

# 考古遺産維持管理のための3次元計測を介した経時変化の定量的観測

安室 喜弘<sup>1</sup> サルマン アルマハーリ<sup>2</sup> 肥後 時尚<sup>3</sup> 末森 薫<sup>4</sup> 鶴田 浩章<sup>1</sup> 吹田 浩<sup>5</sup>

<sup>1</sup>関西大学 環境都市工学部 <sup>2</sup>バーレーン文化・文化財局 <sup>3</sup>金沢大学 国際文化資源学術研究センター

<sup>4</sup>国立民族学博物館 学術研究開発センター <sup>5</sup>関西大学 文学部

## 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も計画されている。この遺跡は1953年にデンマークの調査隊により発掘が行われ、発掘終了後はバーレーン当局の管理下で一部埋め戻して保全と公開がなされているが、発掘時の記録写真とは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・復元が望ましいが、記録写真を頼りに目視で変容を把握するには限度がある。

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

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を加えた4Dモデリングが注目されている。Pabloら[2]は英国ハドリアヌスの長城を対象に自然災害や都市開発による景観変遷の分析のために、1940年代の空撮写真にStructure from Motion(SfM)を用いて、時期の異なる3次元形状を復元している。バルバル神殿では、空撮のようなラップ率の高い記録写真は残されておらず、発掘当時の3次元形状の復元は不可能であった[3]。



図1：1950年代当時(左)と現状(右)の違い

## 3 提案手法

本稿では、図2に示すように、3次元で再現した現場に、過去の記録写真を重ね合わせ、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。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・蓄積を可能にすることを目指す。

まず、レーザスキャンを基本とする実寸の3次元計測により現場の現状を記録する。次に、発掘時の記録写真と、現状の3次元復元像との間で、特徴点の対応付けを対話的に行う。この対応関係からPnP(Perspective-n-Point)問題[4]を解くことで推定される記録写真の撮影視点や視線方向の情報を使い、3次元像に記録写真を重畳表示する。過去と現在との違いを定量的に可視化するために、仮想的なグリッド平面を対話的に操作できるようにして、距離を測る2点を設定する。尚、PnP問題を解く際には、カメラの内部パラメータが必要となるが、記録写真を撮影したカメラの情報は不明である。ここでは、焦点距離のパラメータを変えながら、繰り返しPnP問題を解き、尤もらしい撮影視点推定を実現している。(図3参照)

Quantitative observation of changes over time through 3D measurement for archaeological heritage maintenance

Yoshihiro Yasumuro<sup>1</sup>, Salman Almahari<sup>2</sup>, Tokihisa Higo<sup>3</sup>, Kaoru Suemori<sup>4</sup>, Hiroaki Tsuruta<sup>1</sup>, Hiroshi Suita<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup> Archaeological Conservation Department, Bahrain Authority of Culture and Antiquities

<sup>3</sup> Center for Cultural Resource Studies, Kanazawa University

<sup>4</sup> National Museum of Ethnology

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

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

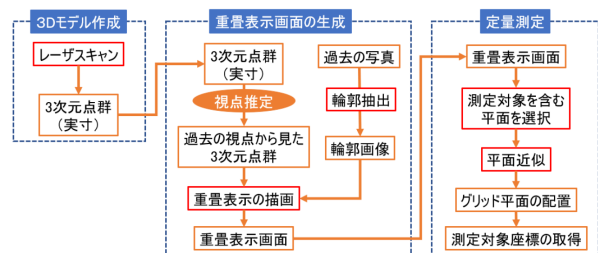


図2：提案システム

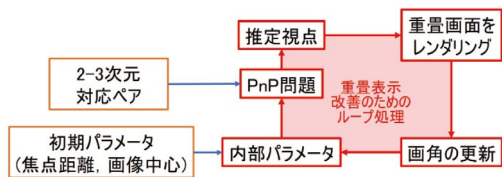


図 3：撮影視点推定処理

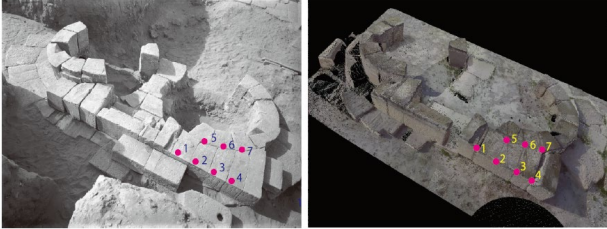


図 4：マウスクリックによる対応点選択

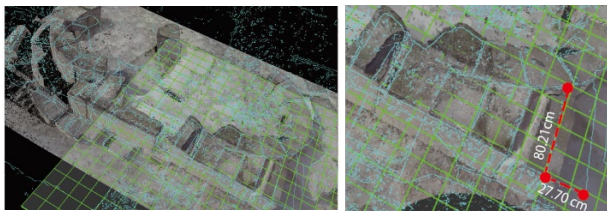


図 5：現状と写真記録にグリッドを重ねた様子

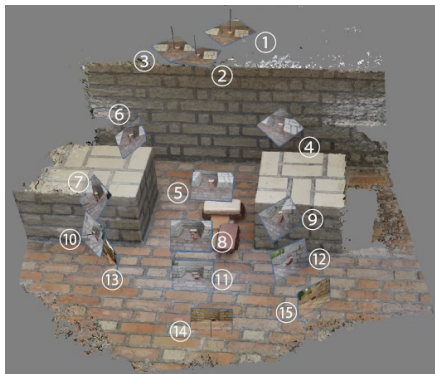


図 6：大学構内での検証実験の様子

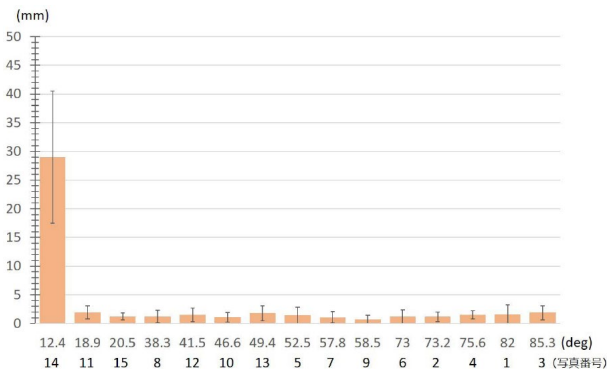


図 7：検証結果：平均誤差(橙)と標準偏差(黒)

#### 4 実装と検証

本研究では、バルバル神殿全域を対象空間とし、レーザースキャナ(Focus3D, FARO 社製)で実寸の3次元形状データを得た。記録写真の位置推定や輪

郭画像の抽出には OpenCV, 重畳表示やマウスクリックなどのインターフェースには OpenGL を利用した。図 4 は対応点をマウスクリックで選択している例である。図 5 は現状の 3 次元データに写真記録を重畳しグリッドを設定して違いとなる 2 点間の距離を測定している様子である。

今回は、遺跡と同様に石材で構成された空間として大学構内の休憩スペース(図 6 参照)を選び、レンガを一定距離 (5.20cm) 移動させて、本手法を適用し、精度検証を行った。図 7 は、レンガの移動方向と撮影視線とのなす角度と、レンガの移動距離の測定誤差との関係である。本実験での最大誤差は、29.0mm であった。これは、視線と移動方向がなす角度が 12.4 度と狭く、測定する 2 点が視線上に重なり易く、画面上で指定するのが困難な例外的な状況であった。それ以外の場合は、平均誤差がスキャンデータの RMS (1.7mm)と同程度であり、標準偏差も 2.0mm 以内であった。また、図 5 の遺跡の適用事例における測定対象の変位方向と撮影視線との角度は 48.9 度であり、本実験と同程度の精度が期待できる。

#### 5 おわりに

本研究では、過去に撮影された写真と現状との経時変化を可視化し、その変位を定量的に測定することが可能なシステムを提案した。精度検証実験により、撮影したカメラのパラメータが不明な場合にも対応できることを示し、さまざまな現場への適用も期待できる。また、バーレーン当局では、当事者も認識できていない変化や気付きを与えることができ、現地の展示や観光資料としても活用できるとコメントをいただいた。

**謝辞：**本研究の一部は、関西大学先端科学技術推進機 文化遺産の修復、維持管理のための ICT 研究グループ及び科学研究費補助金の助成による。

#### 参考文献

- [1] H. H. Andersen et.al.: The Barbar Temple, Jutland Archaeological Society, 2003.
- [2] P. Rodríguez-González 他 : 4D Reconstruction of Cultural Heritage Sites, MDPI 2018.
- [3] 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.
- [4] R. Hartley R et al. : Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2004.