

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 10 日現在

機関番号：34603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25870970

研究課題名(和文) 時系列幾何情報を用いた大規模遺跡の3次元計測とデジタルアーカイブへの応用

研究課題名(英文) 3D measurement of large scale ruins using time sequential geometric information and Application to Digital Archives

研究代表者

正司 哲朗 (SHOJI, Tetsuo)

奈良大学・社会学部・准教授

研究者番号：20423048

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：モンゴル国では、数多くの遺跡が存在するが、遺跡の保護・保存が制度・方法的に進んでいないため、2013年度から、モンゴル国において、消失の危機にある8世紀から18世紀までの遺跡のデジタルアーカイブ化を進め、精度の異なるセンサーを用いて幾何情報を取得した。異なる精度の幾何情報を統合することで、効率良く広範囲の幾何情報を得ることが可能となった。さらに、モンゴル国立カラコルム博物館で研究成果を展示し、研究者以外にも研究成果を公開することで、国際貢献を果たした。

研究成果の概要(英文)： Many important ruins still remain in Mongolia. However, not many of them have been restored or protected methodically, yet. In Mongolia, our purpose is to digitize large scale ruins from the 8th century to the 18th century, which are at risk of being lost.

In this study, two methods were used to acquire geometric information efficiently. One was used via 3D scanning device, and the other was used via sequential images acquired from a drone with a camera. The method of using the 3D scanning device has very high accuracy, while it takes a good amount of time to measure. Meanwhile, the method of using the drone is less accurate than the 3D scanning device, while it takes almost no time. Therefore, it became possible to efficiently digitize large scale ruins integrating geometric information of ruins acquired using the 3D scanning device and the drone. Furthermore, the results of research have exhibited in Mongolian Karakoram museum to contribute to the good of the international community.

研究分野：情報メディア、デジタルアーカイブ

キーワード：デジタルアーカイブ 画像計測 レーザ計測

1. 研究開始当初の背景

(1) モンゴル国では、数多くの遺跡が存在しているが、遺跡の保護・保存が制度・体制・方法的に進んでおらず、あと数年のうちに崩壊してしまうものも多数存在している。モンゴルの位置する草原地帯は、長期にわたりユーラシアの文化交流・交易の中心であったため、その歴史的文化遺産が失われていくことは、モンゴル国のみならず世界史上の大きな損失である。しかしながら、遺跡の保護・保存には多大なコストがかかる。このような背景から、2012年度にモンゴル国の遺跡デジタル化プロジェクトを開始した。

(2) 広範囲な遺跡を3次元計測する場合には、対象に既知パターンを設置し、その既知パターンを手がかりに幾何情報を統合する方法が一般的であり、時間的コストがかかり非効率である。大規模遺跡の場合には、気球などに3次元計測機を搭載し、上空から得られた幾何情報と地上から得られた幾何情報を統合する方法があるが、機器が大がかりでありコストがかかる。特に、国外で実施する場合には、電力・輸送・経費などの条件により制約される。

2. 研究の目的

(1) 本研究課題の目的は、広範囲を効率よく3次元計測できる手法を提案することである。とくに国外の遺跡を対象に、デジタルアーカイブする際の経費、輸送、時間などのコストを削減する。

(2) 本研究課題で調査したデジタルアーカイブデータは、急速に劣化が進む遺跡を記録したものであり、人類共通の情報資産である。このため、デジタルアーカイブを活用し、博物館展示や一般市民向け講座などを通じて、研究成果を公表する。

3. 研究の方法

(1) 大規模遺跡を効率よくデジタルアーカイブするために、2種類の方法を適用する。1つは、地上からレーザー計測機により幾何情報の取得する方法である。もう1つは、ドローン（無人飛行機）を利用して、GPSによる位置情報記録と同時に時系列画像を撮影する。得られた時系列画像から特徴点を抽出し、GPSの位置情報を用いて、幾何情報を取得する方法である。レーザー計測機を用いた計測方法は、精度が高いが計測に時間がかかる。一方、ドローンを用いた計測方法は、得られる幾何情報の精度は低い、広範囲を短時間で撮影することが可能である。さらに、レーザー計測機では届かない領域も上空から撮影でき、幾何情報を取得することができる。

(2) 本研究課題では、地上から得られた幾何情報と、上空から得られた幾何情報を統合することで、広範囲な遺跡を効率よく記録できる。しかしながら、多様なセンサーを利用した場合には精度が異なり、時系列画像から得られた幾何情報は、スケールが未知である

ため、そのまま統合することが難しい。そこで、地上において、レーザー計測機により得られた幾何情報からキーポイント（特徴点）を抽出する。同様に、上空においてドローンにより撮影された時系列画像から得られた幾何情報からキーポイント（特徴点）を抽出する。両者のキーポイント（特徴点）を初期値として、スケールと初期位置を合わせる。次に、これらの2つの幾何情報の誤差が最小になるように位置合わせを行い、統合することで、簡易に広範囲の幾何情報を得ることが可能となる。

(3) デジタルアーカイブを活用するために、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いて、2種類の表現方法を適用する。1つは、デジタル化した遺跡をもとに、3次元CGを作成し、利用者の頭部の動きに合わせて、任意の視点を表示するものであり、臨場感のある表現方法である。もう1つは、HMDと2眼カメラを用いて、利用者が見ている映像に、リアルタイムにデジタル化した遺跡を表現するものである。これらの表現方法を通じて、遺跡を仮想体験できるシステムを構築する。

(4) 博物館において、デジタル展示を通して、研究成果を広く一般的に公開するために、デジタルアーカイブした遺跡を、大型タブレットを用いて、あらゆる視点から閲覧可能なシステムを構築する。さらに、実際に直感的に構造情報を理解しやすいようにするために、3Dプリンタを用いて、遺跡のレプリカを製作する。

4. 研究成果



(a)



(b)



(c)

図1 異なるセンサーから得られた幾何情報の統合結果



図2 ハル・ブフ寺院とオランヘルム東門



図3 ヘルレンバスルホト1の仏塔

(1) 異なるセンサーから得られた幾何情報を統合し、広範囲に計測する手法の検証を行った。具体的には、地上からレーザ計測を実施し、幾何情報を取得した(図1(a))。さらに上空からドローン(無人飛行機)を用いて、時系列画像を撮影し、画像計測により幾何情報を取得した(図1(b))。検証に利用した対象は、モンゴル国にある17世紀の寺院跡サルディギーンヒードである。図1(a)と(b)の幾何情報から共通するキーポイント(特徴点)を抽出し、スケールおよび初期の位置合わせを行い、両者の位置情報の誤差が最小になるように、幾何情報を統合した(図1(c))。図1(c)では、レーザ計測で得られた幾何情報に、図で示した白い領域(ドローンを使って得られた幾何情報)を統合したものであり、結果から、図1(a)のレーザ計測では、計測出来ない領域が、図1(b)のドローンを利用して得られた幾何情報で補完されていることがわかる。

(2) 2013年度の調査では、モンゴル国ボルガン県にある契丹時代(遼代)に築かれた城郭都市ハル・ブフの上に17世紀に築かれたラマ教寺院跡を3次元計測した(図2(a))。また、契丹時代(遼代)に築かれた城郭都市オランヘルムの東門(図2(b))などを3次元計測した。

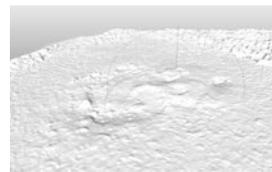
(3) 2014年度の調査では、モンゴル国ドルノド県にある契丹時代(遼代)に建立されたと言われる仏塔の3次元計測を行った(図3)。仏塔の高さは、16.5mであり、七層の磚塔であり、典型的な契丹時代の仏塔の形状をしていたが、内部で使われている建築部材は、比較的新しく、年代測定を実施すると、16世紀から17世紀前半の建築部材であることが判明した。このことから、モンゴルに仏教が再興した16世紀以降、契丹時代(遼代)に建立された仏塔を修復して利用していたと結論付け、さらなる調査の必要性が生じたが、2016年8月にモンゴル国と中国の合同事業により仏塔が修復されてしまったため、調査継続が非常に難しくなってしまった。修復前の



図4 サルディギーンヒード



(a)



(b)



(c)

図5 ズーン・フレ

構造情報を詳細にデジタルアーカイブしているため、今後の調査は、国内に唯一残された、このアーカイブデータを中心に実施する予定である。

(4) 2015年度の調査では、モンゴル国トゥブ県にある17世紀にモンゴル初の活仏であるザナバザルによって建立されたサルディギーンヒードの3次元計測を行った(図4)。サルディギーンヒードは、中央寺院の周辺に4つの建物跡、2基の仏塔跡が存在するが、本調査では、中央寺院を対象に調査を行った。計測結果から東西89m、南北76mであることが分かった。

(5) 2016年度は、モンゴル国トゥブ県にある18世紀の寺院跡ズーン・フレを調査した。ズーン・フレは、2015年度に調査した寺院と同じくザナバザルによって建立された寺院跡である。ズーン・フレは、中心に寺院を置き、周辺には僧の住居などが配置され、都市全体は円形である。規模は東西710m、南北585mであるため、ドローンによる空撮を試み、画像計測を用いて、都市構造の調査(図5(a))を進め、寺院跡(図5(b))および散乱していた仏像の破片数点を3次元計測した(図5(c))。また、ズーン・フレの構造比較

を1911年にロシア隊が作成した造営当時の図面と本調査で作成した図面で行った。本調査で作成した図面のほうが、建築物が多いことが確認できた。また、ロシア隊の図面にない建物の痕跡が少ないことが分かった。このことから、1711年に建立され、1940年頃のモンゴル革命時に破壊されるまでの約200年間、増改築が繰り返行われた可能性があることを示した。

(6) 国内の調査では、2016年度に奈良県生駒郡平群町にある戦国時代の山城「椿井城」の南郭調査を行った。椿井城は、史料には明確な記述がなく、いつ、誰が築城したのかが不明であるが、室町から戦国時代の間に築かれたとされ、中世山城の構造を知る上で重要となっている。現在は、縄張り図をもとにした研究や発掘調査が行われている。本研究では、発掘調査で出土した遺構をレーザ計測、および画像計測の両方を実施し、詳細な構造情報を記録した(図6)。

(7) デジタルアーカイブの活用として、博物館展示などで、積極的に、本研究課題で記録したデジタルコンテンツを活用できるようにするために、2種類の方法を用いた。1つは、ヘッドトラッキング対応ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いて、2014年度に調査したヘルレンバルスホト1の仏塔を閲覧できるコンテンツを開発した。利用者の頭部の動きに対応して視点を変化させることが可能であり、仮想的に遺跡を体験できるコンテンツである(図7)。

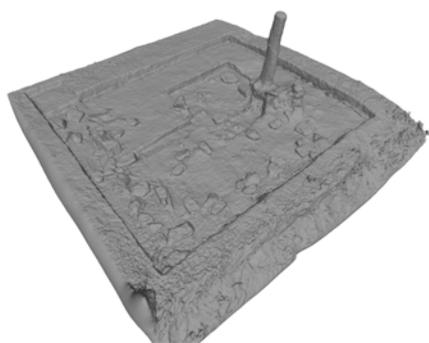


図6 椿井城の遺構跡



図7 VR環境の構築



図8 ARを用いた椿井城の遺構跡復元表示

もう1つは、上記のHMDに2眼のカメラを設置し、ビデオ映像を通して、現実世界を視認できるようにし、実空間上に仏塔を表示させ、先に述べた仮想環境よりも臨場感のあるコンテンツを開発した。この技術を国内の山城「椿井城」にも活用し、発掘調査した遺構をもとに、部分的に3次元CGで構造物を再現し、2眼カメラを通して、椿井城跡を仮想体験できるコンテンツも開発した。このコンテンツは、一般市民向けの企画展でデモ展示を行った(図8)。

また、遺跡や遺物を、3Dプリンタを利用して出力し、これらのレプリカを製作した。モンゴル国の遺跡や出土した遺物を、日本国内で展示することは非常に難しく、一般的な展示では、写真パネルなどの展示のみとなるため、分かりづらい展示になる。そのため、3Dプリンタを用いて、本研究課題で計測した遺跡や遺物を縮小印刷して展示した。来館者のアンケートから、非常に分かりやすい展示であったことが示された。



図9 モンゴル国立カラコルム博物館におけるデジタル展示

(7) 研究成果のアウトリーチ活動は、博物館展示 2 件、市民向け講座 2 件、企画展示 1 件、新聞報道 5 件であった。

博物館展示では、モンゴル国において、8 世紀から 17 世紀までの城郭都市や寺院跡をデジタルアーカイブしたコンテンツを、大型タブレット等を用いてインタラクティブに遺跡を操作できるシステムを開発し、モンゴル国立カラコルム博物館や奈良大学博物館で展示を行った(図9)。また、2015 年 8 月に、カラコルムにある世界遺産エルデニゾー寺院内において、モンゴル国内の博物館関係者向けのデジタルアーカイブワークショップを開催した。

これまでのモンゴル調査や展示に関連した新聞報道が 3 件、一般市民向け講座が 2 件であり、国内外の博物館展示や新聞報道、一般市民向け講座などを通じて、国内外の研究者のみならず、一般市民にも本研究の成果や意義を公表した。

国内では、奈良県平群町教育委員会(奈良県生駒郡)主催の企画展示において、戦国時代の山城「椿井城」を発掘調査した結果をもとに、部分的に構造物を 3 次元 CG で再現し、平群町公民館において、一般市民を対象に AR/VR 技術を活用した展示企画を実施した。さらに、2016 年度には平群町教育委員会が発掘した椿井城の遺構の 3 次元計測を実施し、詳細な構造情報を記録した。これらに関連した新聞報道は 2 件である。

2017 年度には、2016 年と同様に、椿井城の調査成果を一般市民に成果を公表する予定である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ① 正司哲朗, A. エンフトル, E. オルタナサン, S. チョルン, モンゴル国における17世紀の寺院跡Sardgiin khiidのデジタルアーカイブ, 奈良大学紀要第45号, pp. 167-176, 2017年, 査読無
- ② 正司哲朗, A. エンフトル, ヘルレンバルスホト1の仏塔デジタルアーカイブと応用, 日本モンゴル学会紀要, 第46号, pp. 49-60, 2016年, 査読有
- ③ 正司哲朗, 遺跡・遺構の3次元計測技術, 考古学ジャーナル, No. 672, ニュー・サイエンス社, pp. 5-9, 2015年, 査読無
- ④ 正司哲朗, A. エンフトル, 3次元モデルとパノラマVRを利用したモンゴル国の遺跡デジタルアーカイブ, 奈良大学総合研究所所報, Vol. 23, pp. 85-101, 2015年, 査読無
- ⑤ 正司哲朗, A. エンフトル, モンゴル国における大型城郭都市のデジタルアーカイブ, 奈良大学総合研究所所報, Vol. 22, pp. 95-110, 2014年, 査読無

〔学会発表〕(計 9 件)

- ① 正司哲朗, 臼杵勲, 木山克彦, 笹田朋孝, Ch. Amartuvshin, G. Eregzen, L. Ishitseren, モンゴル国における18世紀の寺院跡ズーン・フレーのデジタルアーカイブ, 第18回北アジア調査研究報告会, pp. 21-24, 2017年2月18日, 札幌学院大学(北海道江別市)
- ② 中村大介, 正司哲朗, ロチン・イシセレン, Eregzen Gelegdorj, モンゴル国ホスティン・ボラク遺跡の青銅器時代墓群の分布調査, 第18回北アジア調査研究報告会, pp. 33-36, 2017年2月19日, 札幌学院大学(北海道江別市)
- ③ 正司哲朗, A. エンフトル, E. オルタナサン, S. チョルン, モンゴル国における17世紀の寺院跡Sardgiin khiidのデジタルアーカイブ, 第17回北アジア調査研究報告会, pp. 70-73, 2016年2月28日, 石川県立歴史博物館(石川県金沢市)
- ④ Tetsuo Shoji, Digital Archives and Consideration for the pagoda in Kherlenbars town1, 第5回博物館と発展シンポジウム2015, 2015年8月7日, カラコルム博物館(モンゴル)
- ⑤ 正司哲朗, モンゴル国の遺跡デジタルアーカイブと仮想空間の構築, FARO 3D User Conference Asia Pacific 2015, 2015年6月2日, TKPガーデンシティ品川(東京都港区)
- ⑥ 正司哲朗, A. エンフトル, 千田嘉博, 臼杵勲, 木山克彦, 佐川正敏, モンゴル国における遺跡デジタルアーカイブとカラコルム博物館展示, 第16回北アジア調査研究報告会, pp. 1-4, 2015年2月11日, 東京大学(東京都文京区)
- ⑦ 正司哲朗, A. エンフトル, 千田嘉博, 臼杵勲, 木山克彦, D. オトゴン, M. オユントルガ, ヘルレンバルスホト1の仏塔デジタルアーカイブとその応用, 日本モンゴル学会, 2014年11月15日, 岡山大学(岡山県岡山市)
- ⑧ 正司哲朗, A. エンフトル, 千田嘉博, 臼杵勲, 木山克彦, 佐川正敏, モンゴル国の遺跡デジタルアーカイブ, 第15回北アジア調査研究報告会, pp. 45-48, 2014年3月2日, 札幌学院大学(北海道江別市)
- ⑨ 千田嘉博, 正司哲朗, 臼杵勲, 木山克彦, 佐川正敏, A. エンフトル, モンゴル国チントルゴイ城跡の瓦磚類の調査, 第15回北アジア調査研究報告会, pp. 45-48, 2014年3月2日, 札幌学院大学(北海道江別市)

〔図書〕(計 3 件)

- ① 正司哲朗, 図録「モンゴル国の遺跡調査とデジタルアーカイブ-8世紀から17世紀までの城郭都市・寺院・仏塔のデジタル展-」, 奈良大学博物館, 総ページ24, 2015年7月

- ② 正司哲朗, A. エンフトル, 村上智見, モンゴル国における大型城郭都市のデジタルアーカイブ2014, 奈良大学総合研究所・モンゴル科学アカデミー考古学研究所, pp. 1-19, 29-41, 総ページ41, 2015年3月
- ③ 正司哲朗, A. エンフトル, 豊島佳澄, 村上智見, モンゴル国における大型城郭都市のデジタルアーカイブ2013, 奈良大学総合研究所・モンゴル科学アカデミー考古学研究所, pp. 1-17, 総ページ37, 2014年3月

[その他]

- ① 正司哲朗, Ch. Amartuvshin, G. Eregzen, L. Ishitseren, モンゴル国における18世紀の寺院跡ゾーン・フレーのデジタルアーカイブ (モンゴル語), トゥブ県ムンゲンモリト郡ゾーン・バイトラグ川流域: モンゴル・日本共同プロジェクト 2016年度調査報告書, pp. 93-102, モンゴル科学アカデミー考古学研究所, 2017年2月
- ② 平群町教育委員会主催企画展「嶋左近と椿井城」, 平群町中央公民館, 2016年11月20日
- ③ 「椿井城跡ぐるり体験」, 朝日新聞朝刊 (奈良版), 2016年11月19日掲載
- ④ 「ARで椿井城を」, 毎日新聞朝刊 (奈良版), 2016年11月19日掲載
- ⑤ 正司哲朗, 歴史的文化遺産 (モンゴル国の遺跡等) のデジタルアーカイブ, 名張歴史読書会3月講演, 名張市立図書館 (三重県名張市), 2016年3月11日
- ⑥ 奈良大学博物館でモンゴルの遺跡をデジタル化し展示, 産経新聞 (奈良版), 2015年8月13日
- ⑦ 奈良大学博物館企画展示「モンゴル国の遺跡調査とデジタルアーカイブ-8世紀から17世紀までの城郭都市・寺院・仏塔のデジタル展-」, 開催期間2015年7月6日~2015年8月31日
- ⑧ 正司哲朗, A. エンフトル, モンゴル国における大型城郭都市のデジタルアーカイブ2014, 奈良大学総合研究所・モンゴル科学アカデミー考古学研究所, 2015年3月
- ⑨ 「遺跡記録, デジタル公開」, 朝日新聞朝刊 (奈良版), 2014年9月12日掲載
- ⑩ モンゴル国立カラコルム博物館常設展示「モンゴル国の遺跡デジタルアーカイブ」, カラコルム博物館, 2014年8月27日から展示中
- ⑪ 「モンゴルの仏塔 契丹史の手がかり」, 朝日新聞夕刊 (近畿版), 2014年8月4日掲載
- ⑫ 正司哲朗, モンゴルにおける文化遺産のデジタルアーカイブ, 奈良市生涯学習財団主催「夏の夜話2013」, 中部公民館 (奈良県奈良市), 2013年7月12日

- ⑬ 「ウイグルの都3次元計測」, 読売新聞朝刊 (奈良版), 2013年4月13日掲載

6. 研究組織

(1) 研究代表者

正司 哲朗 (SHOJI, Tetsuo)
奈良大学・社会学部・准教授
研究者番号: 20423048