

デジタル写真による文化遺産の3D記録作成

白 杵 勲

要 約

近年、さまざまな分野で導入が行われている3D記録は、文化遺産においても、非破壊での形状記録作成や情報の管理・活用面で有効である。本稿では、その方法の一つであるデジタル写真を用いた3D計測法を取り上げ、コスト面や活用面等におけるその有効性と、記録作成の際の留意点を検討した。その結果、撮影位置・角度や死角の軽減を考慮し、適切な撮影計画を立てることにより、詳細で精度の高い3Dモデルを記録でき、文化遺産の記録として優れていることを確認した。そのため、今後、3D記録作成と3次元デジタルアーカイブの構築が普及していくことが予想される。

キーワード：3D記録、文化遺産、デジタルアーカイブ

はじめに

コンピュータ・映像機器等の発達により、情報メディアにも大きな変化が起きている。動画やCG等が、スマートフォンなどの身近な機器で簡単に閲覧が可能となり、発信される情報も多様化している。その中で、3次元的に情報を体感できる方法も一般的になってきた。例えば、モノを画面の中で動かしながら方向を変えて観察したり、地図を動かして、建物や丘陵などの地形を、視点を変えながら鳥瞰図として観察したりすることが、簡単に可能になってきたのである。3次元の（以下3Dと略）な動きのある映像をみるだけでなく、専用のディスプレイや眼鏡を用いて、実際に立体的に映像を見ることは家庭でも可能になった。また、市販のカメラにも3D画像を撮影することができる機種が現れている。

3D画像のメリットは、従来写真・図面・動画などで平面的に示された情報を、実物に近い立体で体感できるところにある。そのため、映画やゲームなどの娯楽的な用途での普及が、注目されている。しかし、画像や記録等の3D情報のメリットは、娯楽性のみあるわけではない。現実土木・建築、医療等の多くの分野で、3D記録は重要な役割を果たしている。例えば、断層画像であるMRIやCTスキャンを重ね合わせることで、人体や文化財の内部の様子を立体的に把

握できるのも3D記録の活用法の一つである。最近では、住宅の間取りや眺望を3Dで示すことが不動産業界では一般的となっている。東北地方太平洋沖地震等の災害記録を3Dで行い、災害の実態把握や復興計画のための資料とすることも行われている(津留 2012、椎橋 2012)。3D記録は、すでに実用的に使用される段階にはいつている。

本来、立体物が多い文化遺産¹も、当然立体として記録することが望ましいのは言うまでもない。総じて3D記録のメリットとしては以下の点が挙げられよう。

1. 2次元では表現しきれない対象の特徴や構造を詳しく記録することが可能となる。
2. ビューワーなどを用いて視点を移動させながら対象を見ることが可能となる。
3. 断面作成や光源の変化を自由に行える。
4. バーチャル・リアリティ (VR) など、活用の幅が広がる。

このような利点を考慮して、すでに3D情報を管理する文化遺産デジタルアーカイブの構築や具体的な方法についても検討が進んでおり(池内・大石 2010)、特に、文化遺産の記録保存や劣化の把握・管理などへの貢献が大きいことが期待されている。

従来、文化遺産の分野で3D記録が十分に活用されてこなかった理由は、技術的・経費的な問題があったからに他ならない。写真測量や3Dスキャナーなどで、3D情報を得ることは可能ではあったが、機材や委託料などのコストが高く、しかもそれを表現する方法も印刷物などの紙媒体化、モニター画面上など2次元的なものに限られていた。また、だれでも自由に計測が可能ではなく、専門的な技術者が必要であった。しかし、近年では3D計測を行う機材やソフトウェアについても低価格化が進み、比較的入手しやすいものとなってきた。また、使用方法も従来のものより簡便化し、特殊な専門技術が無くても扱うことが可能である。文化遺産の専門家が自らの手で様々な対象の3D記録をとり、活用する時代になってきたといえよう。そこで、本稿では、3D計測の方法の一つであるデジタル写真を用いた3Dモデル作成法・写真測量を用いて、文化遺産の記録としての有効性や、記録手法の留意点を検討したい。

1. 写真測量と3Dスキャナーによる記録化

まず、代表的な3D記録化の方法である写真測量と3Dスキャニングについて解説しておこう。もっとも古くから立体物や地形の記録を取る方法として利用されてきたのは、写真による測量・計測法である。写真測量は、19世紀中ごろにフランスのロスダールにより開発・実用化が行われ、気球からの空中写真による市街図の作成に用いられた(津留・村井 2011p.4)。また、19世紀末にジョージ・イーストマンにより写真用ロールフィルムが発明され、20世紀前半に普及が進み、航空機とともに地図作成のための空中撮影にも活用されるようになった。写真測量の理論・

技術も進化し、ステレオ写真・空中三角測量を利用したアナログ図化器も開発され、写真測量は地図作成の主体となっていった。日本でも、戦前から軍用地図の作成に利用され、戦後の米軍の撮影した航空写真の公開とともに、写真測量による国土地図作成が本格化していった（松野 1968p.31）。写真測量では、地図座標上の平面位置に加え高さも測定できるため、等高線による地形図作成も可能となったのである。さらに、建物や地形を地上写真から測量する、地上写真測量も応用が広がっていった。

文化遺産の記録法に写真測量の利用が試みられるようになったのは、昭和30年代からである。空中写真測量を用いた平城宮跡の1/1000地形図作成は、その初期の一例である。また、地上写真の近接測量による鎌倉大仏の計測など、彫刻などの計測にも用いられるようになり、奈良国立文化財研究所を中心に、文化財への応用が研究され、発掘遺構、建造物、庭園などの様々な文化遺産への応用が進んだ（坪井 1999p.118-120、中田 2005a～c、飛鳥資料館 1997）。写真測量の利点は、記録作業の時間を短縮化できること、撮影写真を保存することで再計測が可能となることである。また、非接触で記録が行われるため対象の破損なども生じない。そのため、表現が複雑な彫刻や、開発に伴う大規模な発掘調査の記録作成に広く普及していくこととなった（図1）。

写真測量の技術の進化とともに、その応用範囲にも変化が生じている。文化遺産への導入初期の段階では写真測量を行うために、特殊な専用ステレオカメラ・解析図化器等の高価な機材が必要とされ、またそれらの機材を扱うための技術者が必要であった（図2）。そのため、図化作業は測量業者に委託して行うのが一般的であった。しかし、1990年代のコンピュータの普及・高機能化、スキャナー・デジタルカメラの普及とともに、記録写真もアナログ写真からデジタル画像の利用へと変化し、測量に必要な標定やステレオモデルの作成、さらに図化もコンピュータ上でデジタルデータを扱うようになる。また、近接測量であれば市販のコンパクトカメラでも写真測量を行うことが可能となった（津留・

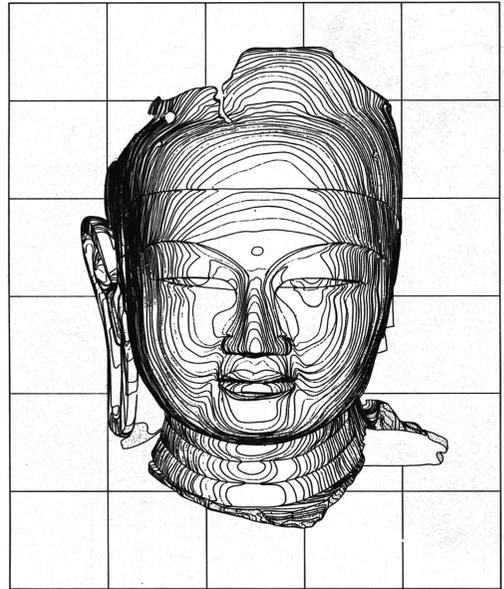


図1 写真測量による仏像の正面図（興福寺仏頭）
（飛鳥資料館1997 p.45より）

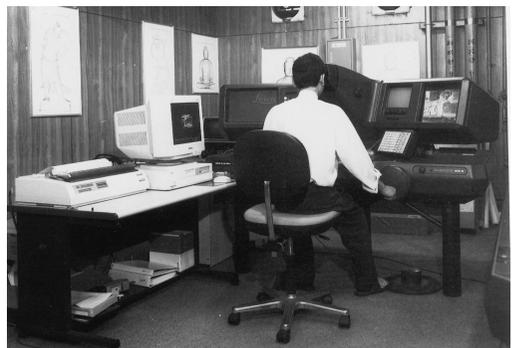


図2 解析図化器（飛鳥資料館1997 p.41より）

村井 2011 p.6、中野 2012)。こうして撮影・図化機材については、購入が容易になったものの、最近まで写真測量のソフトウェアの価格は数百万円程度したため、文系大学等の研究者にはまだ導入の敷居は高かった。しかし、ここ数年でソフトウェアについても数十万円程度の価格の製品が現れ、研究者が自ら写真測量を行うことも可能な範囲となってきたのである²。カメラを含めても100万円以内の価格で購入できるので、低価格の機種でも100万円程度となる測量用のトータルステーションと比較しても、導入の容易さは増している。図3は、筆者の研究室で使用している写真測量用の機材一式であり、他にトータルステーションなどの測量機器は併用するが、必要な機器はこれだけである。また、トレーニングを行えば学生でもソフトを利用して写真測量が行えるほど扱いやすい。さらに、デジタル化の利点の一つとして、測量結果を3次元座標上の多数の点群で得ることが可能となった点が挙げられる。そのため、CADなどのソフトウェアへのデータ書き出しも容易となり、立体モデルの作成や、3D動画の作成も可能になった。従来の写真測量では、彫刻などの起伏も等高線で表現するよりなかったが、鳥瞰図や立体画像の作成も容易化し、さらにPDFファイルやビューワーにより、モニター上で3Dモデルを動かしながら見ることも可能となり、活用の幅が広がったのである。



図3 臼杵研究室 写真測量用機材
(PC、Imagemaster Photo、EOS7D)

3D記録を得るもう一つの方法として、近年注目されているのが、3Dスキャナーによる計測である。3D計測機は、主に産業部門において1960年代から機械部品などの測定用に開発・実用化されてきた。産業用測定器は据え付け型で、 μm 単位の精度を持つものである。当初のバーニヤで計測する方式から、プローブと呼ばれる球状のセンサーを接触させる方式、アームを用いた可搬性のある測定器、さらにレーザー光・カメラを用いた非接触式の測定器が開発されてきた(村岡 2010)。非接触の測定器の中で、移動可能で比較的広い範囲を計測する機種が開発され、3Dスキャナーと呼ばれるようになった。これにより、3D測定の対象範囲が広がり、多くの作業に活用が可能になった。3Dスキャナーは、レーザー光やスリット光を用いて対象点を計測する機器である。大量の点の位置を計測することで表面形状を記録することが可能となる。そのため、1秒間に数千点を記録することが可能な機種もあり、広い範囲を高速に計測可能で、写真測量以上に作業が効率化できる。100m以上の長距離を計測できる機材と、1m前後の近距離を計測するものに大別され、前者は測量、後者は機械部品や美術品等の計測に用いられることが多い³。また、写真撮影と同様に航空機に搭載し計測できる機材もある。長距離型は、災害現場などが容易に近づけない場所でも計測が可能である。またいずれも非接触で計測が行われ、計測も短時間ですむので、壊れやすい対象についても応用可能であり、利用のメリットは大きい。

文化遺産への応用については欧米の対応が早く、イギリスでは、2007年に文化遺産のためのレーザースキニングの実用的なガイドブックが発行された。現在は第2版が公表され（English Heritage 2011）、3D記録の使用に関するガイドラインも整備されるなど実用的な対応が始められている。また、日本においても2010年に公刊された『発掘調査の手引き－集落遺跡発掘編－』において、「3次元レーザー測量」が解説されている（文化庁文化財部記念物課 2010 p.239-240）。すでに、実際に長距離型を用いて多くの遺跡や史跡の測量に用いられており、最近では軍艦島の計測や（西村他 2012）、モンゴルの都市遺跡の計測など（正司他 2014）、多くの成果があげられている。航空測量においても長距離型によるレーザー測量の基準が、2008年に公共測量の規定細則にも含められ、公共測量として認知され、遺跡の測量などに航空レーザー測量が行われる機会も増えていくものと思われる。また、短距離型についても考古遺物・彫刻・モザイク・化石などの計測に用いられており（金田他 2010）、今後もレーザー計測が普及していくことは間違いない。

3Dスキャナーの短所は、計測機材が高額であることである。長距離型の場合にはほとんどの機種が1台1千万円以上であり、低価格の機種でも約500万円である。メンテナンスなども含めると、購入時に最低でも700万円程度の予算が必要である。レンタルの場合も一月で100万円以上の価格となる。3Dスキャナーはすでに多くの測量業者で導入されており目新しいものではないが、大学等の研究者や地方自治体等の文化財担当部局には、まだまだ導入の敷居は高い。一方、短距離型も数百万円程度の価格が一般的であるが、中には約50万円程度の機種も現れ、利用者も増加しつつある（金田他 2010）。最近、数万円で購入できる機種が登場したことが話題を呼んでいる⁴。ただし、数万円の機種はスキャン範囲が狭く小型品のスキャンのみ可能であり、精度もやや劣るため、ホビー用製品としての位置付けとなり、まだ文化財の計測用としては問題がある。しかし、長距離型で200万円程度、短距離型で30万円程度の価格で、実用的な高精度機器の購入が可能になれば、現行のトータルステーションなどの測量機材とくらべても価格差が少なくなり、文化遺産への活用はさらに進んでいくと思われる⁵。ここ数年で機器の低価格化が進んでおり、数年後であればあながち非現実的な予想ではない。

また、多くの3Dスキャナーで得られる情報は計測した点群の空間位置であり、色彩情報は取れないか、あるいはやや質が劣る情報に限られる場合が多い。そのため、色彩情報が必要な場合は、別にカメラにより対象を撮影し、3Dモデル作成後に画像を貼り付けるという手間が必要となる点も、短所となる。ただし、3Dスキャナーとカメラを連動させることのできる機種やカメラを装備した機種もあり、将来的には問題は軽減されていくであろう。

以上のように、現状では写真測量と3Dスキャナーが、3D記録の主流である。そして、文化遺産の分野では経費・機材の面で容易に導入可能な記録方法としては、現在のところデジタル写真測量が優れている。機材等のコストがあまりにも高い場合には、3D計測を行うためには学術ないしは行政の大型プロジェクトに関わらなくてはいけないが、一方でそれらと関わりなく

の場所で3D計測を行いたいという意向が存在するはずであり、デジタル写真による計測はこのようなニーズに合致している。また、3Dモデルに色情報を付設する場合にも、映像の質や手間・扱いやすさなどから見て写真測量の方に分があることも確かである。多くの文化遺産では、色彩も不可欠な情報であり、この点では写真測量の方が相性がよい。建造物など、ある程度の高さがある対象については高所撮影が必要になる。従来は移動式足場や高所作業車を使用することが多いが、当然経費と手間が必要であった。そのためラジコンのマルチコプターなどを用いた簡便な高所計測法も開発されており、カメラの搭載についてはすでに実用段階にあるが、搭載が可能な軽量の3Dスキャナーは存在しない。3Dスキャナーの無人機への搭載も試行されているが、大型のラジコンヘリやGPSの搭載などが必要となるため、経費は足場以上に高いものになっている⁶。複雑な対象に対しては3Dスキャンが3D記録化の主流になっていくことが考えられるが、多くの点で写真によるモデル作成のメリットも大きい。カメラ・ソフトのコストが3Dスキャナーと比較して大幅に低く、その傾向もしばらくは継続することを考慮すると、3D記録法として今後より普及が進むものとする。

また、それぞれの文化遺産の特徴を的確にとらえて計測を行い、表現するためには、それぞれの分野の専門家が記録化を行うのがもっとも効率的である。従来の2次元的な測量図・実測図面の作成も建築史・考古学・民具学・庭園史などの専門家たちが自ら記録を行ってきた。アナログ写真測量においては計測・図化に専門的技術が必要であったため、技術者が仕上げた測量成果を、各専門家が校正を行うことで適正な図面に修正してきたが、その作業に多くの労力を割かれた。しかし、デジタル写真測量については、ソフトウェアを準備すれば、各専門家が自らデータ取得の時点から作業を行うことができる。しかし、写真測量に関する概説書や技術書は、理論面や基本的な方法については解説されているが、実際に多様な対象に対してどのような部分に注意して計測を実行していくかが詳細に説明されているわけではない。また、写真による3Dスキャナーといえる3Dモデル作成ソフトについても、当然、遺跡や建造物などの文化遺産に対する方法が特に詳述されているわけではなく、文化遺産の専門家が自らノウハウを確立していくことが必要である。そこで本稿では実際に文化遺産に対してデジタル写真計測を試行してみることにより、その有用性や留意点を検証し、文化遺産の3D記録化を普及させる一助としてみたい。ただし、遺跡等の大規模な対象は高所からの航空測量が一般的である。これには特殊な機材・技術が必要であり、本稿では、低高度を含む近接撮影によるデジタル写真測量・計測・3Dモデル作成について考察する。

なお、3Dモデルの作成には以下の行程が行われる（池内・大石 p.8-12）。

1. データ取得（距離と画像：写真測量の場合は画像のみ）
2. 位置合わせ（異なる位置から取得した複数のデータの座標系の統一）
3. 統合（位置を合わせた複数のデータの統合）
4. テクスチャリング（色情報を載せる）

5. 色彩合わせ（光源条件の統一）

この中で、本稿が主に扱うのは1～3であり、色彩情報の扱い方については別に検討したい。

2. 対象に応じたデジタル写真計測・3D記録化の活用法

デジタル写真計測を用いる最大の利点は、作業の効率化といえる。複雑な立体や、規模の大きな対象は、従来の図面による記録では長時間の作業が必要とされた。例えば仏像などの彫刻や、考古学的な遺物・遺構、建造物などがそれらの代表的な例である。記録図面（実測図や測量図）は、平行投影という方法で立体を平面上に平面に垂直に投影して写したものである。対象が幾何学的な形状や、模様のないもの、構造が単純なものであれば、作図はそう難しいものではない。例えば円柱を真横から投影して記録すると、長方形を図面上に描くこととなる。建造物の図面は上前後左右を投影した5面を描いて、全体の形状や構造を示すことが多い。建物の設計図と同様であるが、実測は実際の建物から、設計図を作成するという逆方向の作業ともいえる。

ただし、対象の立体物の表面形状が曲面あるいは凹凸が多い場合には、正射投影では模様や構造が図面上では実際の長さとは異なって記録されることとなり、眼球で中心投影を行っている肉眼での見え方とは若干印象が異なるものとなる。しかも、縄文土器の火炎式土器や仏像などの彫刻のように複雑な形状のものを、定規やメジャーなどを用いて正射投影により記録するのはきわめて困難である。また、大規模な建造物や遺跡などは記録量が多く、人間が手作業で計測・記録する作業には長時間を要するのである。以下では、そのような手間を効果的に軽減できると考えられる対象物を選択して、デジタル写真計測を実行し、その有効性や使用上の問題点を抽出してみたい。

（1）建造物の3D記録化

立体物の文化遺産の代表が建造物である。しかし大型のもの、構造の複雑なもの、装飾性が高いものは、手作業による記録化が難しい。また、平面図や立面図などから実際の建物を想起するためには、ある程度の専門知識が必要になる。そのため、不動産販売の場などでは、建物の説明のために、最近では間取り図に加えて、3DCGや3Dプリンターを用いた模型が利用されるようになってきた。建造物は代表的な有形文化財であり、その3D記録化が容易になれば、経年劣化の確認、模型作成、CGを用いた普及教育、研究など、その保存活用にも大きく寄与できる。

そこで、建造物として神社社殿の記録化を試みた。対象としたのは置戸町に所在する勝山神社社殿である。勝山神社は大正元年に八幡神社として創祀され、昭和29年に宗教法人勝山神社として本社本庁に申請設立、平成12年に社殿が増改築された。社殿は、平入りの入母屋造りであり、建物全体は井桁上の土台の上におかれている。扉のある梁間中央に階段が取り付くが、そこをお

おうように前面に庇（向拝）を延ばしている。向拝を支えるための柱が2本、階の前面に置かれる。両者は頭貫で繋がれ、その上に組物・丸桁を配置し、庇屋根を支えている。組物は、柱上に皿斗・平三斗、頭貫中央に装飾的な曇股を置き、その上に丸桁を置いている。頭貫の両端は木鼻で装飾され、梁にも雲形の彫り物が施されるなど、凝った造りの建物であり、地域の文化遺産として記録する価値を有している。

そこで建物正面の形状把握を目的に、正面壁・柱・土台部分に基準点をトータルステーションで設置し、撮影を行った。写真測量の基準にしたがい、60%以上のオーバーラップ⁷があるように、約10mの距離を置いて、約3mずつ横に移動しながら正面写真を3枚撮影した。撮影は、キャノン社の一眼レフカメラEOS7Dと20mm単焦点レンズEF-20によって行った。写真測量ソフトには、トプコン社のImage Master Photo ver2.7を使用した。このソフトでは、タイポイントの評定・バンドル調整後に3Dモデルが作成される。撮影後、正面左側から2枚ずつのステレオペアを設定し、評定と3Dモデル作成を行った。しかし、最初のペアから形状把握が正確に行われず、モデルを作成できた部分は全体の一部にとどまり、形状にも大きな歪みが生じた（図4）。この理由として、対象の奥行きを考慮せず写真撮影を行った点が挙げられる。向拝部分の柱が前に突出しているため、後ろの壁の撮影部分と柱の位置関係が、撮影位置により大きくずれ、柱による死角部分の位置も個々の写真により大きく異なるため、イメージマッチングがなされない部分が多くなった。そのため、ステレオペアとしてうまく合致せず、モデルが形成できない部分も増えてしまったと考えられる。また、前の柱と後ろの壁がつながってモデルが形成された部分も見られた。Image Master Photoは精密な測量ソフトであり、撮影画像に、上記のような不都合が生じて

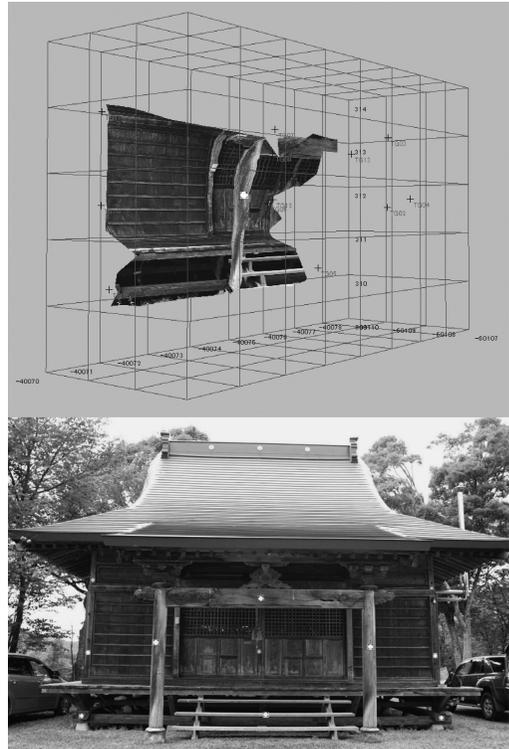


図4 勝山神社社殿3Dモデルと実物

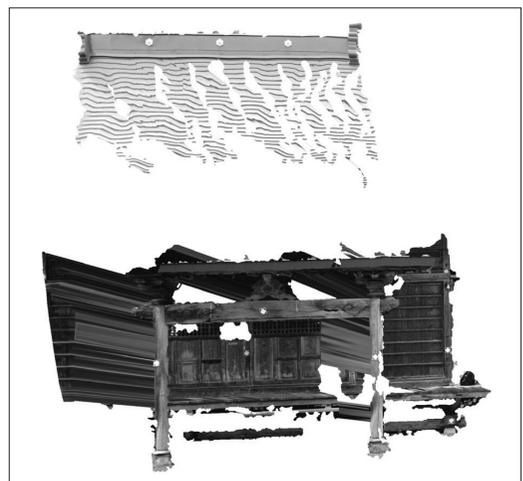


図5 StereoScanによる3Dモデル

いる場合は正確なモデル形成ができない。

そこで、社殿中央と右側の連続する画像を利用して、簡便な3Dモデル作成ソフトとして Agisoft社から無料で提供されている StereoScanで3Dモデルを作成した(図5)。やはり、死角部分に由来する歪みやモデル未形成部分が生じているが、中央扉付近や向拝の頭貫部分については若干良好なモデルが得られた。さらに、フジフィルムの3DカメラFinePix Real3D w3で撮影したマルチピクチャーフォーマットファイルを用いて木造建築の3Dモデルを作成してみたが、やはり死角部分の存在から良好な結果が得られず、きわめて歪みの大きいモデルが作成できたにすぎない。

以上の結果から、建造物のように奥行きがあり、付属物も多い対象については、死角が生じないように部分写真を複数撮影し、それらを重ねあわせて全体のモデルを形成することが必要であることを確認できた。建造物は比較的大型の対象であるため、地形測量と同様な感覚で、全体を取り込むようなステレオペアを想定し、撮影を行ったが、複雑な形状をモデル化するためには、多くの部分撮影を重ね合わせて、全体の3Dモデル作成を行うことが必要であり、細かくステレオペアを設定する撮影計画を綿密に立てる必要がある。

今回、同時に撮影した社殿の死角の少ない部分写真から、やはりStereoScanを用いて建物正面・側面の一部のモデル化を試みたが、こちらは予想どおり比較的良好な結果が得られた(図6)。StereoScanでは、複数の3Dデータの重ね合わせができないが、このような個々のモデルを結合させることにより全体の3Dモデルを作成できる見通しは得られた。

このソフトは、3DS、OBJ、U3Dなどの3Dデータの書き出しが可能であり、それらを合成することで、立体データを完成させることも可能である。

次に、鉄筋コンクリート建物を対象としてみた。撮影したのは札幌学院大学の1号館建物正面である。ここでは窓の部分の計測を、9点の評定点を設定し、座標値ではなく点間距離を用いて Image Master Photoにより3Dモデル作成を行った。デジタル写真測量の欠点として、均質な色合いの対象物にはイメージマッチングが正確にできない点があげられている(津留・村井 2011 p.64)。鉄筋コンクリート建物の場合、外面が単色や類似パターンで塗装されることも多いため、どちらかといえば写真測量には向かない条件が多い。今回の試行でも、大体の形状は計測できて

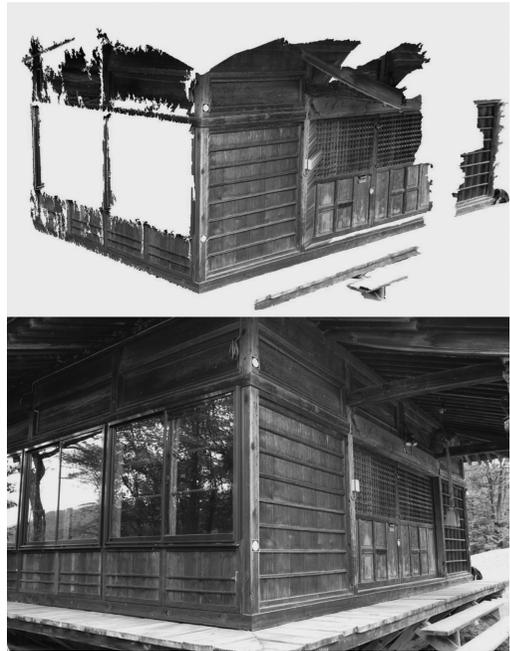


図6 社殿正面・側面の3Dモデルと実物

いるが、特に窓周囲の単色部分については平らな表面が曲面状になり、全体も波状になり表面のモデル形成が正確になされていない(図7)。次に同じ建物を、FinePix Real3D w3で撮影したマルチピクチャーフォーマットファイルを用いてStereoScanで3Dモデル作成を行ったが、イメージマッチングが建物外壁部分で正確に行われず、全体が大きくゆがむ結果になった。

以上のように、今回の事例では、建造物のステレオ写真計測には留意すべき点が多いことが確認できた。立体物をデジタル写真計測する場合には、小刻みに全周計測することが必要とされており、例えば後述するAutodesk社の123Dcatchでは、20枚以上の全周撮影、ステレオペアが作成しやすいように2枚1組を意識することが推奨されている。構造が複雑な建造物については、部分を細かく撮影しながら、全周撮影していくことが必要であろう。さらに実験事例を増やし、様々な建造物を対象にして、モデル作成のノウハウを検討する必要がある。

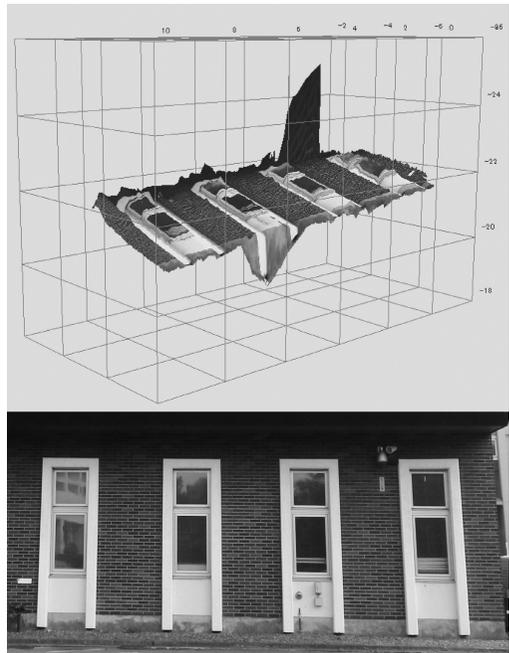


図7 1号館建物窓部分の3Dモデルと実物

図7 1号館建物窓部分の3Dモデルと実物

(2) 小規模庭園の3D計測

デジタル写真測量の利点は、必ずしも平行撮影の必要がなく、市販のデジタルカメラの単一撮影を連続させてステレオペアを作成できるところにある。つまり、通常のカメラによる手持ち撮影を連続させて、計測が可能である。庭園の石組など小規模ではあるが複雑なもの、あるいは石敷きのように細かい単位が密集する煩雑なものは、通常の実測方法では作図が困難であるが、写真画像を用いることで、大幅に効率化を図ることが可能と思われる。

そこで、次に庭園の配石の記録化を試行してみた。通常、測量成果として用いられる図面の主体となるのは、真上から投影した平面図である。手作業による作図の場合は、トータルステーションを用いて作図に必要な点の座標を計測して作図する方法や、基準となる糸を水平に基盤の目状に配置しそれらの糸からの距離を測ることにより記録・作図するオフセット測量が行われる。オフセット測量の場合、高さについてはレベルを用いて別に計測し、それを図に書き込み記入する。オフセット測量は、対象自体に高低差があり起伏に富む場合、水平あるいは直角に距離を計測するのが困難であり、作業には熟練を要する。また、石組などは測量のために糸を張るのが難しい場合も多い。そこでトータルステーションを用いて作図点の座標を計測する方法も用いられ

る。この方法は計測精度が高く、水平座標と高さも同時に計測できるという利点はあるが、細かい石敷などでは計測点数が多くなり、作業が煩雑となる。また、いずれの方法でも、対象に大きな起伏がある場合には、横方向から見た立面図の作成が必要になるが、これも平面図とは別に齟齬が生じないように作図する必要があり、作業はさらに煩雑となる。しかし、デジタル写真測量の場合には、水平座標と高さが合わされた3D記録となるため、作図後に立面や断面の作成も可能となり、平面図と立面図を別々に作成する必要もなくなる。

測量は、トータルステーションで基準点を設置し、配石部分をオーバーラップ・サイドラップさせながら、ステレオペアを設定し撮影した。垂直に近づけるように撮影位置を決めたが、石の上方のややカメラ寄り位置からの撮影となったため、高さのある石の後部に死角が生じていた。そのため、裏側の一部が解析しきれず、裏側の地面と石の上部が直接つながる形で立体モデルが形成されていた。また石の接地部分についても死角が生じ解析できず、石の接地点よりやや高い部分に直接つながるように面が形成された。また石周囲の接地部分にも若干未撮影部分が存在したため、石の裾部分の地面形状にやや狂いが生じている。しかし、水平面に正射投影したオルソ画像⁸の作成は問題なく、平面図はその画像をト

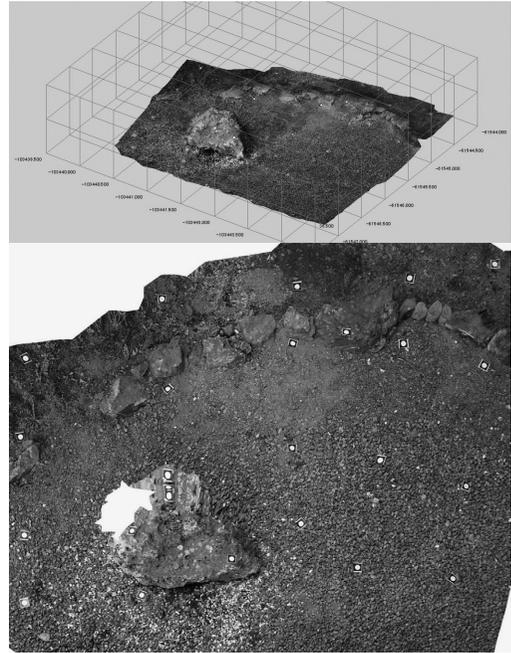


図8 庭園3Dモデル俯瞰とオルソ画像

レースすることにより簡単に作成できる（図8）。また、高度についても、撮影部分については問題なく計測されており、断面図の作成も容易であった。立面図については、真上に近い位置から垂直に撮影した画像を用いたため、側面は画像が流れてしまいそのままトレースするのは難しい。しかし、やや斜め位置から石の横の部分撮影した画像を参考にするすることで、概ね形状を知ることができた。

デジタル写真測量では、必ずしも垂直方向からの画像を撮影する必要が無いので、石組などの立体物については逆に立面を意識した記録を作成するために、斜め方向から側面の画像を撮影し、さらに死角の生じやすい周囲を確実に撮影しておくことが必要であることが確認できた。従来の写真測量では、平面図を重視するため垂直撮影が基本であり、デジタル写真測量でも同じ感覚で撮影位置を決めていたが、3D記録作成も意識すると、立体物の場合には死角が生じないように、上方斜め位置から周囲を撮影するなどの配慮が必要である。

(3) 発掘遺構の計測

すでに述べたように埋蔵文化財の調査に写真測量は早い段階から応用されてきた。特に考古学で重視される記録が遺構の平面図である。日本の場合は、石造建造物のような立体構造を持つ遺構がそう多くはないので、水平面に投影する平面的な記録が、最も遺構の特徴を表現しやすい。そして平面図は地図と同じ性格の図面であり、地図作成の方法をそのまま応用できたことも、早くから応用されてきた理由の一つであろう。しかし、遺跡で行われる写真測量は、従来航空機からの空中測量が主体であり、数千平米以上の広い面積を対象とすることが普通であり、真上からのステレオ撮影が原則であった。航空機を用いない場合にも足場等で高い位置にステレオ写真器を設置する方法が取られていた。しかしデジタル写真測量は、斜め位置からの撮影も可能で、かつ単独撮影を連続させることで測量が可能なため、小規模の遺跡や個々の遺構についての測量が効果的に行える可能性が高い。そこで、タイプの異なる発掘調査遺構の3D計測を実施し、その有効性を検証した。

岩盤内住居址 最初の例は、ロシア沿海地方エリザベトフカ1遺跡の住居址の計測である。この遺跡の住居址は丘陵上の岩盤に掘りこまれており、壁面や床面が露出した岩盤で、傾斜もあるため、通常の平面図実測の作図が難しく、かつ平面図では遺構の形状も把握しにくい。3Dモデルによる記録はその点で効果的と考えられた。発掘面積は50㎡弱である。用いた機材はEOS7Dと20mm単焦点レンズEF-20、写真測量ソフトはトプコン社のImage Master Photo ver2.7である。基準点設置後、長さ約5mの1脚上にカメラを設置し、連結したモニターで撮影範囲を確認しながら、幅3mほどの範囲を画像が60%重なるように連続撮影し、発掘区全体をカバーするように撮影した。撮影は3時間程度で終了した。次に、ソフトにより、撮影画像から連続的にステレオペアを形成して、評定・モデル作成を行い、それらを重ね合わせて、発掘区全体の3Dモデルを形成することができた。以上の3Dモデル作成作業も4時間程度で終了し、全体でほぼ1日分の作業である。また、基準の糸張りや手作業での実測作業と比べると、明らかに効率化が進んだ。堅穴住居や土坑などの比較的単純な構造の遺構にはもちろんであるが、今回のような岩盤や石敷きのような複雑な表現が必要な遺構には、特に効果的である。撮影自体は厳密に垂直撮影ではなくてもモデル作成ができ、むしろ死角を減らしてモデルを作成するためにはやや斜め位置からの撮影の方が効果的である。写真測量自体考古学的記録方法としての有効性がすでに認められているが、近接撮影によるデジタル写真測量についても、同様であろう。しかもカメラとソフトがあれば特に大がかりな機材を必要としない点で従来の写真測量以上に導入しやすくなっている。今回、平面図は、3Dモデルから生成したオルソ画像をトレースすることで作成し、さらに高低差を表現するため5cmの等高線も3Dモデルから作成し両者を重ね合わせた(図9)。遺構・地盤の高さを示すエレベーション図の作成もソフト上で行い、現場での作業が不要であった。以上の作業は、条件設定するだけで自動的に行えるため、現場での作業量が大きく軽減できる。今回は、土層断面図は別に手作業で作成したが、これも写真測量で作成は可能である。

城壁土塁・門址 次に、やや立体的な遺構の3Dモデル形成を行った。対象はモンゴルの中世城郭都市チントルゴイ遺跡の城門部分である。ここでも当初写真測量を行なう予定で、基準点を設置して撮影した。Image Master Photoでは3Dモデル作成の前にレンズキャリブレーションが必要であるが、ズームコンパクトカメラでは、ズームの動きが影響しレンズキャリブレーションができない機種がある。残念ながら、使用したカメラがこの種のものであることが撮影後に判明し、うまくモデルの作成ができなかった。そこで同じ画像を使用して、Stereo Scanでモデル作成を試みた。このソフトでは座標に整合させた正確な計測はできないが、若干の撮影位置のズレでも3Dモデルが形成でき、レンズキャリブレーションも不要なため、カメラの機種や、撮影画像の組み合わせにさほど配慮を必要としない。一般的な写真測量の場合は、ステレオペアの画像のオーバーラップとサイドラップの確保のため、計測部分は画像の一部に限られるため、写真撮影を計画的に配置する必要があるし、さらに基準点・タイポイントもステレオペアの双方に配置しなくてはいけないので、その分手間がかかる。しかし、このソフトでは特に計画を立てなくとも、移動しながら連続的に撮影するだけで、3Dモデルの作成は行える。さらに、様々な形式の3Dモデルに書き出しが可能であり、CADソフトなどでの修正も行える。簡便に3Dモデルを作成するだけなら、十分な機能を有している。この例では、概ね良好な3Dモデルが形成できたが、撮影を日差しの強い中で行ったため、壁際の影の部分については、適正にモデルを作成できなかった。写真測量・計測全般に言えることであるが、強い影のできない状態での撮影を心がける必要がある（図10）。

石敷遺構 次にモンゴル国ズーンバイダルガ遺跡の比較的起伏が少く方形に一面に石敷きがなされている遺構の3Dモデル作成を行った。約5mの高さから基線長を約1mと短くして撮影

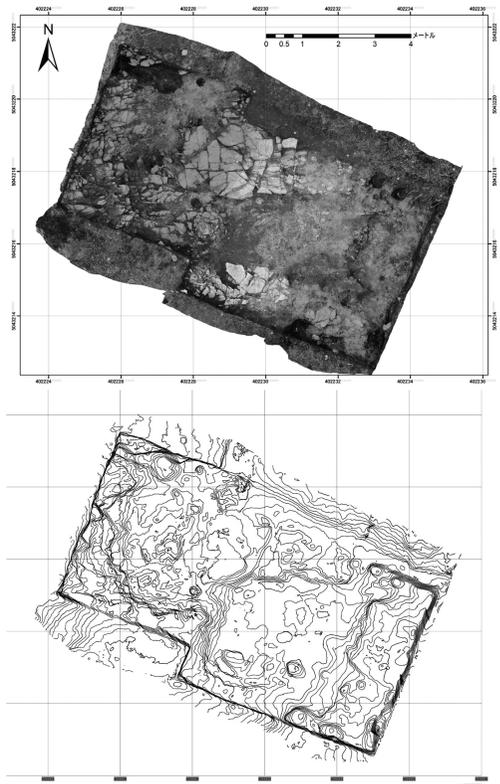


図9 住居址のオルソ画像と自動作成された等高線

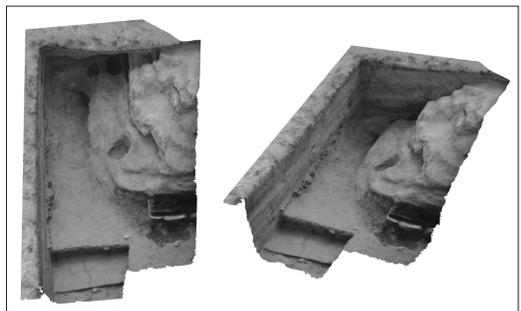


図10 門址の3Dモデルによる平面と俯瞰画像

した2枚の全景写真を用いて、StereoScanによりモデルを作成した。比較的上からの死角が少ない画像のため、良好にモデル作成が行われた。当初、Image Master Photoによる計測を試みた画像であるが、オーバーラップに問題があり、良好な結果が得られなかったが、Stereo Scanでは大きな問題が生じず、3Dモデルが作成できた。このソフトは、画像の画素を利用してステレオマッチングを行うので、厳密にオーバーラップやサイドラップを設定しなくてもモデル作成が可能である。この3Dモデルを各種の3DファイルやPDFファイルとして書き出すことにより、モデルの回転や断面作成も可能になる(図11)。また、基準点や長さを示すメジャーなどを同時に写しこんでおくことにより、位置あわせや、長さ計測も可能になる。このように起伏が少なく、死角も生じにくい遺構については、俯瞰写真による3Dモデル計測はきわめて有効であることが確認できた。位置合わせを行い正射投影画像を作成すれば、座標に合致させた平面図・立面図の作成も可能である。

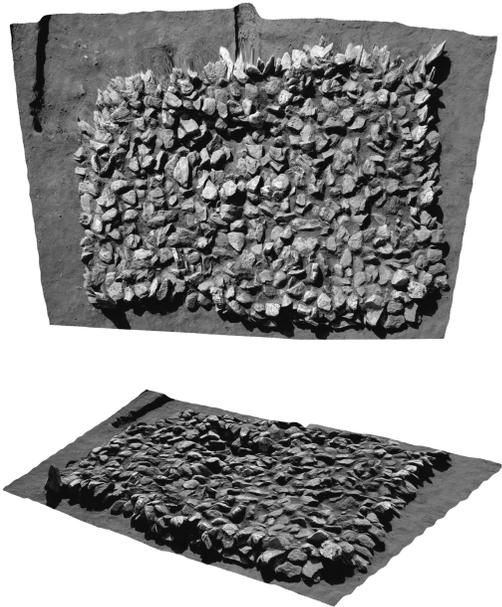


図11 石敷き遺構のオルソ画像と俯瞰画像

以上のように、発掘遺構に対して、写真計測が極めて有効であることが確認できた。写真測量自体は、すでに早くから導入されその効果が認められているが、3D計測は従来の平面図作成以上の効果をもたらしている。一つは、遺構に関する理解がより容易になる点である。平面図や立面図を見て遺構を理解するにはある程度の訓練が必要であるが、それでも立体形状を詳細に知ることは難しい。しかし、3DデータはViewerやソフトを用いれば、簡単に立体形状を、特に訓練の必要なく知ることが可能となる。そのため、3D計測は、研究においても教育普及においても、従来の図面作成以上に、成果の活用の幅を広げることが可能となるのである。

本章では、特徴が異なる対象に対する3D計測の利用に関する留意点や有効性の検討を行った。建造物のような立体的事物に対しては、綿密な撮影計画の検討が必要であることが確認できたが、いずれの対象についても3D計測が、作業の効率化や、対象の理解にとって有効性の高いことは確認できた。

なお、今回使用したソフトはいずれも3Dモデルの作成が可能であるが、そのスタンスは若干異なっている。Image Master Photoは従来の写真測量の方法を継承しながら、デジタル化に対応したソフトであり、方法や成果も写真測量にのっとっており、ステレオペアを平面的に連

続させながら、全体を測量する方法がとられる。また、計測成果をOBJなどの3Dモデルファイルに出力することも可能ではあるが、むしろCADソフトなどに出力し、平面図・立面図を作成するのが用途としては一般的である。一方、StereoScanは、写真を用いた3Dスキャナーという位置付けである。このソフトは入門編ともいべき無料ソフトであり、ステレオペア1組を扱うのみで座標入力機能も無いため、正確な計測はできない。しかし、有償の上位ソフトであるPhotoScanにおいては、複数のペアを同時に扱いながら3Dモデルを作成でき、座標入力も行えるので、正確な3Dモデルの作成が可能となる⁸。そのため、写真測量と同様な計測成果も得られるが、むしろ立体的な事物の3Dモデル作成を主たる目的とし、成果もOBJ、U3D、PDFなどの3Dモデルファイルに出力することが一般的であろう。最近では、3Dプリンターの標準的形式であるSTLファイルとして出力し、3Dプリントを行うことも、一般化しつつある。

いずれにしても3D計測の成果を様々な形で活用するためには、従来の二次元的な成果以外の利用も可能な形に、データ変換を可能にすることが必要である。

3. 123D catchによる3Dモデル作製

最近、CADソフトの定番であるAutoCADを製作・販売するAutodesk社が無料で提供する123D catchは、web、PCソフト、APPアプリにおいて、写真による3Dモデル作成を行うサービスであり、3Dプリンターでの出力も可能である。精度、計測機能、座標値入力などの点で詳細な記録はできないが、対象の特徴をカラーの3D画像で明瞭にとらえることができ、様々な活用も可能である。デジタル写真計測の可能性を示すよい例である。以下のホームページから使用・導入が可能となる (<http://www.123dapp.com/catch>)。Autodesk社では他にも123Dの名称で統一した3Dモデリングやデザインを行うソフトを提供し、3Dの普及に努めている。これらの123Dソフト群は、3Dプリンターなどの3D機器の普及に合わせて公開されたものと思われ、3Dプリンターによるモノづくりに簡単に用いることができる。3D化の普及をすでに見すえた動きといえよう。

123D catchは、立体物を全周撮影し、それらの画像から、複数のステレオペアを作り、それぞれの3Dモデルを合成して、全体の3D立体モデルを作製するソフトである。画素そのものにより合成の判別を行うため、写真測量のように基準点を移しこむ必要が無い。レンズ収差の補正には、画像の撮影条件を記したExifデータが用いられるので、特にレンズキャリブレーションの必要が無く、デジカメや携帯の画像であれば問題なく3Dモデルが作製できる。ただし、座標を合わせる機能などは無く、計測機能は無い。この点ではStereoScanと同様な機能であるが、有償のPhotoScanと同様に、立体モデルまで作製できる点は、StereoScanより優れている。また、PC版のダウンロードソフトと、web上でのオンライン版、さらにiPadやiPhoneのアプリが用意されている。iPad・iPhone版を用いれば、撮影した画像を用いて3Dモデルが作製可能であり、

カメラすら必要なくなる。データの処理と3Dモデルの作成は、すべてAutodesk社のサーバー側で行われるため、ネットの接続さえ確保できれば、機器の処理能力は特に問題にならない。ただし、データの送付や処理に一定の時間がかかるため、Wi-Fi接続が無い場合などは注意が必要であろう。なお、オンライン版では簡単なデータ編集も可能であり、不要な部分の削除もできる。また、モデルを見るだけなら、ソフトのビューワーで、モデルを自由に動かし形状を観察することができる。生成された3Dデータは、STLファイルやOBJファイルとして書き出すことにより、編集や3Dプリントが可能になる。

123D catchの作成する3Dモデルは、精度や計測機能の面で、詳細な記録としては実用性に問題があるが、簡便に3Dモデルを作成しそれを第三者に提示出来る点、従来高額なソフトウェアを用いて行った作業が、無料かつ特に訓練も必要とせずに行える点で優れている。

計測結果は上記したように、3Dファイルとしても出力が可能であるが、残念ながら写真画像を貼り付けた形での出力ができないため、実物に近い形でデータを見るためには、専用ソフトやwebブラウザを用いるか、3Dソフトにより自分で画像貼り付けの設定を行う必要がある。しかし、専用ソフトやブラウザをそのまま利用することでも、博物館展示などに活用できることは間違いない。また、3Dプリンターを利用することで簡単な模型の作成も可能である。

以下は、粘土製の狛犬と、煉瓦積の仏塔を123D catchで3Dモデル化したものであるが、写真画像を貼り付けた状態では、いずれもよく特徴はとらえられており、実物の理解には有効である(図12)。下はそれぞれを3Dプリンターで打ち出した例である。実物よりもかなり小さくモデルが作成されているため、詳細な特徴は表現しきれていないが、プリントの設定を変更し、やや拡大して打ち出せば、より分かりやすい模型が作成可能と思われる。正確な計測という点を省いても、このソフトウェアには有用な点が多い。

モデル作成の際の注意点としては、光の当たり具合が一樣で色調が大きく変わらない、あるいは影ができないことなどに、注意する必要がある。影や色調の変化により、うまく画像の組み合わせができず、モデル作成ができない場合もある。狛犬の場合も、光源の位置をあまり考慮せず撮影した画像を用いた場合は、暗い側の画像がモデル作成に使用不可となった。また、対象に関して、死角が生じないように細かく撮影を

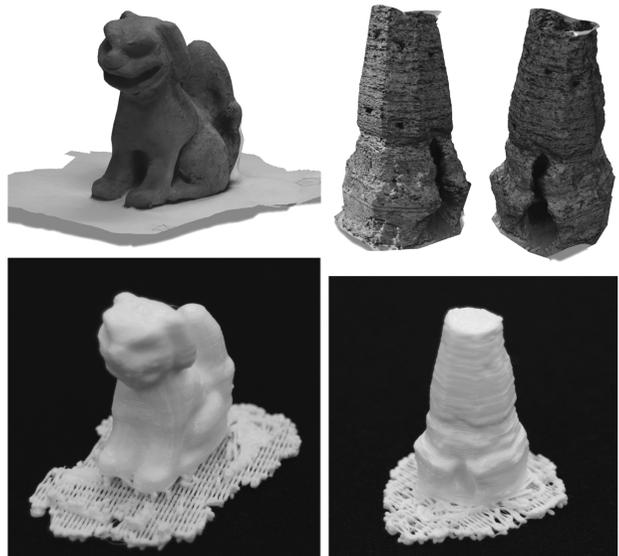


図12 粘土製狛犬と仏塔の3Dモデルとプリント

しておくことが必要である。小型の対象物に対しても、20枚程度の画像を撮影し、まんべんなく画像を準備するのが望ましい。例えば、対象の上面のモデルを作成するために、側面とは別に上部についても、高い位置で周囲から数枚撮影しておく、上面に間隙が生ぜず、モデルが形成できる。これまでの実験結果では、少し多すぎると感じるくらいに撮影した方が良好な結果が得られた。屋内での撮影の場合は対象の周囲に、マークなどの目印を置くことで、モデル形成が容易になる。また、光量が少なく暗い部分や、反射する部分についてはモデル作成ができないため、影が多いあるいは光沢面を持つ対象については、照明を工夫する必要がある。特に、野外の対象物の場合は撮影時間を考慮する必要がある、太陽光が低い位置からとなる早朝や午後遅い時間は、影ができやすいため向いていない。周囲に樹木や建物など影ができる事物が存在する場合も、問題が多い。さらに、一般的な写真測量と同様に、均質な色合いの対象についても計測が難しく、単色のビルの平らな表面が波打ってモデル形成されるなどの現象も生じる。

以上のようなソフトの特性を考慮すると、モデル作成については、良好なデータがとりやすい対象を選択し、撮影も計画的に行い死角や不足部分をへらし、照明や光量にも留意することで、良好なデータが確実に得られることになる。データそのものは、クラウドに保管されるが、多くの人々に公開することも可能であり、多様な活用が期待できる。3Dモデル作成の入門としての使用も有益であろう。

おわりに

写真を用いた3D記録の方法を紹介し、その際の留意点を検討してきた。作成された3Dモデルが、記録やその活用面で有効性であるのは十分に検証できた。良質な記録作成のためには写真の質が決定的な要素になる。死角や影などについて十分に考慮し、必要な画質が確保され、撮りもらしが無いように綿密に撮影計画をたてることが不可欠である。

文化遺産を立体として記録化することは、現実世界と同様な形状で記録するという点で有用であり、効率性という面からも今後不可欠なものとなっていくだろう。ただし文化遺産には様々な種類があり、それぞれの特性により記録の方法も変えていく必要があることは当然である。戦場跡のような史跡や天の橋立のような自然名勝など、大規模な対象は従来からの航空測量などを用いることが効果的である。また、ピラミッドのような大規模な建造物や、寺院伽藍や書院などの構造が複雑な建造物については、死角や光源の問題から写真を用いるより3Dスキャナーを用いる方が効率的であろう。

しかし、写真を用いた計測・モデル形成には専用のソフトウェアが必要であるものの、デジカメ普及後は機材等のコストが下がり、ソフトウェア自体も価格が下落しているため、近接撮影で対応可能な対象に対しては、3Dスキャナーよりコスト面で大きく優位にあり、多くの場所での導入が可能である。また、文中で述べたように写真からモデルを作成するために、写真自体のモ

デルへの貼り付けも同時に行えるため、色や細部などを実物に近い形で再現できるという利点がある。今後も様々な対象に対して、写真計測・モデル作成の可能性を検証していくことで、応用の可能性を広げていくことができると考える。

3Dモデルは記録としての重要性に加えて、動画やビューワーなどで動きのある形で対象を表現することができ、VR (Virtual Reality: 仮想現実) やAR (Augmented Reality: 拡張現実) という形での加工・提示も可能である。そのため、不動産の場合には、現地に行かなくても内容のある程度の実感を持って知ることができる。また、美術品などの動産の場合でも、静的な従来の実物展示に、3Dモデルの展示を付加することで様々な視点からの観察が可能となり、展示品のよりよい理解に貢献することが可能となる。これからの文化遺産の記録化と活用には、不可欠の存在となると予想され、今後も新たな方法や留意点を様々な視点から検討していきたい。

本稿の作成にあたり、下記の参考文献の他に1990年前後に使用された奈良国立文化財研究所埋蔵文化財センター埋蔵文化財担当者講習資料『文化財の写真測量』、日本写真測量学会デジタル写真測量講習資料『デジカメを使って形を測ろう～デジタル写真測量入門～』を参考にした。また、金田明大氏、木口裕史氏、正司哲朗氏からは多くのご教示をいただいた。文末に記して御礼申し上げる。

本稿は平成24年度札幌学院大学研究促進奨励金「ステレオ写真を用いた不動産文化財の記録作成法の検討」(課題番号SGU-S12-202002-04)による成果である。

参考文献

- 飛鳥資料館 1997 『遺跡を測る』飛鳥資料館図録第30冊
 池内克史・大石岳史 2010 『3次元デジタルアーカイブ』 東京大学出版会
 金田明大・木本拳周・川口武彦・佐々木淑美・三井猛 2010 『文化財のための三次元計測』 岩田書院
 小林和夫 2004 「写真測量における三次元画像計測」『日本写真学会誌』67巻5号 p.463-472
 齊藤和也 2012 「レーザー計測が測量を変える」『写真測量とリモートセンシング』50周年記念号(日本写真測量学会50年のあゆみ－技術の取り組みから見た50年) p.111-114
 椎橋信幸 2012 「東日本大震災と空間情報取得技術」『先端測量技術』103号 p.1
 正司哲朗・村上智美・豊島佳澄 2014 『モンゴル国における大型城郭都市のデジタルアーカイブ2013』 奈良大学
 関根 清 1972 「地理学分野の地上写真測量について」『立正大学文学部論叢』44号 p.33-49
 坪井清足 1999 『考古ボーイの70年－研究と行政のはざまに』 プレーンセンター
 津留宏介 2012 「東日本大震災への写真測量分野の活動記録」『写真測量とリモートセンシング』vol.51 no.2 p.4-37
 津留宏介・村井俊治 2011 『デジタル写真測量の基礎～デジカメで3次元測定をするには～』 日本写真測量協会
 徳田義孝 2009 「地上型レーザースキャナーによる文化財への活動事例」『先端測量技術』99号 p.64-70
 中田ひとみ 2005a 「地上写真測量の応用技術 速く、正確に文化財を記録することに挑んだものたち(上)」『月刊測量』2005年10月号p.30-33
 中田ひとみ 2005b 「地上写真測量の応用技術 速く、正確に文化財を記録することに挑んだものたち(中)」『月刊測量』2005年11月号p.38-41

- 中田ひとみ 2005c 「地上写真測量の応用技術 速く、正確に文化財を記録することに挑んだものたち(下)」『月刊測量』2005年12月号p.12-15
- 中野一也 2010 「高級測量機器としての小型カメラ」『写真測量とリモートセンシング』50周年記念号(日本写真測量学会50年のあゆみ-技術の取り組みから見た50年) p.87-90
- 西村正三・原健司・木本啓介・松田浩 2012 「3Dレーザ・デジタル画像を用いた軍艦島計測と損傷図作成-3D点群のレンダリング・ひび割れ描画支援システム」『写真測量とリモートセンシング』vol.51 no.2 p.46-53
- 松野久也 1968 「写真地質の役割とその技術開発」『地質ニュース』N0.166 p.31-33
- 村岡芳和 2010 「接触/非接触座標計測の動向と素材材の計測事例」『月刊素材材』Vol.51 No.5, p.27-34
- 文化庁文化財部記念物課 2010 『発掘調査の手引き -集落遺跡発掘編-』
- 柳 秀治 2010 「近接写真測量」『写真測量とリモートセンシング』50周年記念号(日本写真測量学会50年のあゆみ-技術の取り組みから見た50年) p.99-102
(英文)
- English Heritage 2011 “3D Laser Scanning for Heritage(second edition)”

註

- 1 文化遺産には有形（建造物・遺跡等）と無形（音楽・演劇等）があるが、本稿で述べる「文化遺産」の範囲は有形に限っている。また、世界文化遺産では対象が建造物・遺跡など不動産的なものに限られるが、ここでは美術工芸品・考古遺物などの動産的なものも含んでいる。日本の文化財保護法の区分では有形文化財・史跡・名勝・埋蔵文化財・伝統的建造物群保存地区などが含まれよう。もちろん無形遺産でも演技や演奏などを3D動画で記録保存することも、今後検討が必要であろう。
- 2 (財) 日本写真測量協会の努力とトプコン社の協力により、協会が主催するデジタル写真測量講習の受講者に特別価格でのソフトの購入が可能になるなど、入手しやすい環境が形成されつつある。その他にも、50万円前後の価格で同様な機能を持つソフトも見られる。
- 3 長距離型ではReagle社、Leica社、トプコン社などの測量機器会社で製品化されており、比較的廉価なものとしてFaro社やStonex社の製品がある。短距離型では、コニカミノルタ社、Artec社、Creaform社、Nextengine社などの多くの製品がある。
- 4 3Dsystem社のSence 3Dは6万円を切る価格で国内でも販売されている。その他にもMakerBot Digitizer、Photon 3D Scanner、Rubicon 3Dなど10万円前後の低価格3Dスキャナーが購入可能であり、3Dプリンターの低価格化と普及に合わせて、普及しつつある。
- 5 新たな方法を導入する場合、最先端技術を志向してしまいがちであるが、予算が限られている大学や自治体の文化財部局ではその結果コスト面で折り合いがつかない場合が多い。3D計測技術は、すでに測量・計測分野で実用性が検証されており、コスト面で導入しやすいものであれば、必ずしも最先端技術を用いなくとも、熟成された方法で十分な成果が得られるはずである。
- 6 機材の操作や位置の確認などに付属の機材が必要であり、スキャナーそれ自体も軽いもので数キロあるので、全体としてはそれなりに重量がかさむ。カメラの場合はwi-fi機能を持ちリモート操作も可能な機種が増えており、15～20m程度の高度の撮影を特に付属機材なしで行うこともできる。足場と同程度の高度は得られるので限られた面積内での近接撮影であれば十分な高度であろう。
- 7 平行撮影の場合はステレオペアの写真は60%重複させ（オーバーラップ）、隣接コースとは30%重複させて（サイドラップ）撮影するのが、航空写真測量の標準である。近接撮影の場合にも同様な配慮で撮影していく。
- 8 写真撮影の際に生じる歪みを修正した正射投影画像であり、撮影対象の形状・配置が正しく記録された画像である。

3D Measurement and Documentation of Cultural Heritages using Digital Photography

USUKI Isao

Abstract

3D documentation, which has been introduced in various fields in recent years, is effective for the management and utilization of cultural heritages. This paper focuses on 3D measurement using digital photography as the non-destructive method, examines its effectiveness from the point of view of its cost and utilization, and considers matters that require attention for making documentation. As a result, by taking into account of the reduction of blind spots, the proper photographing position and angle, and making the appropriate shooting plan, it is possible to record the accurate and effective 3D model and information to the documentation of cultural heritage. Therefore, unquestionably, the 3D digital archives and 3D documentation will spread further in the future.

Keywords: 3D documentation, cultural heritages, digital archives

(うすき いさお 札幌学院大学人文学部教授)