

2. 京都府立大学文学部考古学研究室における 三次元計測—現状と課題—

菱田哲郎・溝口泰久

1. はじめに

京都府立大学文学部考古学研究室では、写真を用いた測量である Structure from Motion/Multi View Stereo（以下、SfM とする）やレーザースキャナによる三次元計測に積極的に取り組んでいる。SfM（Structure from Motion/Multi View Stereo）とは、解析ソフトによりデジタルカメラで撮影した写真から撮影位置を推定し、立体的な点群データを取得することで計測対象から間接的に 3D モデルを生成する技術である。レーザースキャナは 3D スキャナーの一種で、レーザーを照射することにより計測対象から直接的に形状情報を取得し 3D モデルを生成することができる。これらは、技術の進歩により、近年に長足の進化を遂げた分野であるが、ここでは、簡単にこれまでの取り組みについてまとめておくことにしたい。なお、これまでに公開された成果については表 1 に整理しているので、詳細はそちらを参照いただきたい。

2. 2017 年以前の三次元計測の取り組みの経緯

本研究室での初期の取り組みとしてあげられるのは、2000 年代後半におこなったエジプト西方砂漠ハルガオアシスにおけるアルザヤーン神殿西遺跡の発掘調査である（表 1-①）。この調査は、東京工業大学亀井宏行研究室を中心としたプロジェクトであり、遺跡に対する物理探査の結果を照合するために発掘調査を実施した。調査ではおびただしい量の土器が出土し、その調査を短期間に終える必要があることから、導入したのが（株）クラボウの kuraves という解析ソフトを利用した写真測量である。座標を入れた点を写し込んだ数枚の写真からオルソ画像を作成するというもので、報告書では、その画像をトレースして作成した出土状況図を掲載した。当時、写真の位置合わせを手動でおこなう必要があり、事後（この場合は帰国後）の作業に多くの時間と労力を割くこととなったため、国外の調査以外では定着をみることはなかった。

その後、2011 年に（株）相互技研が ContextCapture という解析ソフトを用いて、高速かつ高精度で写真三次元計測処理をおこなっていることを知り、本学隣接地でおこなわれていた植物園北遺跡の発掘調査現場で試験的に実施した結果、良好な三次元データを得ることができた。このデモ的な調査のうちに、東大阪市の仲林篤史氏も立ち会い、その後も続く協力関係が形作られた。そして、相互技研に業務を委託する形で、写真三次元計測をおこなうことが定着し、たとえば宮津市成相寺の石造物と石垣などについて、オルソ画像を作成し、それを地形測量図に配置する形で利用してきた（表 1-③）。（菱田哲郎）

3. 2018 年度以後の三次元計測の取り組み

本研究室における三次元計測の取り組みにおいて画期となったのは 2018 年度である。文化

遺産コースに 3D スキャナーが導入され¹⁾、SfM についても奈良文化財研究所埋蔵文化財センターの金田明大氏・山口欧志氏や相互技研の内山幹夫氏の協力を得て、デジタルカメラなどの撮影機材や SfM 用の解析ソフトなどを導入し²⁾、環境整備を進めた。合わせてこの年以降は、考古学実習や野外調査において三次元計測について学んだり実践する機会を設けている。また今年度からは、本学 OB の仲林篤史氏、初村武寛氏（元興寺文化財研究所）を文学部共同研究員に迎え、一緒に調査をおこなっており、結果的に学生の計測技術の向上につながっている。

その結果、2017 年度以前の三次元計測は SfM による遺構 3 件（うち学生 0 件）に留まっていたのが、2018 年度以降は公開されているものに限っても SfM が遺構 7 件（うち学生 4 件）、遺物 5 件（うち学生 5 件）、3D スキャナが遺物 6 件（うち学生 3 件）と急増している。委託調査以外にも学生を中心に本研究室が主体的におこなった計測が増えていることも見逃せない。

その内容についてみると、鳥居や石燈籠などの神社の石造物（表 1-⑨）を、SfM を用いて計測することから着手し、和束町坂尻古墳群（表 1-⑪）の測量調査の際には、石室実測図の下図としてオルソ画像を作成している。また、今年度からは埴輪や須恵器などの遺物の計測にも本格的に着手した（表 1-⑯～⑱）。SfM ほどではないが、3D スキャナも同時期から利用しており、銅鐸や石棺といった、比較的大型の遺物の計測に用いてきた（表 1-⑩・⑫）。

4. 現状と課題

様々な研究者の協力のもと、環境整備、考古学実習を通じた学生教育、フィールドにおける実践を一体で進めた結果、SfM による三次元計測については学生のみでも十分可能となったことは大きな成果といえよう。特に、石灯籠などの比較的小型の石造物などを対象とした計測は習熟度も増してきたと思われる。



写真1 スキャナーによる円空仏の計測



写真2 3D プリントした円空仏のレプリカ

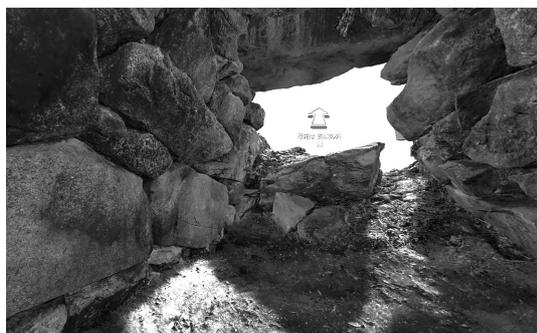


写真3 3D 画像で見るシオ 1 号墳(相互技研作成)

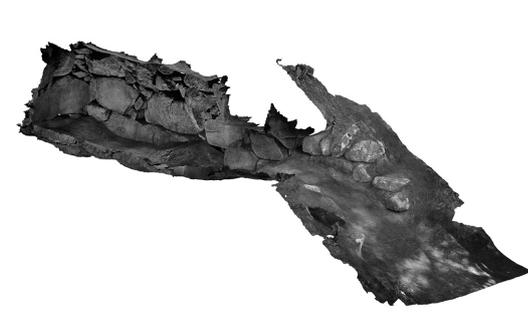


写真4 須田平野古墳の 3D モデル

しかし、今後も計測を続けていく上で課題もある。一つは調査面での課題である。学生の出入りが激しい大学という環境において、三次元計測を継続しておこなうためには、常に技術を伝達し、さらにはアップデートしていく必要があるが、それは容易なことではない。また、遺構の計測に比べると遺物の計測については比較的低調であり、3D スキャナーの運用にも課題を残す。3D スキャナは一般に遺物のような細かな造形物に対して有効とされるが、美浜町伊夜山銅鐸の計測では、細部表現において SfM より 3D スキャナの品質が劣り、機材の性能や特性を理解した上での計測が必要であることが課題として指摘されている（岡田ほか 2020）。精度の高い遺物の計測のためには、今後も計測方法を模索していく必要がある。

もう一つは活用面での課題である。現状、成果の公開方法についてはオルソ画像による紙面での提示がほとんどであり、実測図の代替表現にとどまっている。たとえば土器については、3D モデルから図面をおこすよりも手測りで実測図を作成する方が圧倒的に簡便であり、三次元計測は手測りの難しい遺物や遺構のオルソ画像を作成するためのツールとして利用されることが多い。また、オルソ画像は、実測図の下図としても優れている。坂尻古墳群の調査においても石室実測図の下図にオルソ画像を使用し、本報告にはそれを実地において加筆修正した実測図をトレースして提示した。報告書という紙媒体で報告する以上、三次元情報を取得しても二次元に圧縮して提示するほかないというのが現状である。

そのような中で、過去に作成した三次元データの活用方法にいくつか注目できるものがあるので紹介しておきたい。まず、関市円空館所蔵円空仏（表 1-⑤）であり、3D スキャナーで計測した 3D モデルを 3D プリンターで出力して作成した原寸大レプリカを関市に寄贈している。無人の小堂の本尊として信仰されていることの多い円空仏については、盗難被害が各地で発生しており、文化財保護の観点からも、正確な三次元情報の記録や原寸大レプリカが果たす役割は今後ますます大きなものとなっていだろう。もう一つ、京田辺市シオ 1 号墳（表 1-⑥）の 3D モデルについては、相互技研の協力を得て京田辺市史編さん事業の IT 市史のコンテンツとして京田辺市 HP 上に一般公開されている。これらは三次元データの長所を有効にアウトプットした活用例であるといえよう。

また、SfM には正確な計測のために多量の高画質な写真を必要とし、成果の保管も重要な課題である。写真や計測データなどの膨大な情報を恒久的に管理する体制の構築が求められる。

5. おわりに

今年度より仲林、初村両氏を共同研究員に迎え、三次元計測に関する共同研究に着手した。本書にはその最初の成果として、同一遺物について SfM と 3D スキャナによる三次元計測を実施し、計測精度を比較した論文を取めた。こうした動きに刺激を受けながら、今後も学生ならではの視点で、三次元計測やその成果の活用方法について模索していきたい。（溝口泰久）

註

- 1) 歴史学科文化遺産学コースでは、2018 年度に Artec 3D scanners を導入している。
- 2) 本研究室では SfM にあたって、デジタルカメラは主に Panasonic DC-GX7MK3 を、解析ソフトは Agisoft 社 Metashape を使用している。

表1 京都府立大学文学部歴史学科考古学研究室における三次元計測の取り組み

名称	形態	調査時期	計測主体	計測方法	データの管理	公開方法	文献
① エジプト アルザヤーン神祕西遺跡 土器群出土状況図	遺構	2007-2010年度	考古学研究室	写真測量	研究室	オルソ画像(下図として利用)	1
② 京都府和束町弥勒摩崖仏、金胎寺宝篋印塔	遺構	2014年度	相互技研	SfM	研究室/ 相互技研	オルソ画像(カラー)	2
③ 京都府宮津市成相寺境内石垣	遺構	2015年度	相互技研	SfM	研究室/ 相互技研	オルソ画像	3
④ 大阪府茨木市竜王山忍頂寺旧境内	遺構	2017年度	相互技研	SfM	研究室/ 相互技研	オルソ画像	4
⑤ 岐阜県関市 円空仏 (関市円空館所蔵)	遺物	2018年度	陸地祐輝	3Dスキャナー	研究室	①3D画像 ②3Dプリンターで原寸大レプリカで作成、関市に寄贈	5
⑥ 京都府京田辺市シオ1号墳 横六式石室	遺構	2018年度	相互技研	SfM	研究室/ 相互技研	①オルソ画像 ②3Dモデルのインターネット公開(IT市史)	6 7
⑦ 兵庫県神河町堂屋敷寺2・3次調査 調査区	遺構	2018年度 2019年度	相互技研	SfM	研究室/ 相互技研	オルソ画像	8 9
⑧ 兵庫県神河町堂屋敷寺 周辺大型石材	遺構	2019年度	岡田大雄	SfM	研究室	オルソ画像	10
⑨ 京都府和束町春日神社・和束天満宮 石製鳥居	遺構	2019年度	考古学研究室	SfM	研究室	オルソ画像	11
⑩ 福井県美浜町南伊夜山遺跡 銅鐸 (美浜町歴史文化館所蔵)	遺物	2019年度	岡田大雄・守田悠	SfM/ 3Dスキャナー	研究室	オルソ画像	12
⑪ 京都府和束町坂尻1・2号墳 横六式石室	遺構	2019年度	考古学研究室・仲林篤史	SfM	研究室	オルソ画像	13
⑫ 京都府京田辺市堀切1・11号墳、6号横六墓 石棺 (京田辺市教育委員会所蔵)	遺物	2019年度 2020年度	考古学研究室	SfM/ 3Dスキャナー	研究室	オルソ画像	14 15
⑬ 京都府京丹後市湯舟坂2号墳 双龍環頭大刀 (京丹後市教育委員会所蔵、京都府立丹後郷土資料館寄託)	遺物	2020年度	元興寺文化財研究所	3Dスキャナー	研究室/ 元興寺文	オルソ画像	16 17
⑭ 京都府京丹後市湯舟坂2号墳 横六式石室	遺構	2020年度	相互技研	SfM	研究室/ 相互技研	オルソ画像	18
⑮ 京都府京丹後市須田平野古墳 横六式石室	遺構	2020年度	考古学研究室	SfM	研究室	オルソ画像	18
⑯ 京都府和束町大杉古墳 人物埴輪(個人蔵)	遺物	2021年度	考古学研究室/仲林篤史/ 初村武寛	SfM/ 3Dスキャナー	研究室	オルソ画像	19 20
⑰ 京都府和束町二本一古墳 提瓶(和束町所蔵)	遺物	2021年度	考古学研究室/仲林篤史/ 初村武寛	SfM/ 3Dスキャナー	研究室	オルソ画像	19 20
⑱ 京都府京田辺市興戸寺・三山木廃寺 軒瓦(京田辺市所蔵)	遺物	2021年度	溝口泰久	SfM	研究室	オルソ画像	21

文献出典

- H. Kamei, T. Nakano (eds.) 2012 『EL-ZAYYAN KHARGA OASIS 2007-2010』
- 向井佑介 2015 「和束の宝篋印塔と弥勒摩崖仏の調査」『京都府立大学文化遺産叢書第9集 和束地域の歴史と文化遺産』
- 内山幹夫・菱田哲郎 2016 「成相寺境内におけるデジタルカメラとボールを使った写真測量」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第2号 京都府立大学文学部歴史学科
- 京都府立大学文学部考古学研究室 2019 『竜王山・忍頂寺の調査1』
- 陸地祐輝・小泉朋大 2019 「文化遺産学コースにおける三次元計測技術の導入・活用について」『京都府立大学考古学研究室 フィールド調査集報』第5号 京都府立大学文学部歴史学科
- 京都府立大学文学部考古学研究室 2020 「京田辺市シオ1号墳の調査」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第6号 京都府立大学文学部歴史学科
- 京田辺市ホームページ (<https://www.kyotanabe.jp/0000014859.html>)
- 京都府立大学文学部考古学研究室 2020 『堂屋敷寺発掘調査報告書 附 福本遺跡発掘調査報告』神河町教育委員会
- 京都府立大学文学部考古学研究室 2020 『堂屋敷寺発掘調査報告書 II』神河町教育委員会
- 岡田大雄 2020 「礎石の可能性のある石材の調査」『堂屋敷寺発掘調査報告書 II』神河町教育委員会
- 京都府立大学文学部考古学研究室 2020 「和束東と東天満宮周辺における考古学的調査」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第6号 京都府立大学文学部歴史学科
- 岡田大雄・守田悠 2020 「南伊夜山遺跡出土銅鐸の3次元計測」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第6号 京都府立大学文学部歴史学科
- 京都府立大学文学部考古学研究室 2021 「和束町坂尻古墳群の調査(1)」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第7号 京都府立大学文学部歴史学科
- 田口裕貴・岡田大雄 2020 「京田辺市堀切古墳群の再検討(1)」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第6号 京都府立大学文学部歴史学科
- 岡田大雄・上村緑 2021 「京田辺市堀切古墳群の再検討(2)」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第7号 京都府立大学文学部歴史学科
- 塚本敏夫 2021 「開ける、調べる、閉める—黄金の大刀を遺し・伝える保存科学—」『京都府立大学 ACTR 成果報告会 地域資源としての湯舟坂2号墳 発表資料集』京都府立大学文学部歴史学科考古学研究室
- 諫早直人 2021 「デジタル技術を利用した金工品の実測図作成法試論」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用3—著作権・文化財動画・GIS・三次元データ・電子公開—』奈良文化財研究所
- 岡田大雄 2021 「湯舟坂2号墳ともう一つ横六式石室—須田平野古墳の三次元計測—」『京都府立大学 ACTR 成果報告会 地域資源としての湯舟坂2号墳 発表資料集』京都府立大学文学部歴史学科考古学研究室
- 仲林篤史・溝口泰久 2022 「和束大杉の形象埴輪・須恵器提瓶の三次元写真計測結果」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第8号 京都府立大学文学部歴史学科
- 初村武寛 2022 「和束大杉の形象埴輪・須恵器提瓶の3Dスキャンと出力」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第8号 京都府立大学文学部歴史学科
- 溝口泰久 2022 「京田辺市域の古代瓦」『京都府立大学文学部歴史学科 フィールド調査集報』第8号 京都府立大学文学部歴史学科