

## 写真測量を用いた文化財の過去と現状の変容の可視化

森 直紀<sup>1</sup> 廣瀬 詢<sup>2</sup> 藤里 和樹<sup>2</sup> 肥後 時尚<sup>3</sup> 末森 薫<sup>4</sup> 吹田 浩<sup>5</sup> 安室 喜弘<sup>1</sup>

<sup>1</sup>関西大学 環境都市工学部    <sup>2</sup>関西大学大学院 理工学研究科

<sup>3</sup>関西大学大学院 文学研究科    <sup>4</sup>関西大学 国際文化財・文化研究センター    <sup>5</sup>関西大学 文学部

### 1 はじめに

関西大学の国際文化財・文化研究センターでは、バーレーンのバルバル神殿(図 1)を対象に文化財の保存や修復、活用について研究を行っている[1]. この遺跡は、デンマークの調査隊により 1954 年に発見され、組織的な発掘が行われた。その後もバーレーン当局による再調査が行われたが、神殿は保全のため大部分が埋め戻され、一部が露出した状態で公開されている。その過程で、部分的に修復や補強が施されており、それにより、移動、紛失した石材も確認され、図 2 のように過去の調査記録[2]と現状が大幅に変化している箇所も多く、写真や測量データを豊富に含んだ現在の調査記録でも現状との照合が困難な場合がある。今後、遺跡の調査の進展、維持管理、復元、補修、バーレーン当局が目指す世界遺産登録のためには、調査記録の履歴を明確にして、現状を把握し、今後の所作に結びつけることが重要となっている。

本研究では、このような現状を踏まえ、保全修復作業の支援となるように、文化財の現状と調査記録の照合を正確に行える技術を提案する。

### 2 関連技術・関連研究

文化財修復保全に 3 次元計測データを用いることで、文化財の現状を克明に記録し、劣化や破損が生じた場合にも修復に活用することができる[3]. アメリカの非営利団体 CyArk は、レーザスキャンや写真測量を用いて、世界各地で 200 ヶ所もの遺跡を記録している[4]. また、アメリカの Smithsonian 博物館[5]や池内らによるバイヨン寺院の 3 次元デジタルアーカイブ[6]などのように、保全修復だけでなく、3 次元計測データが教育や研究で活用されている。しかし、これらのシステ

Visual Comparison of the Document History for Cultural Heritage based on Photogrammetry

Naoki Mori<sup>1</sup>, Makoto Hirose<sup>2</sup>, Kazuki Fujisato<sup>2</sup>, Tokihisa Higo<sup>4</sup>, Kaoru Suemori<sup>3</sup>, Hiroshi Suita<sup>3</sup>, Yoshihiro Yasumuro<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University

<sup>2</sup> Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

<sup>3</sup> Graduate School of Literature, Kansai University

<sup>4</sup> Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture, Kansai University

<sup>5</sup> Department of Literature, Kansai University

3-3-35 Yamate, Suita, OSAKA, 564-8680, JAPAN



図 1：バルバル神殿の全体像

ムは成果報告とその情報公開を想定したものが多く、バルバル神殿のように調査が進行中の文化財においては、必ずしも効果的な活用方法が確立されているわけではない。

### 3 提案手法

#### 3.1 概要

本研究では、文化財に対して、維持管理を目的としたシステムを目指す。現場の現状を写真測量により写実的に 3 次元復元し、過去の記録写真と精緻に重ね合わせることで、変容を可視化する。過去の写真の撮影視点を推定し、現状の文化財にその撮影位置を適用することで、過去の視覚的な情報を再現する方法を提案する。これにより、発掘と保全のために埋め戻しが繰り返し行われる現場において変容の把握を支援する。

#### 3.2 提案システム

写実的な 3 次元 CG により文化財の現状を復元して、過去の記録写真と重ね合わせるために、図 3 に示すようなシステムを構築する。まず、複数の画像から現状の 3 次元形状を SfM (Structure



図 2：神殿の過去(1958) [2]と現状(2017)の違い

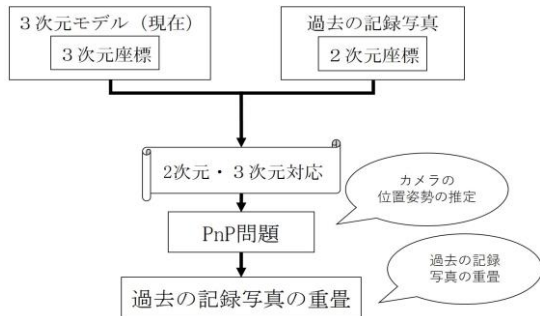


図3：提案手法の処理手順



図5：過去 (1960) [2]と現状(2017)の重畳表示

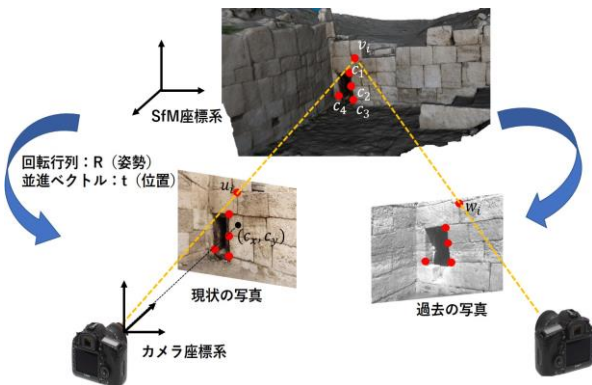


図4：2次元・3次元対応とカメラの位置関係

from Motion)を用いて復元し、マウスピッキングで任意の3次元座標を取得する。また、過去の写真から現状の写真と対応する2次元座標を取得し、2次元と3次元の座標を対応付ける。次に、図4のように過去と現状で不変な2次元座標と現状の3次元座標の対応関係をもとに、カメラの位置姿勢を推定する。これはPnP(Perspective-n-Point)問題として定式化され解法が知られる[7]。これにより、過去の写真記録の撮影位置と姿勢を推定する。この視点情報を使ってSfMによる3次元データを表示し、最後に、過去の写真を重畳することで、現状との変容を可視化できる。

#### 4 実装

本研究では、バルバル神殿内の水源とされた場所を対象空間とし、ドローン(Phantom4, DjI製)による空撮とデジタルカメラ(EOS Kiss x7i, Canon製)で取得した画像19枚からPhotoScan(Agisoft製)を用いてSfMを実施した。過去の写真記録の特徴的な箇所の座標と、対応する3次元座標をフリーの3次元点群処理ソフトウェアCloudCompareで取得した。使用したカメラパラメータ推定などの画像処理にはOpenCV, CGによる過去と現状の可視化の表示にはOpenGLを用いた。図5は、左から順に過去の記録写真(1960年撮影)[2]、視点を合わせた3次元データ、過去の写真より抽出した輪郭を重畳した結果である。

#### 5 考察

本研究では過去の記録写真から取得した任意の2次元座標と現状の3次元座標の対応から記録写真のカメラの位置推定が可能となり、過去と現状の変容を可視化することができている。しかし、PnP問題で用いるカメラの内部パラメータが不明である場合は、別途推定する必要がある。また、埋没部分などにおいて、ユーザが比較しやすい表現にする処理や方法について検討することが今後の課題として挙げられる。

#### 6 おわりに

本研究では、ドローンとデジタルカメラで撮影した画像からSfMを用いて復元した3次元座標値と、過去の記録写真の2次元座標値を利用して、過去のカメラ撮影位置を推定し、3次元形状に過去の写真を重畳することで、過去と現在の変容を同視点で照合するシステムを提案した。

今後は、今回実装したシステムによる検証結果を蓄積し共有するための3次元デジタルアーカイブの実装を行う予定である。

謝辞：本研究は科学研究費補助金、関西大学国際文化財・文化研究センターの助成を受けた。

#### 参考文献

- [1]吹田浩：パーレーン王国、バルバル神殿における文化財保全の研究プロジェクト, The Journal of Center for the Global Study of Cultural Heritage and Culture 第4号, pp1-11, 2017
- [2]H. hellmuth Andersen, Flemming Hojlund: The Barbar Tempkles, Vol. 1, Jutland Archaeological Society, 2003
- [3]岡本篤志ら：文化財保存修復における三次元デジタルアーカイブの可能性, 人文科学とコンピュータ Vol 56-6, pp. 39-45, 2002. 11
- [4]CyArk: <http://www.cyark.org/>
- [5]Smithsonian X 3D: <http://3d.si.edu/>
- [6]池内克史ら：3次元デジタルアーカイブ, 東京大学出版会, 2010
- [7]Hartley R, Zisserman A. Multiple View Geometry in Computer Vision. Cambridge University Press; 2004.