

## 付 編

### 三次元写真測量の手法を応用した前二子古墳石室の計測

津村宏臣<sup>\*1</sup>・二神葉子<sup>\*2</sup>

#### 1 はじめに

東京文化財研究所では、前二子古墳の保存修理事業に伴って石室の天井石や側壁部分の解体修理が行われるにあたり、修理前の現状記録、修理中および修理後の作業記録として、写真測量の技術を応用した石室画像のアーカイビングおよび計測を行った。なお、本研究は、東京大学生産技術研究所および東京文化財研究所による科学技術振興機構（旧：科学技術振興事業団）の戦略的創造研究推進事業「文化遺産の高度メディアコンテンツ化のための自動化手法」（研究代表者：東京大学生産技術研究所・池内克史教授）の一環として、前橋市、東京文化財研究所および東京大学生産技術研究所第3部池内研究室の間で「史跡前二子古墳石室三次元計測に関する協議書」を取り交わし、3者の共同研究として実施されたものである。

#### 2 三次元写真測量技術の導入

文化財建造物の形状の記録や保存は、これまで手実測や光波測距儀などの測量機器を用いた対象の三次元的な位置データ取得と、二次元の線画で描出する方法であった。また、応用的に三次元CADを導入し、三次元的な位置・形状情報の処理もおこなわれている。これらは、比較的規格化され汎用性も高く、文化財建造物情報の標準・共有化の意味ではきわめて有用である。しかし、二次元線画のように形状のトポロジーを記号化したアウトプットからは、三次元的な立体構造の再構築は難しく、また記録者の技術的熟練度により情報の品質にはらつきが生じる。

これに対し、近年レーザーレンジスキャナを用いた、三次元的な点群による形状情報の記録が実践されはじめている。高精細な三次元点群データは、文化財建造物の形状をあるがままに記録する革新的技術である。テクスチャマッピングを併用すれば対象の色や質感まで記録でき、VR技術としての将来性にも注目されている。だが、計測機器に関する経済的、技術的問題から一般利用は難しく、またこれまでの二次元線画による記録方法の延長線上にないため、データの応用領域に限界も指摘されている。

手実測による現地作業の利便性、光波測距儀による測量の精密性、レーザーレンジスキャン計測による三次元形状の現実性を達成し、さらにこれまで蓄積された情報との対比を可能にする計測技術の1つに、写真測量を応用したデジタル写真計測がある。デジタル写真測量は、一般民生用のデジタルカメラを用いた比較的簡便な方法で二次元画像から三次元座標情報が取得できる。また、被写体空間の絶対座標系を用いて写真を幾何補正すれば、中心投影画像を任意平面からの正射投影画像に変換できる。ここでは、前二子古墳の復原・修復作業の工程に鑑み、現地作業での利便性を最優先に考慮して、このデジタル写真計測による方法を採用した。

#### 3 対象の写真撮影と写真計測作業

2002年6月から2004年9月にかけて、前二子古墳の解体・再構築の工程にあわせて作業日を設定して現地に赴き、アーカイブする意味のある作業段階のデジタル写真撮影を実施した。アーカイブした工程としては、解体作業前（墳頂部トレンチ葺石、および石室内床・天井・壁面）、盛土除去作業中（石室外側裏込遺構、および石室外側全景）、天井石移設作業中、再構築後（石室内床・天井・壁面）の各段階である。このうち、裏込遺構部については、調査の進行にあわせ、のべ日数で7日にわたり撮影を実施した。アーカイブしたデジタル写真データは約3000カットに及び、このうちから写真計測に適したカットを選定した。写真撮影には主に写真計測用のローライ製d7metric5を使用した。また、プロジェクト中途より、一般民生用のニコン製E5000およびキヤノン製Eos kiss Digitalを併用し、ステレオ

写真による三次元点群データ作成も併せて実施した。

デジタル写真計測の手順は、まず、カメラの幾何光学補正をおこない内部標定を実施した。この際、今回のように撮影時期が異なる複数の写真セットの座標系を統一するため、各段階で撮影されたオブジェクトから不動と考えられる複数の共通点を選定し、再構築後に座標値を取得した基準点で構築したモデル座標系で統合した。次に、各撮影段階の写真を被写体の規模に応じて分割して相互標定し、それらを接続評定して外部標定解析をおこない、撮影のカメラ位置と対象までの被写体距離、カメラの傾きなど、共線条件の外部標定要素を計算した。最後に、標定解析結果を参照し、各段階の写真について偏位修正画像を作成した。二次元線画の作成にはここで作成した画像を使用した。また、プロジェクトの中途より採用したステレオ写真を利用した三次元点群データの作成についても、先の座標系に統一させて実施した。なお、二次元線画については、P144床石敷均し平面図(敷均し後)・P148差し石状況図(床面)・P178修復後羨門立面図・P183天井石修復状況がその成果で、三次元アーカイブについては、津村・二神(2004)やTsumura and Futagami(2004)で検討した。また、同様の技術的検討は二神・津村(2004)などでも議論している。

#### 4 おわりに

さきに述べたように、写真測量の技術を応用した三次元計測では、使用する機器は比較的安価であり、現場での作業時間が従来の手実測に比べて短く、高い精度で客観的な計測を行うことが可能である。また、全ての場所が遺漏なく撮影されている、基準となる物体が写し込まれているなどの撮影条件を守れば、たとえ遺跡・遺構が失われた後でも任意の視点で実測図を作成することが可能であるなど、従来の方法に比べていくつもの利点がある。また、特徴点の抽出・特徴点同士の接続など作業者の判断による作図を行うことができるため、考古学の分野で従来作成されていた実測図の特徴も残しており、より多くの発掘現場での応用が可能であると期待している。ただし、本研究で扱った前二子古墳のように、全長が14m、石室の最も狭い部分が1m弱という対象の場合、撮影対象までの距離が短いため多くの写真を処理する必要があり、撮影後のデータ処理に長時間を要することとなった。データ処理時間の短縮は、本手法を普及させるための大きな課題であると認識している。

今後、より高精度の計測手法の開発と、現場での写真撮影の方法等も含めた作業手順の最適化に関する調査研究を行い、考古学の分野での本手法の普及をめざしていきたいと考えている。

津村宏臣・二神葉子 2004 「写真測量技術の応用による三次元DCMの取得と利用—文化財保存・活用への展開—」『日本文化財科学会第21回大会 研究発表要旨集』日本文化財科学会

Tsumura, H. and Futagami, Y. 2004 Digital Archive for the protection of cultural properties with the 3D-photogrammetry application: A case research of the Mae-Futago Kofun burial mound at Gunma, Japan. *Beyond the artifact*. CAA2004

二神葉子・津村宏臣 2004 「三次元写真測量技術を用いた文化財建造物の劣化状況の評価」『文化財保存修復学会第26回大会 研究発表要旨集』文化財保存修復学会

\* 1 東京藝術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻

\* 2 東京文化財研究所国際文化財保存修復協力センター