

特別セッション

Special Session

## 3D 計測技術の発達と文化財の保護

# The Development of 3D Measurement Technology and the Protection of Cultural Heritage

○新納 泉（岡山大学名誉教授）、光本順（岡山大学准教授）

○Izumi NIIRO, Jun MITSUMOTO (Okayama University)

### 1. 3D 計測技術の発達

文化財にかかわる 3D 計測技術が本格的な発達をみせ始めたのは、2000 年代に入ってからのことであろう。それまでも、国土地理院が作成した数値標高モデル（50mメッシュ・250mメッシュ）があり、米国地質調査所からは GTOP030 が提供され、世界の地形を 1km メッシュで把握することが可能になっていた。その後、国土地理院のデータは測地成果 2000 に従ったものとなり、現在は基盤地図情報（数値標高モデル）5mメッシュの整備が進められている。世界では GTOP030 にかわって SRTM が主流となり、およそ 90mメッシュである SRTM3 を自由に用いることができる。また、海底地形のデータも含めた SRTM\_PLUS も公開されている。

一方、個別の遺跡や遺物の計測が大きく進み始めるのは、2010 年頃からであろう。岡山大学考古学研究室では、2005 年から 3 年間 3 シーズンにわたって岡山市造山古墳のデジタル測量を実施したが、これはトータルステーションを用いて墳丘上の測点を計測するというものであった。2010 年になって榎原考古学研究所とアジア航測株式会社が大阪府堺市百舌鳥御廟山古墳と奈良市コナベ古墳の航空レーザー計測を実施し、3D 計測のその後の広範な利用につながっていった。最近ではドローンを用いたレーザー計測の精度が高まってきており、今後の広範な適用に道を拓くものとなっている。また、地上レーザー計測や、遺物の 3D 計測の技術もめざましい発達をみせている。

### 2. 岡山市造山古墳の 3D 計測

岡山市造山古墳は、岡山市北区新庄下に築かれた 5 世紀はじめの前方後円墳である。墳丘長 350m ほどで、全国第 4 位の規模をもっている。岡山大学考古学研究室では、2005 年から 2007 年にかけておよそ 80 日を費やして、墳丘上を中心におよそ 12 万点の測点を計測した。基準点の設定には、株式会社ジェノバが提供する VRS-RTK 観測を用いて補正した GPS データを用い、そこから基準点の派生やトータルステーションによる計測を行った。GPS の精度は水平誤差±2cm 以内で、垂直誤差はそれよりやや大きいものであった。この計測は、多大な労力を要するもので、大規模古墳の計測方法として二度と用いられないことがないと思われるが、あらゆる計測点を研究者が目視して設定し、確実に地表面を捉えているという点で、大きな特徴をもっている。

続いて、2020 年に岡山大学考古学研究室の光本順を中心に、ドローンを用いたレーザー計測がおこなわれた。測量機器に関し、レーザーは Phoenix LiDAR Systems miniRANGER、ドローン

は DJI Matrice 600 Pro である。計測日は 2020 年 3 月 20・21 日で、造山古墳が収まる範囲の上空において、一部飛行レーン間隔等も試行的に変えつつフライトを実施した。地表面データは、2 フライト分のデータに基づく。これは、墳丘や周辺にわたって、地表面だけで 500 万点近い測点を得ることができた。2000 年代に比べて、実働 1 日で計測を終わらせることが可能である点や、座標の基準が一定していることなどのメリットが大きいのが、草木の繁茂や倒木などによって地表面を捉えられない場合があることなどがデメリットといえるかもしれない。

### 3. 2 種類の計測方法の比較

このように、ひとつの大型古墳に対して 2 種類の計測が行われた例は他にないと思われるので、両者をできるだけ詳細に比較してみることにした。

いずれのデータも、測地成果 2000 に基づく国土座標によって XYZ の値が与えられている。そこで、それぞれ測点から TIN (不整三角形網) を作成し、10cm メッシュのラスターデータを作成し、比較してみることにした。また、2 つのラスターデータの差を求めて、そのラスターデータも作成した。TIN の作成とそれに基づくラスターデータの作成は地理情報システムソフトウェアの IDRISI 上で行ったが、差を求める作業は Python の NumPy を用いた。NumPy は Python 上で数値計算を効率的に行うための拡張モジュールである。

こうした比較によってわかったことは以下のとおりである。

- (1) 両データの水平距離の誤差はまったく感じられないものであり、ドローンを用いた計測の精度の高さが認識できた。
- (2) 墳丘斜面に縞状に差のある部分が認められ、これは伐採された樹木や小枝が積まれたものと思われる。航空レーザー計測やドローンによる計測では、そうした影響は避けられないようである。
- (3) 後円部墳頂平坦面のほぼ全体に一定の差が認められたが、これが何によるものか検討が必要である。
- (4) 2 回の計測の間に、造山古墳の墳丘には豪雨による崩落などの変形が進行したが、その様相を比較によってはっきりと知ることができた。

### 4. おわりに

3D 計測は、文化財の保護に大きく貢献できる技術である。古墳の計測でも、以前は数百万円の費用を要することが多かったが、ドローンの利用などで安価にデータを取得することができるようになった。しかし、一方で文化財関係者が直接データを扱うのは困難な場合が多いため、ともすれば画像データなどの成果物の納品にとどまり、データそのものを集積することがおろそかになる恐れがあり、データアーカイブの体制構築も必要となる。その他にも、とくに写真計測などの場合には、精度の検証が十分ではないように思われる例もある。できるだけそうした議論をすすめることによって、将来にわたって悔いのないデータの獲得と集積がなされることを期待したい。

本発表の一部は MEXT 科研費 JP19H05732、JSPS 科研費 JP20H00027 の助成を受けた。

# 文化財保全のための3次元計測の活用

## Applications of 3D Measurement in Cultural Heritage Preservation

○藤沢敦（東北大学総合学術博物館）、鹿納晴尚（同左）

○Atsushi FUJISAWA, Harumasa KANO (The Tohoku University Museum)

3次元計測を文化財の記録方法として利用する取り組みは、デジタルカメラ画像から3次元化するSfM法の普及とともに急速に増加している。文化財を保全していく上でも、3次元計測は有効である。ここでは、その意義を整理するとともに、留意すべき点を検討したい。

### 1. 記録としての3次元計測

文化財保全のために最も重要と考えられることは、万一の事態に備えて、3次元の計測データを記録しておく事である。自然災害や人為的災害、あるいは経年劣化などによって文化財が被害を受けた場合や損壊した際に、必要な計測データが残されていれば、修復や復旧に役立てることができる。2次元の図面では表現できない、立体的な特徴を記録できる点で、3次元計測が優れていることは容易に理解できるであろう。

計測方法はさまざまあるが、目的に応じた精度を確保することが条件となる。通常の3次元計測の場合、測定機器やカメラから陰になって見えない部分のデータは取得できない。伝統的な木造建築のように、複雑に入り組んだ構造の文化財では、表面形状をもれなく計測することは容易でない。機器の選定と測定方法の工夫が重要となる。

3次元計測では、形状データに加えて色データを取得することが一般的である。光源との関係で、実際の色を正確に記録することは簡単ではない。カラーチャートを入れ込んで、計測データとは別に写真を撮影しておくことなどが必要となる。

装飾古墳など特殊な環境で保存されている場合、保管環境への悪影響を避けるため、研究者の現地調査が制限される場合が多い。3次元計測データが取得できれば、VR技術を利用し、実物を前にしているように検討することもできる。複数の研究者でVR空間を共有し検討することも可能である。3Dプリンターで製作した複製を検討素材とすることもできる。このような、実物への負荷を避けて調査研究を行う方法は、広い意味での文化財の保全と言える。

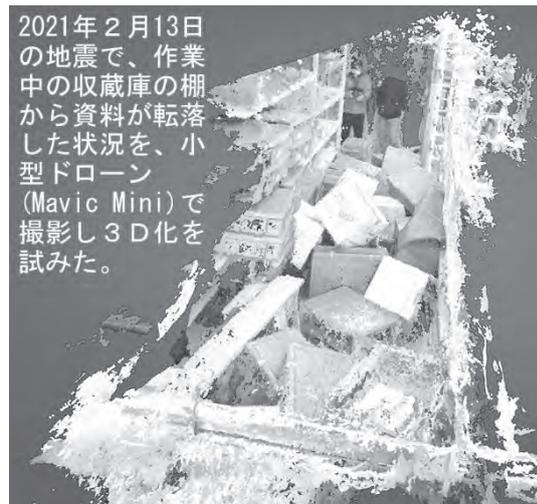
### 2. モニタリングとしての3次元計測

文化財の経年変化などによる変形を監視するために、3次元計測を行うことも有効である。石材の亀裂幅の計測などは簡便なスケールを利用して可能であるが、石垣のはらみ出しなどを

正確にモニタリングすることは簡単ではない。定期的に3次元計測を実施することで、変化の有無や、その量を監視することが可能である。その際、同じ精度を保証して計測を続ける必要がある。継続して計測していく体制を整えることが不可欠で、自治体の文化財保護部署では、外注で計測を継続することは予算面から難しいのが現状であろう。デジタル写真の撮影機器、解像度、撮影位置とアングルを検討し、必要な精度を保証できる撮影方法が確立していれば、計測を外注することなく、定期的に同じように撮影した写真からSfM法で3次元データ化を行い、それらを比較することも可能である。今後の検討課題であろう。

### 3. 被災後の記録

災害などで被害を受けた文化財を記録する場合にも、3次元計測を活用できる。被災した資料は、散乱して混在している場合も少なくない。どのような位置関係で被災していたかという情報が、資料の本来の状態を復元する上で重要となる場合もある。安全かつ効率的な回収作業を計画するためにも活用できる。また、今後の対策を検討するためにも、被災状況の記録は重要である。これまでの被災文化財の保全活動では、できるだけ多くの写真を撮影しておくことが行われてきた。収蔵庫内などスペースが限られる中では、可能な範囲での撮影にとどまることも多かった。狭い収蔵庫内では、散乱した資料で足を踏み入れることも困難な場合がある。小型ドローンで撮影した写真データを、SfM法で3次元化することを、現在試みている。狭い中でドローンを安全に飛行させることや、照明の問題など、越えるべきハードルは少なくない。



### 4. 目的と精度および計測方法の選択

保全を目的とする場合に限られたことではないが、文化財の3次元計測を行う際に重要なことは、計測の目的に応じて、必要となる精度を明確にすることである。計測対象の特質、計測データの使用目的などによって、求められる精度は異なる。要求される精度と諸条件を勘案して、計測方法を選択することが必要である。SfM法での3次元計測の場合、求められる精度と、撮影機材と撮影距離の関係などを検討しておくことが必要である。このような研究を進め、SfM法での対処可能範囲の見きわめとノウハウの確立がなされれば、文化財保全のための3次元計測の活用は、大きく前進すると期待できる。

※本発表には、JSPS 科研費 20H00019（基盤研究A・2020～2024年度）による研究成果を含みます。

# 災害に備えた三次元計測による文化財の現状記録

## Recording of Cultural Heritage through 3D Measurement in Preparation for Disasters

○木村龍生（熊本県教育庁教育総務局文化課）

○Ryusei KIMURA（Cultural Affairs Division, Kumamoto Board of Education Secretariat）

### 1. 災害に備えた三次元データ作成の必要性

平成28年熊本地震では多くの文化財が被災した。特に、古墳の石室、城跡の石垣、石橋等の構造物には大きな被害を受けたものが多かった。これらの被害状況の確認及び復旧工法の検討に最も役に立ったものは、被災前後の三次元データの比較であった。

地震後、古墳石室の被害状況の確認は、写真や実測図をもとに目視で行うものがほとんどであった。それである程度の被害状況の把握は目視でも十分行うことができたが、実測図では記録ができない箇所や写真に写っていない箇所については過去に観察した際の記憶や感覚で判断することとなり、地震前から落ちていた石材を地震によるき損と判断したり、地震前からあった石材の孕みを地震の影響によるものと誤認するなどの事態が生じた。

その一方、地震前に三次元データで現状記録をしていた重要文化財の通潤橋は、地震後に三次元計測を行い、地震前後のデータを比較・解析することで、地震による石の動きを数ミリ単位で把握することができ、それをもとに必要最低限の解体・積みなおし範囲を決定し、効率的な復旧作業が行われた。同様に、史跡井寺古墳でも地震前後の三次元データの比較から、石室の形状の変化や石材の崩落が把握できた。

このように、文化財の三次元データを使用することで災害発生時の被害状況を正確に把握することができ、また、復旧工法を検討するうえでも有効である。そのため、平常時において文化財を三次元データで現状記録することは、文化財を保護・維持管理していくうえで、今後極めて重要な作業であるといえる。

### 2. 三次元データによる文化財の現状記録作成について

熊本県では、熊本地震の経験をもとに平常時に文化財の三次元データでの現状記録を進めていくことを、令和2年度に策定した『熊本県文化財保存活用大綱』に明記し、文化財保護部局の業務の一環と位置付けた。特に災害時に大きな被害が生じる可能性が高い城跡の石垣、古墳の石室や墳丘、石塔や石橋等の石造物、建造物等については、率先して三次元データでの記録作成を行うべきだと考えている。

ただ、三次元データでの現状記録を行う必要があるといっても、文化財の数は多く、県だけ

で作業を行うのは難しい。そのため、市町村とも連携し、県下全体で文化財の三次元データ作成のための体制を構築し、実施していくことが必要である。そのため、今後取り組んでいく予定なのが、文化財三次元研修と三次元データ作成連携体制の構築である。

## (1) 文化財三次元研修の実施

市町村担当者の協力を得るためには、三次元データの有用性を理解してもらい、三次元計測の知識や技術を習得してもらう必要がある。熊本県内では、一部市町村は積極的に三次元計測を導入しているが、予算等の関係から導入に消極的な市町村もあった。ただ、フォトグラメトリによる三次元計測の様子を見てもらうと、いずれの市町村担当者も三次元計測に興味を持ってもらえることが多く、研修等の実施要望も上がった。

そこで、令和元年度に文化財三次元研修を開催したところ、県内 11 市町及び博物館や熊本大学から 31 名の参加があり、フォトグラメトリによる三次元データ作成の基礎を学んだ。研修後、参加した市町村の一部は、コンピューターやソフトウェアを導入し、フォトグラメトリによる三次元計測を始めるところもでてきた。

この三次元研修は令和 2 年度は新型コロナウイルス感染防止のために中止としたが、今年度から再開する。今後は毎年度開催し、市町村担当者の三次元計測に関する情報共有及び技術向上の場としていく予定である。

## (2) データ作成連携体制の構築

市町村の文化財担当者に、三次元データの作成は自分たちでもできる作業だという理解が広がってきた。しかし、公的にコンピューターやソフトウェアの導入ができず、三次元データの作成に取り組むことが難しい市町村もある。この状況を解消するために現在構想しているのが、県・市町村で連携した図のような三次元データ作成体制の構築である。これは、市町村担当者が撮影した写真を使って、コンピューターおよびソフトウェアを保持している自治体がデータ作成を行うというもので、フォトグラメトリによる三次元データの作成は、現地で撮影した写真データがあれば、コンピューターでの解析はどこでも行うことができることを利用したりリモート支援を軸にした体制である。写真撮影は各市町村の担当者に行ってもらうこととなるため、その撮影方法は三次元研修や個別に技術支援を行い、習得してもらうことを目指す。

これにより、三次元データ作成用機器を導入できない市町村においても、三次元データによる現状記録が可能となる。そして、三次元データの有用性と必要性がその自治体内で認知されていけば、機器の調達などが可能になるように内部で調整しやすくなっていくと思われる。その結果、さらに多くの文化財の三次元データ化及び隣接市町村への文化財三次元データ作成の支援にもつながっていくと考えている。

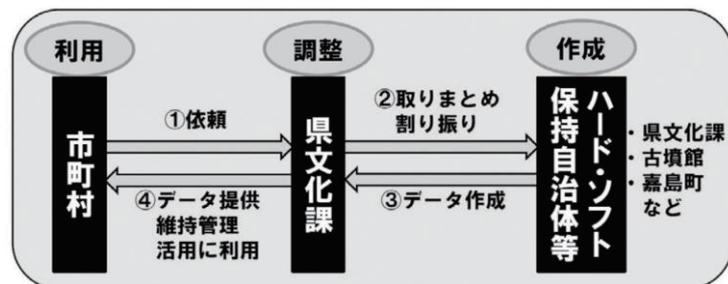


図 市町村と連携した三次元データ作成のイメージ