

歴史研究における写真測量の応用¹ Applications of Photogrammetry in Historical Studies

岸本 直子² 摂南大学工学部機械工学科

岸本 直文 大阪市立大学大学院文学研究科

KISHIMOTO, Naoko Department of Mechanical Engineerin, Faculty of Science and
Technology, Setsunan University

KISHIMOTO, Naofumi Philosophy and History Course, Graduate School of Literature
and Human Sciences, Osaka City University

Abstract

In recent years, various 3D measurement methods have been used and utilized in the field of engineering and in the field of archaeology that deals with artifacts and ruins. Among them, the SfM-MVS method, which calculates 3D shapes from multiple photographs, is an inexpensive and simple method with high versatility. In this paper, we introduce the procedure of using orthoimages based on inexpensive and simple photographic measurement, which we believe is useful for the survey and preservation activities of local ancient documents and historical artifacts by students and citizens, which have become popular in recent years.

キーワード: 写真計測、3次元計測、歴史研究

Keywords : photogrammetry, SfM-MVS, historical study

1. はじめに

現在, さまざまな3次元形状計測技術が急速に普及しているが, 主として工学分野において開発が進んでいる⁽¹⁾. 一般的に, 可視光や赤外線パターンを投影したり, レーザやレーダを照射したりする能動的計測は, 精度は高いが高価な装置が必要である. また, 計測対象物との距離に応じて投影装置や照射装置が大がかりになる. それに比して, 多数の写真から特徴点マッチングによって写真の撮影位置と対象物の3次元形状を算出する写真計測 (SfM/MVS法, Structure from Motion and Multi-Vision Stereo法) は, 市販の一眼レフカメラを使って写真を撮影すればよいため安価かつ簡便である. 写真画像が得られれば物体の大きさには関係がなく, 解像度の増加や画像処理技術

¹【原稿受付】2021年11月15日, 【掲載決定】2022年1月26日

²【主著者連絡先】岸本 直子 摂南大学, 教授 e-mail: kishimoto@mec.setsunan.ac.jp
〒572-8508 大阪府寝屋川市池田中町 17-8, 摂南大学工学部 機械工学科

の向上によって、今後も精度の向上や計算時間の短縮が期待される。

遺物や遺跡といったモノを扱う考古学分野では、3次元データの取得や活用がかなり一般化している⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。とくに、3次元データそのものの利用に加えて、発掘調査区の図化、古墳の測量図作成、遺物の資料化において、3次元計測データから算出された高精細な正射影画像（以下、オルソ画像）は、従来の実測図のような図面と写真の特性をあわせもつものとして有用である。本解説では、近年盛んになっている学生や市民による地域の古文書や歴史遺物の調査や保存活動においても、安価で簡便な写真計測に基づくオルソ画像の利用が有用であると考え、作業手順について紹介する。

2. 大型の絵図を素材に

歴史遺物から石造物、古民家単体や街並みに至るまで写真さえ撮影できれば、写真計測による3次元形状計測は可能である。許可は必要となるがドローンなどを使うことも有効である。本稿では、写真計測に基づくオルソ画像が有用な例として、大型の絵図を対象に手順を紹介する。絵図や古地図は地域の変遷を知るうえで重要な歴史資料であるが、1mを超えるような大型の絵図について、使用に耐える写真を撮影するには、壁に掛けて横から、あるいは俯瞰で撮影することになる。十分に広い空間や照明が必要となるほか、広角レンズを使用すると画像のひずみも大きくなる。しかし、写真計測技術を用いれば、文書調査に向いた現地で、周囲から手を伸ばせる範囲で撮影した数十枚の斜め写真から、真上から撮影したものと同等の1枚もののオルソ画像を作成できる。

解析ソフトはPix4D社 Pix4Dmapper⁽⁵⁾やAutodesk社 Autodesk ReCap Pro⁽⁶⁾など各種あるが、ここでは筆者らが使用しているAgisoft社 Metashape⁽⁷⁾（旧称 PhotoScan）に沿って説明する。プロフェッショナル版は高価だが、アカデミック版は10万円弱、スタンダード版は2.5万円程度で、いくつかの代理店から購入可能である。Pythonによる自動処理や地図用データの出力等が不要ならスタンダード版で十分である。

2-1. 基本的な手順

大阪市立大学と和泉市教育委員会による調査（2019年9月）の際に試みた和泉市観音寺町の井阪武範氏所蔵の「(久保津戸井) 井内論御絵図」(天地 105.3 cm×幅 178.5 cm) を素材とし、手順について解説する。Panasonic社製 Let's note CF-SZ5（CPU : Core i7-6500U, メモリ : 8GB）を使用した。

撮影 : カメラは、Canon EOS Kiss X7, 3456×2304 ピクセルのJPEG画像で1枚約2.5MBである。室内での撮影で、通常の照明以外のストロボや照明は使用していない。部分写真を、図1のように十分な重なりを取りながら、焦点距離を変えずに撮影する。本例では、焦点距離18ミリで撮影し、撮影枚数は40枚である。

写真のアライン : ソフトを起動し、ワークフローに従って作業を進める。まず撮影した40枚の写真を1組の元データとして読み込み、特徴点マッチングによるアライン作業で粗い点群（タイポイント）と各写真を撮影したときのカメラの位置と向きが算出される。精度

によって処理時間が異なるが、今回の場合、「高」を選択して約 90 秒程度であった。

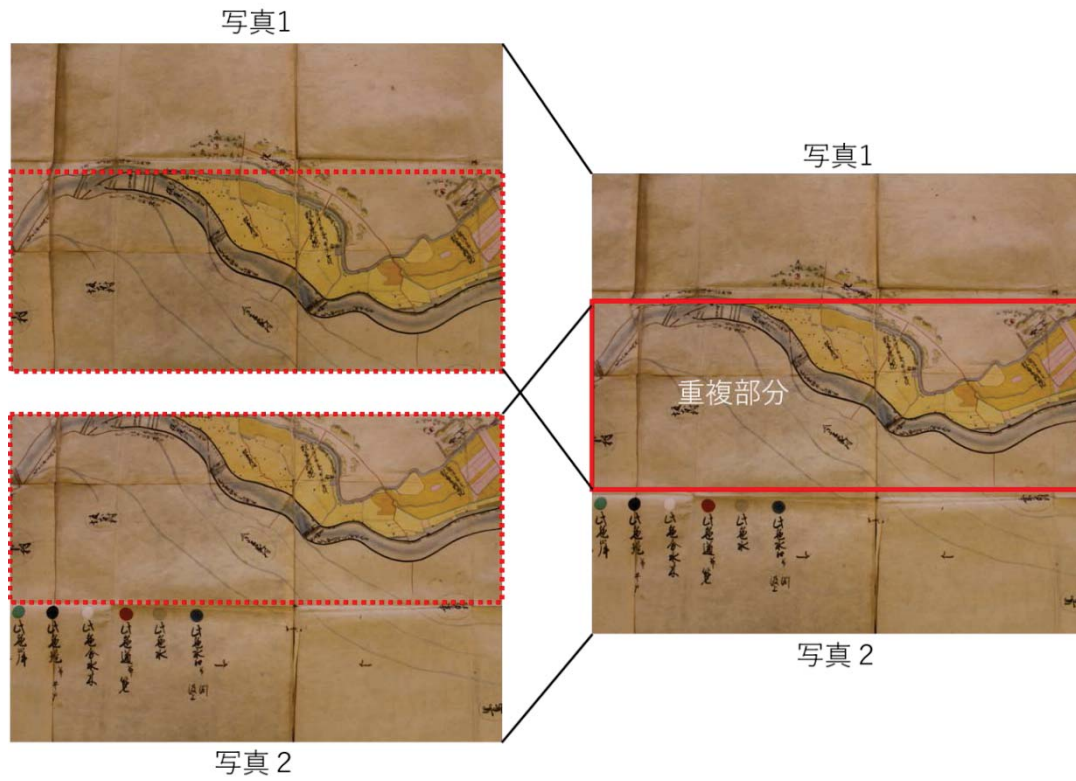


図 1 重複させての撮影



図 2 元の 40 枚の写真（下段）と計算されたカメラの位置・姿勢

画像のピンぼけや重複領域が不十分な場合、アラインされない画像ができ、欠落部が生じる。今回の場合、40枚の画像がすべてアラインされ、生成されたタイポイント数は5,0742点、図2の青い四角で表示されているのはカメラの位置と向きである。

高密度点群データ算出：生成されたタイポイントとカメラの位置・姿勢から、高密度な点群データの3次元位置を算出する。密度によって処理時間が異なるが、今回は「高」を選択し6分40秒程度要した。これにより得られた高密度点群データは、2,112,045点であった。アラインと同様画像の不備があれば欠落部ができる。現地で撮影後、ノートPCで高密度クラウド構築まで処理し、欠落部があれば、追加撮影して補ってやればよい。

メッシュおよびテクスチャー構築：次に高密度点群データをもとにメッシュを構築する。点群データの間引きの具合でメッシュの細かさや処理時間が異なるが、今回「中」を選択し16分50秒程度要した。これにより得られた多角形の面（ポリゴン）は、1,407,469面であった。処理レベル「高」でも処理時間は変わらないが、多角形の面（ポリゴン）は4,220,191面となった。もちろんポリゴン数が増えるほど、実物の形状に近い精細なものとなるが、このデータに基づく後述のオルソ画像の容量も大きくなり、PCのスペックによっては容易に表示できない場合もあるので、オルソ画像の容量設定で調整する。テクスチャー構築で生成されたメッシュに写真を貼り込む。テクスチャーを貼りこんだ3次元モデルを3D PDFで出力することも可能である。

オルソモザイク画像の構築：生成された3次元モデルに対して、座標系を設定することにより、各方向への正射影画像を出力する。絵図の場合は、自動的に水平に配置されるため、座標系をとくに調整する必要はない。処理時間は50秒ほどである。生成されたオルソ画像は、天地7708ピクセル×幅12507ピクセルの画像となり、TIFF画像で出力すると容量は220MBとなった。立体物の場合は、上面・下面・正面・背面・右側面・左側面のうち、必要なオルソ画像をそれぞれ作成する。

2-2. 仕上がったオルソ画像とその有用性

出力されたオルソ画像は、図3に示すように全体として自然な1枚の画像となっている。このような俯瞰図を1枚ものの写真で撮影することは困難である。画像の一部を切り出して示すが、線描や文などを十分に読み取ることができる（図4）。オルソ画像は、1枚ものの写真画像と同等に利用できるが、正射影された画像であるので、ひずみがない。画像各部の比率は同じであり、例えば部分画像を切り出せば、同じ縮尺での比較が可能である。さらに、寸法を入れることで実測図としての意味が付加され、ある縮尺に画像を調整すれば、任意の部位の寸法を計測できる。

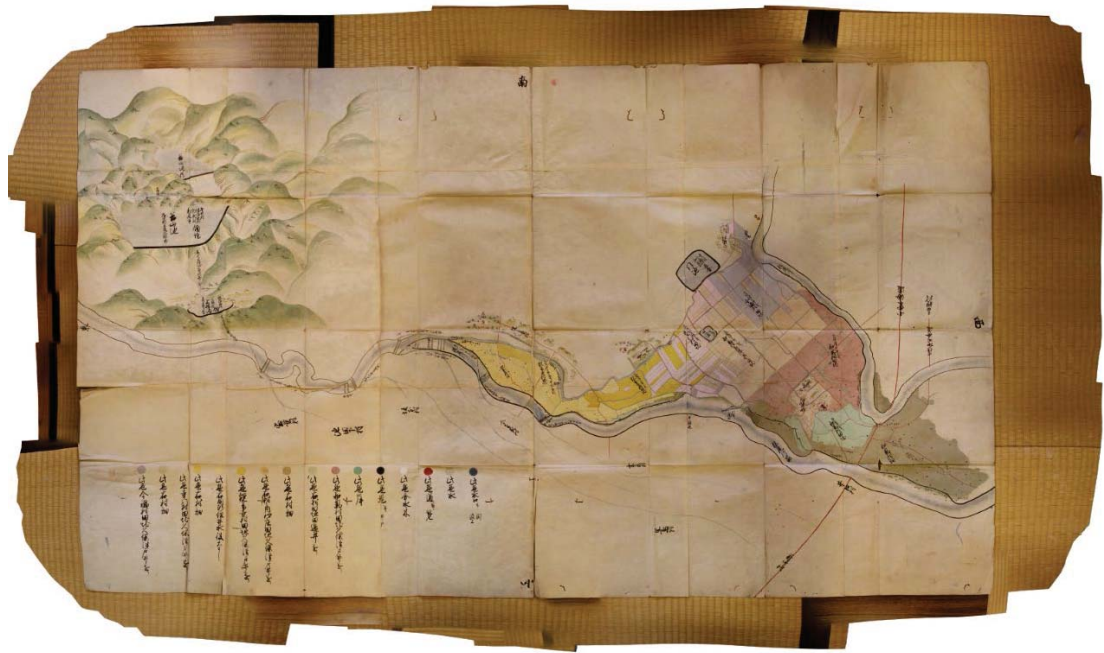


図3 生成されたオルソ画像全体



図4 生成されたオルソ画像の部分拡大

3. その他の事例

前述のように、遺跡の発掘調査においては、オルソ画像から平面図・立面図を作成している。また、発掘調査の場合、完了すると埋め戻してしまうため可能な限り多くの情報を記録として残す必要があるが、平面・立面などの図と、撮影した写真に加えて3次元立体モデルが残ることは非常に有用である。このような視点からほかの事例を取り上げる。

石燈籠：大阪市立大学生活科学部にある石燈籠について、写真計測をおこなった。カメラは、Canon EOS Kiss X7、焦点距離を18ミリとして、57枚撮影した。



(a) オルソ画像

(b) 3次元立体モデル

(c) 通常の写真

図5 石燈籠の事例

図5 (a) にオルソ画像、(b) に計測された3次元立体モデル、(c) 通常の写真を示す。3次元立体モデルができてしまえば、画面上で任意の方向から見た図を作成することができる。また、(a) のオルソ画像は、実測図として使用することができる。

この事例では、高い位置から見下ろす写真が十分でなく、3次元立体モデルに欠損が生じている(丸印)。立体物の場合、あらゆる方向から画像が必要となり、全周からはもちろん、下からの見上げ画像、高い位置からの見下ろし画像を撮影し、穴が生じないようにしなければならない。必然的に、平面的な絵図よりも多くの画像を撮影する必要がある。

大阪城の石垣：2021年1月16, 17日に内堀本丸西側と南外堀二ノ丸側の写真撮影を行った。カメラは、Canon EOS Kiss X7, 焦点距離を35ミリとし、移動しながら撮影し、同じ撮影位置では、地上にカメラを近づけたローアングルからと、手を上げての高い位置からの2カットを撮影した。精度の高い座標値の算出には、カメラキャリブレーションや座標値が既知の評定点の利用などいくつかの方法があるが、今回は本丸500分の1平面図を利用し、内堀本丸西側についてのみオルソ画像を作成した(図6(a))。3264×2448ピクセルの写真101枚から高密度点群データを生成し、出力されたオルソ画像は1.17GBとなった。長方形の領域枠を拡大した図を示す(図6(b))。これを見ると、約100分の1とした画像でも、石材の輪郭は十分シャープで、これを下図にトレースも可能である。オルソ画像の解像度は想像以上に高精細で、刻印や矢穴、表面の調整痕もよく見える。約20分の1にした拡大画像も示しておく(図6(c))。「山」に○の刻印は、帳場割図から山崎家治のものと思われる。

石垣の図面としては、従来の線描の立面図がなお求められることが多いが、オルソ画像を下図にしてもトレースとなると、膨大な作業量となる。しかし3次元データにもとづく立体モデルは、対象物の立体的情報すべてを含み、平面図や立面図といった2次元図を描く意味は薄らいでいる。オルソ画像は図面と同等の形状を示し、かつ写真のもつ質感をもあわせもつ。線描による立面図が利用しやすいことは事実であるが、オルソ画像はそのままでも十分に詳細な図面として利用可能である。

ただし、陰刻や調整痕の凹凸は、あくまで貼り込んだ写真のもつ画像によるものである。膨大な点群データで石材の形状・凹凸をとらえるレーザ計測に対して、写真計測による3次元形状の凹凸の精度は別途確認する必要がある。

4. おわりに

本稿は、工学分野や考古学分野で一般化している写真計測の手法が、地域における歴史資料の調査においても役立つと考え、その手法を紹介するものである。事例として、大きな絵図や石燈籠、大阪城の石垣を素材に、写真撮影から立体化、オルソ画像の取得まで解説した。どのように活用するかにもよるが、得られたオルソ画像は、われわれが通常用いる図面レベルの精度は十分にもっていると思われる。もちろんレーザ計測など他の3次元計測法は、技術として確立しており、計測精度では優れているが、少なくない経費を要する。この点で、写真を撮影するだけで予算を要しない写真計測は、市民や学生が手掛ける歴史資料の資料化の上できわめて有効であると思われる。

計測精度の点でも、より高精細な写真を使えば、レーザ計測に迫ることも可能と考えられる。ただし、容量の大きく多数の写真を解析するには、大容量メモリや高性能GPUをもつPCが必要となること、算出された高精細なオルソ画像がむやみに大容量となり取り扱いが難しくなること、が課題として挙げられる。使用するPCに合わせて領域を分割して撮影、解析し、必要に応じて接合するなどの工夫が必要である。

以上、歴史調査における写真計測の手順と活用について解説した。興味のある方は、身近な対象物について試行し、資料調査において応用してもらいたい。



図6 大阪城内堀西側の石垣

参考文献

- (1) 岩佐貴史, 樋口健, 岸本直子, 「大型高精度宇宙構造物のための高解像表面形状計測」, 日本航空宇宙学会誌, 第 67 卷, 第 11 号, (2019), pp.1-7.
- (2) 金田明大, 木本挙周, 川口武彦, 佐々木淑美, 三井猛, 「文化財のための三次元計測」, 岩田書院 (2010)
- (3) 城倉正祥, 「デジタル技術でせまる人物埴輪 九十九里の古墳と出土遺物」, 吉川弘文館 (2017)
- (4) 早川裕式, 「3 次元デジタル技術の地形学・考古学への応用」, 精密工学会誌, Vol.85, No.3, (2019), pp.243-246.
- (5) <https://www.pix4d.com/jp/product/pix4dmapper-photogrammetry-software>, (2021 年 11 月 15 日閲覧)
- (6) <https://www.autodesk.co.jp/products/recap/overview>, (2021 年 11 月 15 日閲覧)
- (7) <https://www.agisoft.com/>, (2021 年 11 月 15 日閲覧)