

## Structure from Motion による遺構計測の試行

**はじめに** 三次元計測手法による遺構の記録は、空中写真計測を中心に文化財の分野においても利用がすすめられ、普及してきた。近年においては、三次元レーザースキャナーの出現と普及によって、より詳細で高精度の形状情報を短時間で取得が可能になりつつある。これらの技術は使用、費用ともに急激に導入のコストが低くなってきており、今後文化財計測における多様な場面での活用が活発になると考える。

奈良文化財研究所においては、開設以来の文化財計測研究の蓄積を継承しつつ、現実的に導入が可能な機器やソフトウェアについて資料に対する計測試験をおこない、有効な手法について検証を進めている<sup>1-3)</sup>。また、文化財担当者専門研修においても利用の普及をはかっている。

写真計測手法においては、伝統的な手法に加えて、コンピュータービジョン (CV) 技術による Structure from Motion (SfM) の手法が発達し、精度と利便性が向上しつつある。本稿では、SfM を使用した市販の計測ソフトウェアによる遺構の計測試験について紹介をおこなう。

**SfM の概要と利点** SfM とは異なる視点から撮影された複数の画像を利用してカメラの位置を推定し、撮影対象物の三次元形状を復元する技術である。従来の写真計測に比べて、モデルの作成にカメラの内外部標定が基本的に不要であること、多くのデジタルカメラで利用でき、ソフトウェアも安価であることから導入の障壁が低く、近年研究が進められている分野である。

SfM を用いたソフトウェアやシステムとしては Photosynth、ARC3D、Hypr3D、Autodesk123catch をはじめ、Bundler、CMVS/PMVS2 やそれを統合した Python Photogrammetry Toolbox など多数の手段が存在しており、遺跡計測への利用と精度検証などの研究も進んでいる<sup>4)</sup>。また、無人飛行艇 (UAV) との利用による空中写真計測も試みられている<sup>5・6)</sup>。

**試験の概要** 計測試験では、PhotoScan (AGISoft社) を用いた。ライセンスは二種類が存在し、いずれも写真からの三次元モデルの生成までは簡便な操作で可能である。Professional版はモデルへの座標の付与など遺構の

計測に便利な機能を有しているが高価である。Standard版は2.5万円程度で購入可能であり、導入が比較的容易である。この場合、他のソフトウェアと組み合わせて利用する。今回はこの両者を用いて実験をおこなった。

**試験の成果** 今回の試験では、複雑な計測対象を迅速に計測することを目的として複数の対象を計測している。本稿では平城宮東院庭園の園池石組と西大寺瓦積井戸における計測成果を述べる。

**東院庭園園池石組** 広範囲における複雑な対象物の計測試験を目的として実施した。既に伝統的な巻尺による手測りや三次元レーザースキャナーによる計測をおこなっており、成果の比較が可能である。

カメラはRICOH GX200を用いて簡易空撮システムを利用して上方より対象を取り囲むように写真撮影をおこなった。撮影枚数は17枚、撮影時間は約40分である。解析は現場での簡易の解析で約10分、室内の詳細な解析で約1時間を要した。詳細を観察すると復元が不十分なところもあるが、より多くの枚数を撮影することで改善することが後の試験においてあきらかとなっている。現在、三次元レーザースキャナーの成果との比較をおこなう準備を進めている。より簡便な機材としてiPhone4sによる撮影画像でも精度は劣るものの計測データを得ることができた (図 I-63)。

**西大寺瓦積井戸** 西大寺弥勒金堂回廊の調査 (本紀要Ⅲ 151頁参照) で調査された中世の瓦積井戸である。ここでは、複雑な構造を有する小規模な建造物の記録を目的に実施した。精度の検証として、任意の2点間の距離を実地において計測し、成果との比較を実施した。

カメラはFujifilm X-E1で上部から撮影した他、撮影距離が短いRICOH GX200を棒の先端につけて井戸内に入れてモニタリングをしつつ撮影を試みた。撮影枚数は60



図 I-63 東院庭園園池石組

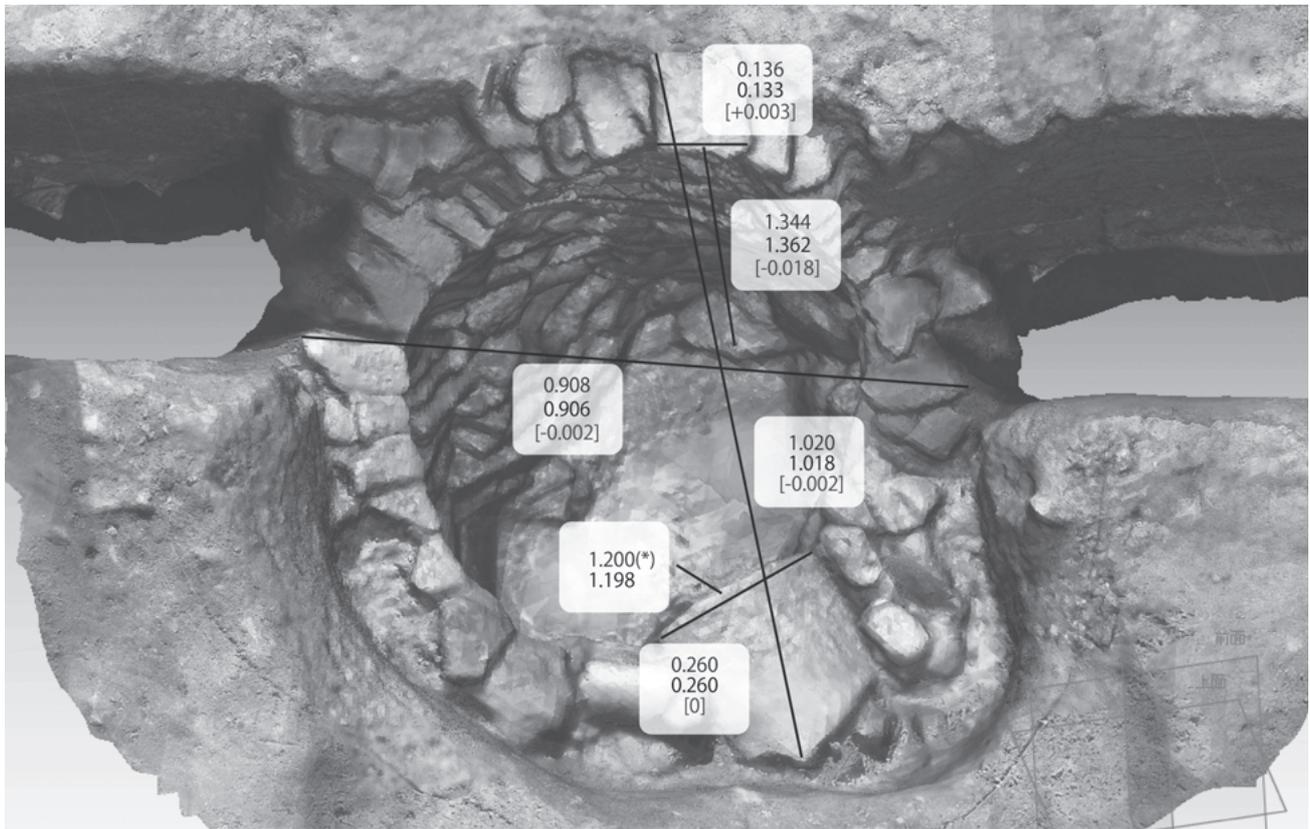


図 I-64 実測値とモデルとの計測値の比較 上段数値：実測値 下段数値：モデルの値 [ ] 内差分  
 (\* ) 最上段の瓦より中央部へ計測をおこなったが、モデルにおいて位置の厳密な特定ができないため、参考値として表示。

枚、撮影時間は25分である。解析は室内の解析で約4時間を要した。

精度の検証用に現地で任意の点における実際の長さをスチール製の巻尺で計測し、モデルの計測値と比較した(図 I-64)。モデル内の距離の計測にはGeomagic Verify Viewerを使用した。この結果、距離が長く、実際の計測がしにくかった深さ方向のデータについて若干精度が悪いものの、数mm程度の差でモデルが生成されている。実測時の計測や全体としての歪みの可能性など、今後考慮すべき点はあるが、従来の手作業による1/10~1/50程度の図化の精度を考慮すれば、概ね問題がない計測が可能である。

**今後の課題** SfMを用いた遺構の計測は、手による計測に比べて精度を劣化させずに迅速かつ詳細に形状データを取得できることがあきらかとなった。また、従来計測に労力を要した対象においても方法を工夫することにより迅速な記録を作成できる。生成される点群の密度や精度については三次元レーザースキャナーに比べて劣るが、平面図の作成などには十分利用が可能であろう。ただ、文化財の計測はただ形状を計ればいいだけのものではないことは注意しておく必要がある。

これらのデータは写真から生成されるため、写真の撮影技術や方法についてもさらなる検討が必要である。計測を主眼とした写真撮影方法についても検討と議論が必

要である。

取得された点群データや計測座標のモデルへの適用、断面図の作成などについては、今後検討が必要である。欧州を中心に、市販のソフトウェアに加えてFOSS(Free/Open Source Software)などの考古学研究への活用が進められている。これらの技術を含め、わが国においても導入の障壁を低くする研究が必要であり、奈文研遺跡・調査技術研究室も研究を継続する予定である。(金田明大)

#### 註

- 1) 金田明大「石神遺跡(第18・19次)の調査」『紀要2007』。
- 2) 金田明大『文化財のための三次元計測』岩田書院、2010。
- 3) 番光「デジタル写真測量による遺構の記録」『紀要2009』。
- 4) 内山庄一郎・井上 公・鈴木比奈子「SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究」『防災科学技術研究所研究報告』81、2014。
- 5) Neitzel, F., Klonowski, J., MOBILE 3D MAPPING WITH A LOW-COST UAV SYSTEM, Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing Spatial Information Science., XXXVIII-1/C22, 2011, <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-1-C22/25/2011/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-25-2011.pdf>.
- 6) Lo Brutto M., Meli, P. 2012 Computer vision tools for 3D modelling in archaeology. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, Volume 1, Supplement.