

文化財維持管理のための3次元計測を介した経時変化の定量的観測システム

森 直紀¹ サルマン アルマハーリ² 肥後 時尚³ 末森 薫⁴ 吹田 浩⁵ 安室 喜弘⁶¹関西大学大学院 理工学研究科 ²バーレーン文化・文化財局 ³関西大学大学院 文学研究科⁴国立民族学博物館 学術研究開発センター ⁵関西大学 文学部 ⁶関西大学 環境都市工学部

1 はじめに

バルバル神殿はバーレーン本島に位置する同国最大・最古の神殿遺跡である[1]。メソポタミアとインダスを繋ぐ交易都市であった古代バーレーンの重要な遺跡であり、ユネスコの世界遺産暫定リストにも登録され、バーレーン文化庁を中心にサイトミュージアムの建設準備が進められている。この遺跡は1953年にデンマークの調査隊により発見され、組織的な発掘が行われた。発掘終了後は一部埋め戻されて一般公開されているが、発掘時の記録写真と外観が大きく異なっている(図1)。今後の保全・開発のために、発掘時を再現する補修・補強が望ましいが、当時の写真を頼りに目視で変容を把握するには限度がある。

そこで、本研究では仮想的に過去の写真記録を現在の現場に投影し、経時変化を定量的に評価することで、文化遺産保全のための安定した維持管理を支援することを目的とする。

2 関連研究

アメリカの非営利団体 CyArk[2]は世界各地の遺跡を3次元計測で記録し、取得した3次元データに関連する情報を蓄積するデジタルアーカイブをWeb上で公開している。しかし、これらのデータはこれまでの成果報告と情報公開を目的としたものであり、文化財の定常的な維持管理の支援を想定しているわけではない。また、遺跡の現状を把握する手法として、3次元モデルに時間軸

Quantitative observation of temporal changes by 3D measurement for maintenance and conservation of cultural heritage

Naoki Mori¹, Salman Almahari², Tokihisa Higo³, Kaoru Suemori⁴, Hiroshi Suita⁵, Yoshihiro Yasumuro⁶

¹ Graduate School of Science and Engineering, Kansai University

² Archaeological Conservation Department,
Bahrain Authority of Culture and Antiquities

³ Graduate School of Literature, Kansai University

⁴ National Museum of Ethnology

⁵ Department of Literature, Kansai University

⁶ Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University
3-3-35 Yamate, Suita, OSAKA, 564-8680, JAPAN

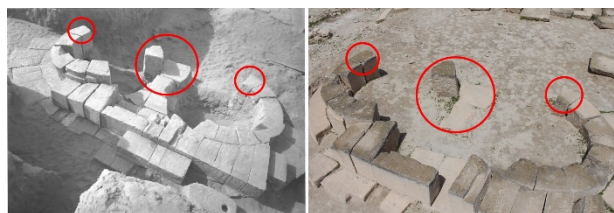


図1：過去(左)と現状(右)の違い

の次元を加えた4Dモデリングが注目されている。Pabloら[3]はイギリスのハドリアヌスの長城を対象に過去の自然災害や都市開発で変化した景観を分析するために、保存されていた空撮写真とStructure from Motion(SfM)を用いて、1946年時の3次元形状の復元を行った。3次元同士での比較は過去の記録との分析が容易であり、今後の維持管理に役立つと考えられる。

バルバル神殿の場合、記録写真はラップ率の不足や現状の写真と性状が異なるため、当時の3次元形状の復元は不可能であった。そのため、手動でこれらの特徴点を対応付ける必要がある。

3 提案手法

3.1 概要

本研究では、3次元の仮想空間を用いた調査現場の再現、古い記録写真に現状を重ね合わせ、その変化を定量的に把握する作業を可能とするシステムを提案する。Webアプリケーションとすることで、バルバル神殿の保全修復に携わる人々の間での情報共有や遠隔での照合作業や調査記録の集約・蓄積を可能にするを目指す。

3.2 定量的観測システム

記録写真から抽出した輪郭画像を現状に精緻に重ね合わせることで、文化財の経時変化を定量的に観測することを実現する。そのために、図2のようなシステムを構築する。まず、ブラウザ上にSfMとレーザスキャナで作成した実寸の3次元形状を表示する。次に、事前に選択した現状の3次元座標とそれに対応する記録写真の2次元座

標の対応関係から PnP(Perspective-n-Point)問題を解くことで、記録写真の撮影位置を推定する。ブラウザ上に推定した位置と姿勢を整合させた記録写真を表示する。ブラウザ上に表示された写真をマウスクリックで、現状に過去の写真を重畳したシーンを描画し、定量的な測定を可能とする。

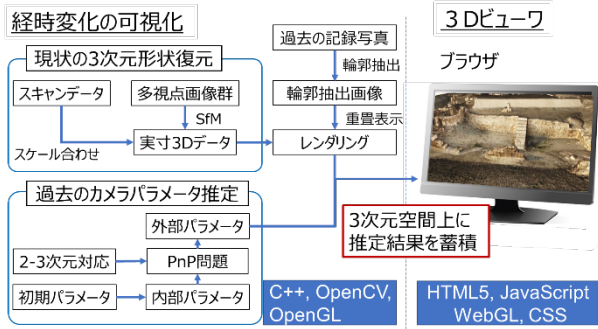


図 2 : 提案システム

4 実装

本研究では、バルバル神殿全域を対象空間とし、ドローン(Phantom4, Dji 社製)による空撮画像を SfM 処理ソフト PhotoScan(Agisoft 社製)と実地でレーザスキャナ(Focus3D, FARO 社製)で取得した 3次元点群を用いて、実寸の 3次元形状を作成した。記録写真の位置推定や輪郭画像の抽出には OpenCV, 重畳表示には OpenGL を利用した。撮影カメラの内部パラメータは不明であるため、初期値を設定し、手動で繰り返し PnP 問題を求解し、最適な値を求めた。ブラウザ上での 3次元形状の表示やイベント処理には、HTML5, JavaScript, WebGL を用いた。今回はマウス座標から 3D オブジェクトを識別するマウスクリックにより、記録写真に応じた重畳結果を表示した。図 3 はブラウザ上に神殿全域の 3次元形状と記録写真を表示した結果である。図 4 は記録写真をマウスクリックしたときの表示結果である。

5 考察

本研究では過去の撮影位置・方向から記録写真を重ね合わせ、実寸の 3次元データにより、その写真上にも寸法を反映させたため、定量的な観測が可能となった。また、マウスクリックによるオブジェクト認識により、各写真における測定結果を任意に確認することができる。しかし、手動で内部パラメータを設定したことにより、位置推定にずれが生じている。また、自動で輪郭を抽出しているため、ノイズや輪郭線の途切れが目立つこと、任意の領域で経時変化を測定することがで

きない点が課題として挙げられる。今後は、初期値を与えた後に内部パラメータを自動で最適化する枠組みや任意での輪郭抽出の実装や任意の箇所を自由に測定できるようにする必要がある。

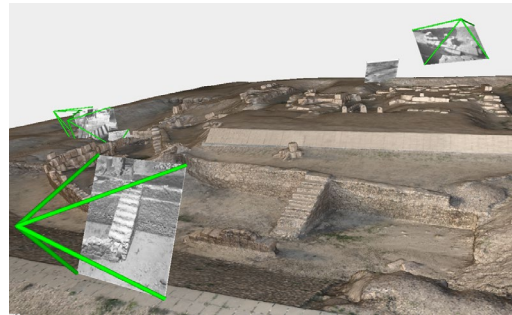


図 3 : ブラウザ上での表示 (現場全体の俯瞰)

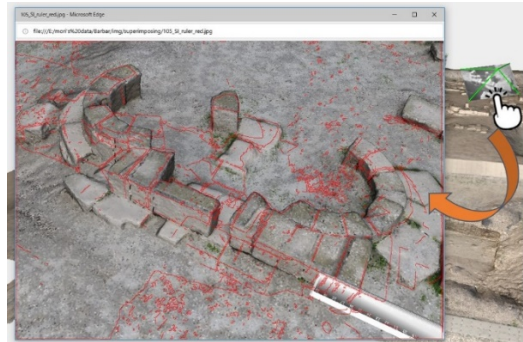


図 4 : ブラウザ上での表示 (クリック時)

6 おわりに

本研究では、コンピュータビジョンの原理的な技術であるカメラの位置推定を利用し、遺跡の経時変化を正確に把握・発見することを実施した。また、ブラウザ上に表示することでプロジェクトメンバー間での情報共有を可能にした。

今後は適用事例の追加や任意の領域で変化を定量的に測定すること、また遺跡の定期的な管理のためのデータベースを構築する予定である。

謝辞 : 本研究は科学研究費補助金の助成を受けた。

参考文献

- [1] 吹田浩 : バーレーン王国, 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] CyArk : <http://www.cyark.org/>
- [3] P. Rodríguez-Gonzálvez 他 : 4D Reconstruction of Cultural Heritage Sites, MDPI 2018