場合では、計 50 枚、撮影者が 2 人の場合ではそれぞれ 25 枚の計 50 枚の写真を使用して作成を行った。作成した 2 つの 3D モデルの完成度は、ほとんど変化が見られなかった。しかし、2 つの 3D モデルは、図 8 で示したように丸で囲った範囲が異なる。

以上のように、作成範囲に他所の誤差が発生したものの、撮影者が協力し合い撮影を行った写真を利用して 3D モデルの作成が可能であることを確認することができた。

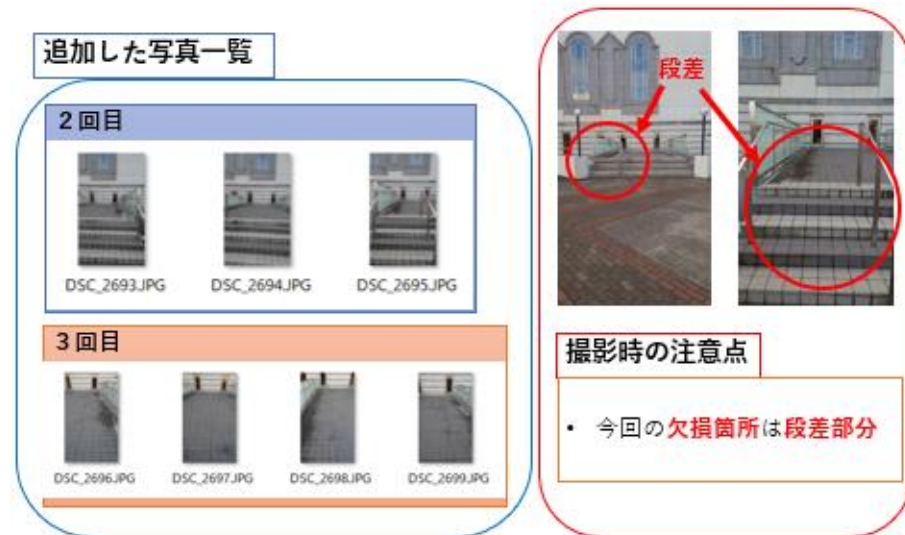


図 7 動作確認実験で使用した写真一覧

5.3 撮影距離が異なる場合の予備実験

3D モデルの作成に必要な写真を協力して撮影を行う際、撮影対象との距離の違いによる 3D モデルの変化について予備実験を行った。撮影距離は Google マップを使用して計測を行い、撮影対象は礼拝堂である。今回使用した写真の撮影対象との距離は 15m と 30m で撮影を行い、3D モデルの作成を行った。

実験結果を図 9 に示す。撮影距離が 15m と 30m の写真を使用して 3D モデルの作成が可能であることが確認することができた。しかし、作成された 3D モデルの完成度が異なることが分かった。撮影距離に近いほど 3D モデルの完成度が高いことが図 9 から確認できる。これは、撮影距離が遠いほど壁などにある細かな模様や汚れなどがぼやけてしまうことにより、3D モデル作成時に本来あるべき模様や汚れが欠落してし

まうためである。

以上のことから、複数人で協力して撮影を行う際は、撮影対象との距離関係を考慮して撮影する必要があることが判明した。

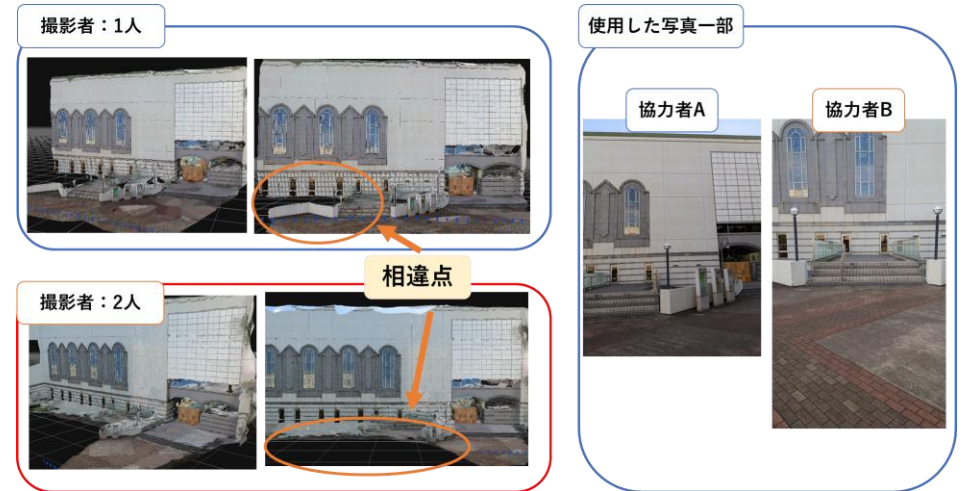


図 8 撮影人数が異なる場合の 3D モデル比較

5.4 撮影時間が異なる場合の予備実験

撮影協力者が同じ箇所の撮影を行う際、撮影時間が異なる場合の予備実験を行った。今回 1 回目の撮影を 16 時頃、2 回目の撮影を 17 時頃として撮影を行った。2 回目の撮影は、撮影環境の変化に焦点を当てる為に、12 月の夕暮れ時に撮影を行った。

実験結果を図 10 に示す。今回作成した 3D モデルは、16 時頃に撮影した写真 50 枚を使用して作成した 3D モデルと、16 時頃に撮影した写真 25 枚と 17 時頃に撮影した写真 25 枚の計 50 枚で作成した 3D モデルの 2 種類の作成を行った。撮影時間が異なる場合でも 3D モデルが作成可能であることを確認した。撮影時間が同じ写真を使用して作成した 3D モデルと撮影時間が異なる写真を使用して作成した 3D モデルの完成度や 3D モデルの形状に大きな違いは見られなかった。しかし、撮影時間が異なる写真を使用して作成した 3D モデルには、3D モデルのテクスチャの色が変色している部分が存在する。これは、夕暮れ時に撮影したため、太陽光の影響を受けたことが原因である。

以上のことから、撮影時間が異なる写真を使用して 3D モデルが作成可能であるこ

とが確認することができた。ただし、作成された 3D モデルの色合いも統一する必要がある場合には、夕暮れ時などの撮影は控える必要がある。

5.5 撮影日の天気異なる場合の予備実験

協力者が後日撮影を行う際に撮影日の天気異なる場合の想定を行う。今回は、撮影日の天気が晴れの場合と曇りの場合の 2 種類の天気の想定を行う。また、照度アプリで簡易的に照度の測定を行った。晴れの日の場合、日向地点では約 20,000 ルクス、影の地点では約 12,000 ルクスであり、曇りの日の場合、日向地点は約 11,000 ルクス、影の地点では約 10,000 ルクスであった (図 12)。

実験の結果を図 11 に示す。今回作成した 3D モデルは、晴れの日撮影した写真 50 枚を使用して作成した 3D モデルと、曇りの日に撮影した写真 25 枚と晴れの日撮影した写真 25 枚の計 50 枚で作成した 3D モデルの 2 種類の作成を行った。撮影日の天気異なる場合でも 3D モデルの作成が可能であることを確認した。また、撮影日の天気同じ場合でも異なる場合でも 3D モデルの完成度や形状などに大きな変化は見られなかった。しかし、天気が異なることで芝生の色合いが変化した。これは、太陽光の影響であると考えられる。天気が晴れている場合、太陽の光の影響で日なたと日陰の明暗が大きくなり、天気が曇りの場合日なたと日陰の明暗の差が小さいことが原因である。以上のことから、撮影日の天気異なる写真を使用して 3D モデルの作成が可能であることが確認した。また、天気が異なることで地面の色合いが変化する。ことから撮影対象がグラウンドなどの地面に近い場合、撮影日の天気に注意することが必要であることが判明した。

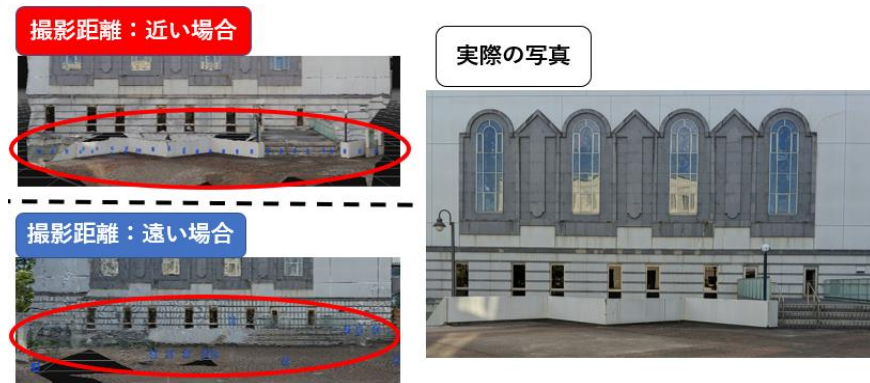


図 9 撮影距離が異なる場合の 3D モデル比較

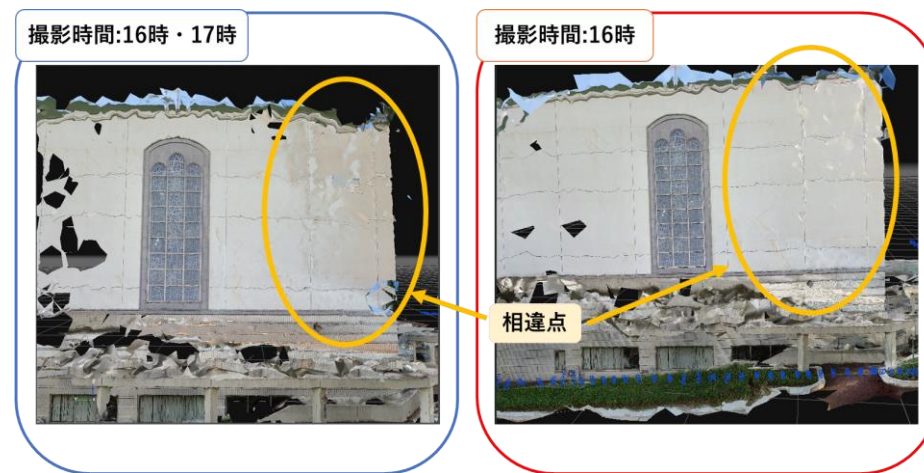


図 10 撮影時間が異なる場合の 3D モデル比較

6. おわりに

本稿では、建築物の参加型 3D デジタルアーカイブ構築支援システムについて述べた。東北学院大学泉キャンパスを対象とした予備実験により試作システムによる現地での直感的な撮影範囲の支援が可能となった。さらに、本システムを用いて既存の 3D データを元に新たに写真を追加することで 3D データの完成度の向上が可能であることを確認することができた。

今後は、屋外に加えて礼拝堂の建物内の 3D デジタルアーカイブの作成をはじめとする屋内外の 3D モデルの生成を行う予定である。また、多くの協力者やドローンを活用することで、アーカイブ対象の範囲の拡大を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、2022 年度学校法人東北学院共同研究助成金「泉キャンパスのデジタルアーカイブ化」の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 夏雪, 宍戸英彦, 松井敏也, 北原格, “投影型 AR と 3D フォトグラメトリの統合による文化財保存のための撮影地点指示,” 情報処理学会研究報告, Vol.2021-EC-61, No.13, pp.1-6, October. 2021.

- 2) Google Cloud API: <https://console.cloud.google.com/> (Accessed 2022/11/3).
- 3) 3DF Zephyr Free: <https://www.3dflow.net/3df-zephyr-photogrammetry-software/> (Accessed 2022/11/3)

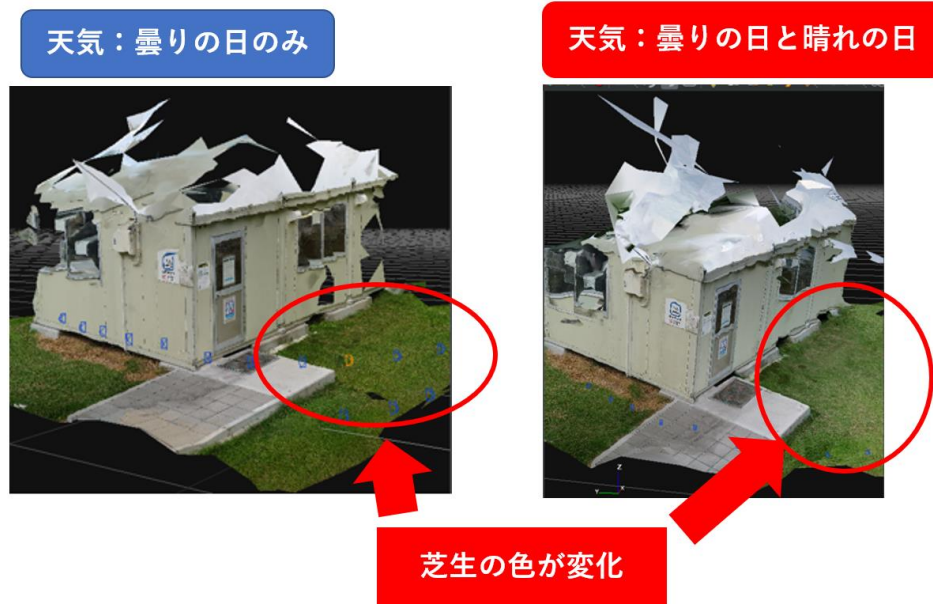


図 11 撮影日の天気異なる場合の 3D モデル比較

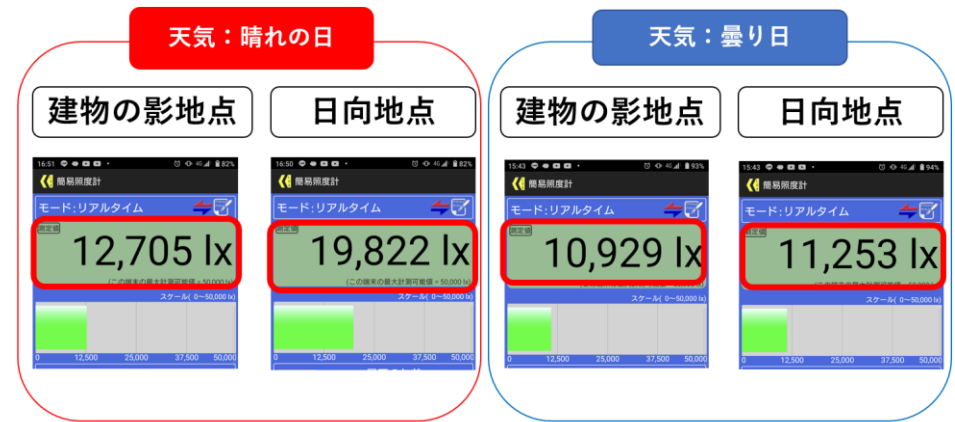


図 12 計測した照度比較図