

〔報告〕 尾高鮮之助撮影バーミヤーン西大仏の写真による 三次元空間画像の作成

二神 葉子

1. はじめに

文化財はその一つ一つが過去の人々の営為の証左として唯一無二の存在であり、それらを次の世代に引き継ぐことは現在生きている私たちの責務である。しかし、文化財を含めあらゆるものは時間の経過とともにその姿を徐々に変えていく。また、地震や洪水などの自然災害、火災などの人為的な災害により短時間に大きな損傷を被ることもある。さらには、特定の集団に属する人々の貴重な財産である文化財であることを理由として、意図的に破壊され、時には永久に失われてしまうことも少なくない。

そのような理由により見た目に変化したり、あるいは失われたりした文化財に関する情報、特に形や色などの視覚的な情報は、文字のみで伝達することは不可能である。視覚的な情報は、かつては精密な絵画により記録されたが、主観が入ってしまうことは否めない。その後、写真の技術が発明され実用化されてからは、より多くの情報が記録されるようになった。写真は比較的安価かつ容易に色や形を客観的・機械的に記録できる手段であるが、記録できるのは撮影者の位置と相対する面であって、撮影時とは異なる角度から対象物を観察することはできない。これらに対して、近年ではレーザーを用いた計測により三次元的な形状を記録する手法も活用されており、計算機を用いて三次元データを作成すれば画面上で、あるいはそれから作成可能な立体模型を用いて任意の角度での対象物の観察が可能となる。しかし、三次元レーザー計測のための専用スキャナはかつての数百万～数千万円という価格からは安価となってきてはいるものの、本格的な機器は依然として高価である。また、計測の際の機器の設置・設定処理の困難さと、成果物である物体の表面の三次元座標を多数の点で表現した雲のような点群データを専門家以外にも扱いやすい三次元空間画像（3Dモデル）とするには、訓練を伴う多くの作業を必要とする。さらに、文化財の記録に対して本格的にレーザー三次元測量が用いられるようになったのはこの15年ほどであり、それ以前に失われた文化財には適用することができない。

そこで着目されるのが、写真測量（photogrammetry）の手法である。写真測量は元来、写真を用いた地形図作成といった測量技術を指す。その中で、現在の写真測量ソフトウェアでは、地形だけでなくさまざまな対象物の写真をソフトウェア上で処理し、三次元空間画像を作成することも可能となっている。特に、SfM（Structure from Motion）と呼ばれる技術を応用したソフトウェアは、操作の容易さなどから文化財に関する調査研究を含む広範な分野で利用されている¹⁾。このようなソフトウェアでは、異なる位置から異なる角度で撮影された複数枚の写真があれば、対象物が現存しない過去に撮影された写真からでも三次元空間画像を作成できることから、火災や紛争等で失われたり、大きな損傷を受けた文化財の三次元空間画像を作成することで、修理や復元に活用することが期待できる。

このようなソフトウェアによる処理を可能にするには、写真がデジタルデータである必要がある。近年は、研究機関や博物館・美術館、文書館などが、ガラス乾板やフィルムなどのアナログ媒体に記録された画像をデジタル化し、デジタルアーカイブとしてウェブなどでの公開を

行う例が増えている。東京文化財研究所（以下、東文研）でも、過去に職員が撮影したアナログ写真のデジタル化やウェブ公開²⁾を実施している。

本稿では、デジタル化したアナログ写真による、現存しない文化財の三次元空間画像の作成事例として、東文研の創設当時の職員であった尾高鮮之助により1932年に撮影されたアフガニスタンのパーミヤーン西大仏の写真を用いた、SfM技術による写真測量ソフトウェアの一つである Agisoft Metashape による三次元空間画像の作成を紹介する。

2. Agisoft Metashape

今回用いたソフトウェア Agisoft Metashape（以下、Metashape）は、2006年に創設されたロシア・サンクトペテルブルク所在の Agisoft LLC の製品で、写真測量技術により、デジタル画像を用いて三次元空間データを作成する機能を持つ。Metashape は2019年1月に Agisoft Photoscan（以下、Photoscan）から名称が変更された製品³⁾である。Photoscan が用いられるより前の写真測量では、対象物からの距離を等間隔に保ち、一部が平行に重なり合うように撮影された写真を準備する必要があり、隣接する写真の重ね合わせの量が多すぎても少なすぎても不都合であるなど、撮影条件の設定が非常に煩雑であった。また、データ処理にはプログラミングの知識が必要で、市販のパッケージソフトウェアも存在はしていたが、価格は安くとも数百万円ほどで、専用のやはり100万円～数百万円の高価なカメラを用いる必要があるなど利用が難しかった。これに対し Photoscan（Metashape）は比較的安価⁴⁾であり、市販の一般的なカメラで撮影した画像を利用することが可能で、ソフトウェア上で撮影画像からカメラ位置を求めることができるため、撮影条件の厳密な設定を省略することもできる。精度の向上や処理時間短縮のための撮影のノウハウは存在するものの、撮影者が最低限注意すべきなのは、対象物について写真に記録されていない箇所がないように留意することである。

Photoscan（Metashape）により、考古学や建築学など、情報科学を専門としない研究者や実務者にも写真測量の技術を容易に用いることができるようになった。とりわけ、測量用の機材の輸送や持ち込みが困難な海外での調査では、これらのソフトウェアによる写真測量が活用されている⁵⁾。

3. 尾高鮮之助撮影によるパーミヤーン西大仏の写真

尾高鮮之助（1901-1933）は、東文研の前身の帝国美術院美術研究所の設立以来の職員であった美術史研究者である。尾高は、1901年5月30日に朝鮮に生まれた。第一高等学校を経て、1926年に東京帝国大学文学部哲学科（美学）を卒業した後、1927年⁶⁾から美術研究所に勤務、1930年に美術研究所が正式に開所した際に正式な職員として採用された。尾高の在職時に美術研究所長であった矢代幸雄は、尾高は仏教美術の源流に興味を持ち、西アジア美術を研究していた和田新がイランへの調査旅行に出てからは、その東隣のアフガニスタン及びインドより中国西域という順序で仏教美術の東流を研究し、和田のよき相棒となろうとした⁷⁾と回想している。この尾高の希望が実現したのは1931年のことで、文部省在外研究員として翌1932年にかけて東南アジア、インド、パキスタン、アフガニスタンなどで調査・撮影を実施した。1932年にはヨーロッパに到達していたが、矢代の海外出張が多くなり美術研究所に運営上の懸念が生じたことから、同研究所の事務経営に重要な役割を果たしていた⁸⁾尾高に矢代が帰国を命じ、尾高は旅を途中で切り上げて10月14日に帰国した。しかし、尾高が旅を再開することはなく、1933年3月23日に急性肺炎で逝去した。

尾高はこの1年ほどの旅の記録として、詳細な日記、調査ノート、16ミリフィルムなどのほ

か、写真フィルム約2,000枚を残している。これらの調査記録のうち写真フィルムについては、2006年～2010年にかけて東文研においてデジタル化が行われた。デジタル化された写真の画像とメタデータは2012年にウェブ上で公開され、さらに2014年3月にコンテンツマネジメントシステム（Content Management System, CMS）の一種である WordPress によるウェブデータベース「尾高鮮之助調査撮影記録」として公開された⁹⁾。

尾高が撮影した写真には、図1のワット・ブラ・シー・サンベット（タイ）やチャンディ・プランバナナ（インドネシア）¹⁰⁾など、その後の修復・整備を経る前の文化財の姿が数多く記録されている。一方、尾高の写真には、現在では失われてしまった文化財の記録も残されている。例えば、ターリバーンにより、2基の大仏をはじめ多くの文化財が破壊されたパーミヤーン遺跡（アフガニスタン）については68点の写真がある。特に、パーミヤーン西大仏に関しては、同じ被写体を数多く写すことの少ない尾高としては例外的に12枚の写真が残されている。これらの写真は正面だけでなく、側面が写っていたり、あるいは足元から仰ぎ見て撮影されていたりするなど、カメラの角度や撮影位置が異なる。そこで、限られた枚数の写真ではあるが、現代の写真測量に用いてパーミヤーン西大仏の三次元空間画像の作成が可能であると考えた。

なお、これまでのパーミヤーン西大仏の写真測量による三次元空間画像の作成事例には、A. Gruen ほか（2003）¹¹⁾がある。Gruen ほかはインターネット上の8点の画像と、写真測量専用のカメラで1970年に撮影された写真を高解像度でスキャンした画像とを利用して、三次元空間画像を作成した。写真測量に特化した画像データを併用したことで、Gruen らが作成した三次元空間画像は画像上での計測が可能なものとなっている。しかし、インターネット上の画像は解像度が様々で、撮影時期も異なる。また、計測可能なデータとするためには手動での計算を必要とし、インターネット上の画像から三次元空間画像を作成するには、所属する研究機関が開発したものを含む複数のソフトウェアを用いているなど、その手順は誰もが容易に辿



図1 ワット・ブラ・シー・サンベット（左：1931年11月18日尾高鮮之助撮影，右：2011年12月19日筆者撮影）

れるものではない。本稿では、同一人物が同一年月日に撮影した写真を用いて、市販の比較的安価な単一のソフトウェアにより、情報科学を専門としない文化財保護などの分野の実務者にも利用可能な方法で、三次元空間画像を作成した。

4. 三次元空間画像の作成

本章では、Metashape Professional Edition による、古写真からの三次元空間画像の作成について述べる。尾高が1932年に撮影したバーミヤーン西大仏の写真を用いた三次元空間画像の作成について、具体的な作業は次の5つの手順からなる。

- 手順1 写真の読み込み (Add Photos)
- 手順2 カメラの配置 (Camera Alignment)
- 手順3 高密度点群データの作成 (Build Dense Cloud)
- 手順4 メッシュの作成 (Build Mesh)
- 手順5 テクスチャの作成 (Build Texture)

具体的に、手順1の画像の読み込みでは、尾高が1932年4月29日に撮影したバーミヤーン西大仏の写真12点のうち、遠景を撮影した3点及び類似した画像1点を除く以下の8点の写真を用いた。いずれもウェブ上で公開されているため、写真の一覧をウェブ上でのファイル名とURLにより示す(表1)。

ただし、三次元空間画像の作成に用いたのはウェブ上で公開されているサムネールではなく、東文研の所内限定で公開されている水平及び垂直方向の解像度が300 dpiの画像である。これらの写真を図2に示す。

これらの写真のうち、odk_18_092.jpg, odk_18_093.jpg, odk_18_094.jpg, odk_18_095.jpgの4点では、西大仏のほぼ全身が収められている。odk_18_092.jpgとodk_18_095.jpgでは西大仏が正面を向いており、odk_18_093.jpgとodk_18_094.jpgでは向かってやや右を向いている。撮影当日の尾高の日記¹²⁾には、午前10時過ぎに宿舎を出発し、西大仏に向かって左(西)

表1 三次元空間画像作成に用いたバーミヤーン西大仏の写真

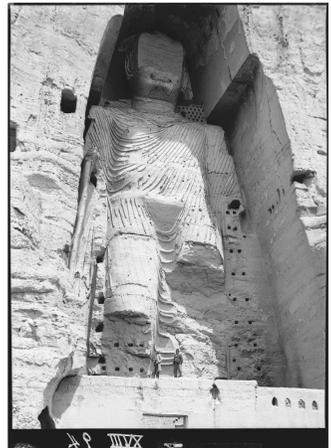
ファイル名	URL	画素数(幅×高さ)	尾高鮮之助による注記
odk_18_092.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27097.html	2990×4180	Bamian.大仏像 (1932.4.29)
odk_18_093.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27098.html	3072×4146	Bamian.大仏像 (1932.4.29)
odk_18_094.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27099.html	2983×4177	Bamian.大仏像 (1932.4.29)
odk_18_095.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27100.html	2980×4196	Bamian.大仏像 (1932.4.29)
odk_18_096.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27101.html	2997×4182	Bamian.大仏像 (1932.4.29)
odk_18_097.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27102.html	2993×2409	Bamian.大仏像 detail (1932.4.29)
odk_18_099.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27104.html	2996×4201	Bamian.大仏像下ヨリ上 (1932.4.29)
odk_18_100.jpg	https://www.tobunken.go.jp/materials/odaka/27105.html	2987×4168	Bamian.大仏像下ヨリ上 (1932.4.29)



odk_18_092.jpg



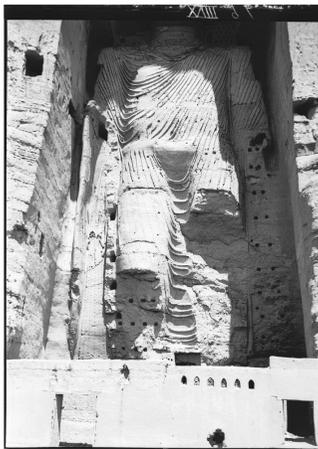
odk_18_093.jpg



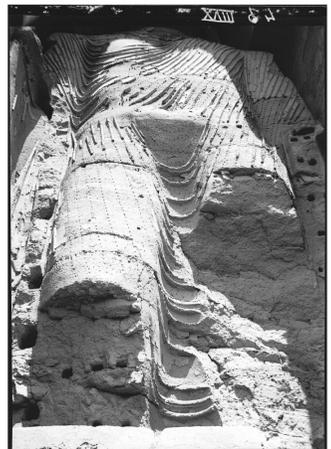
odk_18_094.jpg



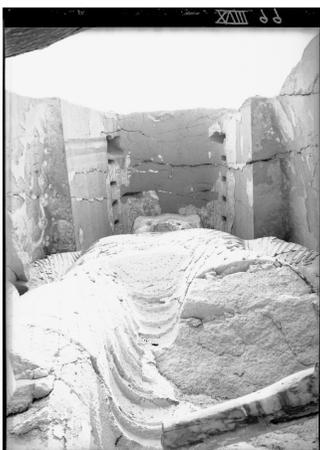
odk_18_095.jpg



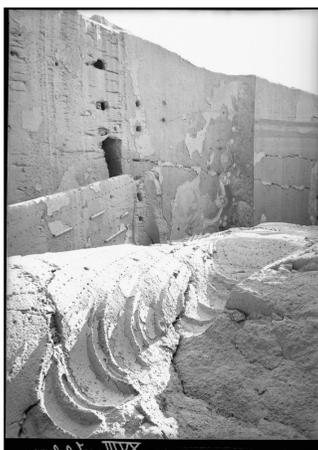
odk_18_096.jpg



odk_18_097.jpg



odk_18_099.jpg



odk_18_100.jpg

図2 三次元空間画像作成に用いたパーミヤーン西大仏の写真

表2 Metashape による三次元空間画像作成時の各手順におけるパラメータと設定値

手順	パラメータ	設定値
2. カメラの配置 (Camera Alignment)	正確性 (Accuracy)	高 (High)
	汎用的な予備選択の情報源 (Generic preselection source)	有効
3. 高密度点群データの作成 (Build Dense Cloud)	質 (Quality)	中 (Medium)
	深さ方向のフィルタリングモード (Depth filtering mode)	中 (mild)
4. メッシュの作成 (Build Mesh)	面のタイプ (Surface type)	任意 (Arbitrary)
	面のデータ (Surface data)	高密度点群 (Dense Cloud)
	面の数 (Face count)	高 (high)
	内挿 (Interpolation)	デフォルト (Default) * 実施する
5. テクスチャの作成 (Build Texture)	テクスチャのタイプ (Texture type)	拡散マップ (Diffuse map)
	情報源 (Source data)	画像 (Images)
	マッピングモード (Mapping Mode)	ジェネリック (Generic)
	ブレンドモード (Blending Mode)	モザイク (Mosaic)
	テクスチャのサイズ (Texture size)	4096×1

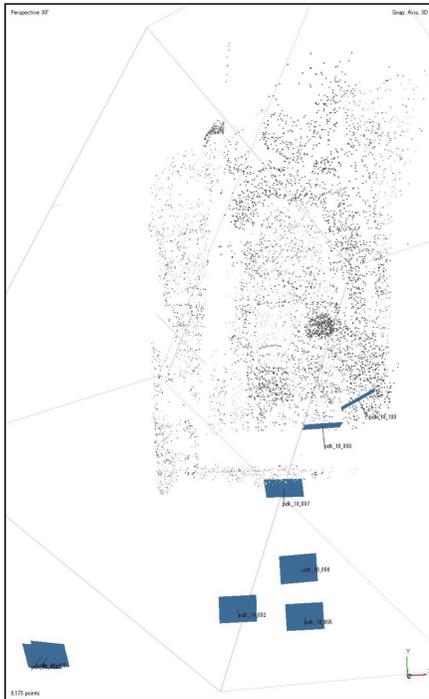
の方から丘を登って行ったことが記されているので、出発直後に南東向きの西大仏を撮影したのが odk_18_092.jpg で、odk_18_093.jpg と odk_18_094.jpg は丘を登る途中で撮影したと考えれば、写真の状況と合致する。odk_18_095.jpg は odk_18_092.jpg に比べ、顔の辺りが影になっておらず、その他の部分も影が薄く、全体的にコントラストが少ない写真である。仏龕内で向かって右の肩から顔のあたりなど、影はあるものの薄く見えることから、西大仏の顔面などに落ちる影が薄くなるよう、撮影条件を変更したと考えられる。また、odk_18_096.jpg は上記4点よりも西大仏の近くから撮影され、従ってより仰ぎ見る角度となる。odk_18_097.jpg はさらに西大仏に近寄って撮影されている。odk_18_099.jpg は仏龕に入りほぼ真下から真上を向いて撮影しており、odk_18_100.jpg では仏龕天井のやや左側も写真に収められている。

手順2から手順5までのパラメータ及び設定値は表2の通りである。

これらのパラメータの値の設定は、三次元空間画像の作成を写真の撮影から始める場合とは異なる考え方に基づいて行った。三次元空間画像の作成を意図して撮影した写真が得られる場合には、できるだけ正確な計測結果が得られるように各パラメータを設定すべきである。しかし、今回は、使用する写真が異なる位置・角度で撮影され、三次元空間画像が作成可能と考えられるものの、88年前に撮影された35 mm 白黒フィルムからのスキャン画像を用いるため、現在デジタルカメラで撮影した画像に比べてノイズが多いと考えられる。また、写真の点数が少なく、カメラキャリブレーションも行えないなど、計測の条件が整っているとは言えない。そこで、比較的高い正確性を担保しつつ、できるだけ多くの写真が利用できるようにパラメータを設定した。

このようにパラメータの値を設定し、8点の写真からバーミヤーン西大仏の三次元空間画像を作成した。作成の過程で得られた情報は図3の各手順に示すとおりである。

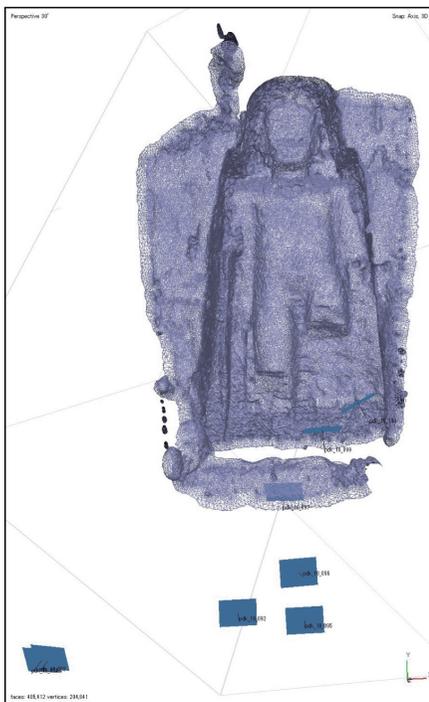
この手順のうち手順2では、写真測量に必要な情報として、読み込んだ写真に基づいてソフトウェアによるカメラ位置の推定が行われる。各写真の撮影位置は、図3の各手順を示す図中



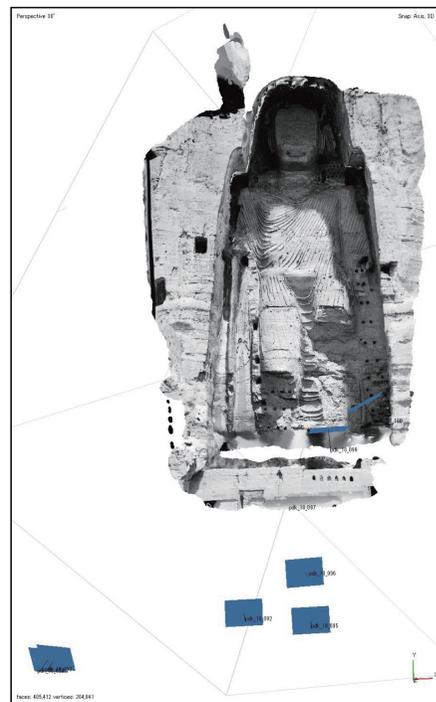
手順 2 (カメラの配置)



手順 3 (高密度点群データの作成)



手順 4 (メッシュの作成)



手順 5 (テクスチャの作成)

図3 三次元空間画像の作成過程



図4 パーミヤーン西大仏の三次元空間画像（正面）

にファイル名とともに8つの四角形として表示され、これらの四角形の角度によって、それぞれの写真が撮影された時のカメラの向きを表している。これを見ると、odk_18_092.jpgとodk_18_095.jpgのカメラ位置は西大仏のほぼ正面、odk_18_093.jpgとodk_18_094.jpgはやや左にある。odk_18_096.jpgの位置は正面ではあるが、やはり正面に位置するodk_18_095.jpgに比べて西大仏に近接しており、odk_18_097.jpgではさらに近づいて建物の壁近くにあり、また西大仏を見上げるように大きく傾いている。odk_18_099.jpgでは、カメラは仏龕に入って真上近くを向き、odk_18_100.jpgではやはり仏龕内から左上を向くように傾斜している。これらのカメラ位置は、さきに述べた日記の記述および写真から推定されるものとよく一致する。このように、ソフトウェア上でカメラ位置が再現された上で、特徴点の抽出、点群データの作成、平面の作成を経て、三次元空間画像が作成されている。

5. 作成した三次元空間画像の特徴

パーミヤーンの2基の大仏については、これまでに、破壊後の東大仏の仏龕で、再建を目的とした調査の一環でレーザー三次元測量¹³⁾が実施されているが、西大仏に関する情報はなく、前述の Gruen ほか（2003）も詳細な計測データを利用できる状況にはない。また、破壊前の西大仏やその仏龕全体の詳細な測量データも利用できないことから、これらを用いて写真測量としての正確性を検証することはできない。また、本稿の主な目的は、過去の写真資料の活用の可能性を検討することである。そこで、本章では、今回作成した三次元空間画像自体について、その特徴を述べる。

三次元空間画像の作成により、画像下部に写り込んでいる、壁がほぼ垂直に立ち上がっていると考えられる建物を目標として位置を調整すると、図4に示すように、正対してパーミヤーン西大仏を観察することが可能となった。西大仏は高さが55 mと非常に大きく、その近傍の地上からは仰ぎ見ることしかできないが、三次元空間画像の作成によりこのようなビューポイ



図5 パーミヤーン西大仏の三次元空間画像（側面 左：向かって右側面から見たもの、右：向かって左側面を浅い角度から見たもの）※西大仏本体が見えるよう、三次元空間画像から仏龕を一部消去

ントを設定できたとと言える。ただし、西大仏の膝辺りから下の部分は、尾高の写真では建物の陰になっており記録されていないため、作成した三次元空間画像では空白となっている。また、尾高の写真は正面及び向かって左側から撮影されているため、向かって右側の崖面の上部が水平に近くなっている一方で、向かって左側は崖面上部の角が大きく欠けている。これは、正面から撮影された写真に写っている顔の周りの崖面のうち、右側上部の角は斜め左から撮られた写真にも写っているが、左側上部では角が写っていないことに起因する。さらに、顔の上半部近傍の仏龕外部の崖面で画像が作成されず空白になる。全ての写真が程度の差はあれいずれも仰ぎ見ての写真であるため、それらの写真で顔の上半部付近の崖面が写っているように見えても、実際には写っていなかったことがわかる。

三次元空間画像では、被写体を元の写真とは異なる角度に変えて観察することも可能となる。これまで述べてきたように、尾高の写真は正面及び向かって左側から撮影されたもので、向かって右側から撮影された写真はない。しかし三次元空間画像では、元の写真には存在しない、向かって右側から見た、すなわち向かって左を向いた西大仏も見せることが可能となる（図5左）。ただし、向かって左側の仏龕の壁面の部分では、向かって右側とは異なり、西大仏の肩から顔にかけて、ほとんどの写真に写っていない部分が西大仏の輪郭に沿って線状に白っぽく見えている。また、壁に対して浅い角度で撮影された写真しかないために不自然な歪みが見られるものの、西大仏本体としては観察に耐えうる画像が作成できている。向かって左からの（右を向いた）場合も、西大仏に対して比較的浅い角度（図5右）など、元の写真にはないアングルでの観察が可能となっている。

さらに、西大仏のさまざまな部分について見てみると、顔面は暗く、下部でやや乱れているものの、岩石の層理も見られ、左右の耳の形状も確認することができる（図6）。

また、図6に見られる首の付け根の辺りでは画像が乱れている一方、図7左の胸部から左腕の辺りは衣の襷が明瞭に写っており、立体的に感じられる。また、左右の脚部から胴部にかけて及びその周辺の部分も、写真の継ぎ目なども見られず、脚が破損した箇所の不規則な断面形

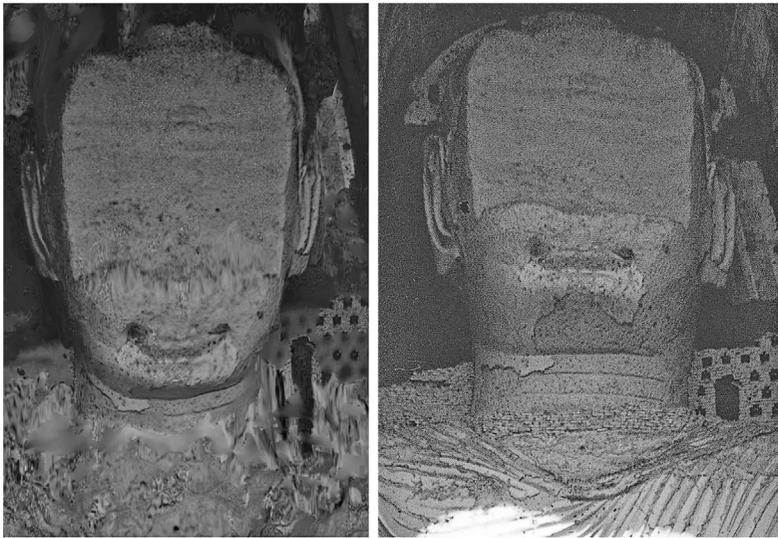


図6 パーミヤーン西大仏 顔面から首にかけての三次元空間画像と写真との比較（部分 左図：三次元空間画像，右図：尾高撮影写真（odk_18_092.jpg））

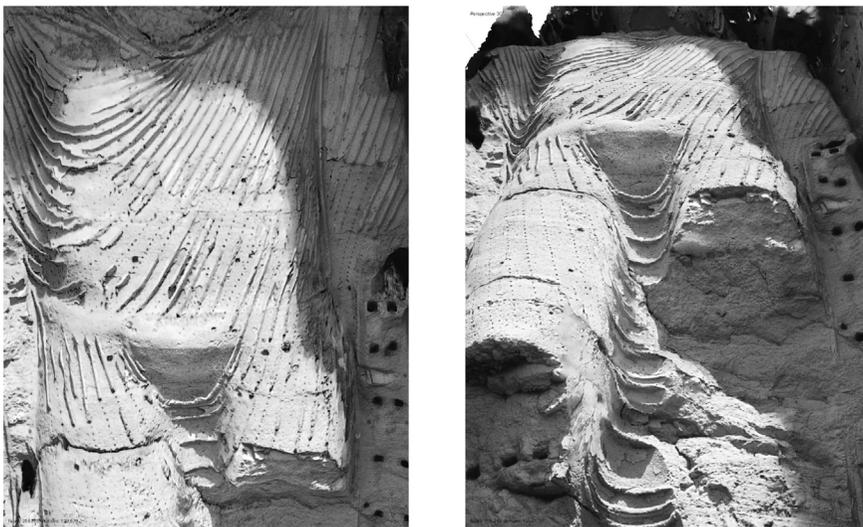


図7 パーミヤーン西大仏の三次元空間画像（部分 左：胸部から左腕，右：脚部から胴部）

状や衣の襞，仏龕壁面に規則的に並んだ穴などの形をはっきりと見ることができる（図7右）。その理由について，顔面上部は，露出設定が変更されたとみられる odk_18_095.jpg 以外の写真で暗い影に入るものの，これらの写真同士での明暗の差は少ないため，形状は取得できている。しかし，口元や首の付け根の付近は，元の写真（図6右）においても，剥落しきっていない風化した岩石の表面や，首元に積まれたレンガのような物体が複雑な形状や明暗を呈しているため，計測が難しかったことが考えられる。明瞭な画像が作成された箇所は，正面から撮影された写真，左から撮影された写真のいずれにも記録されている上，写真ごとの明暗の差は比

較的少ない。また、脚部の回りではこの点に加え、仰ぎ見た写真について、脚の真下からとやや斜めから撮影されたものがあるため、正面からの写真と合わせて撮影位置が徐々に変化していることも、この箇所の画質の向上に寄与している。

このように、正しく画像が作成されていない箇所はあるものの、いずれの写真にも写っていない膝下から爪先にかけての部分を除き、西大仏本体に関しては鑑賞可能な画質で三次元空間画像が作成できた。欠損や歪みの見られる仏龕の部分を Metashape 上で削除し、西大仏のみのデータを切り出せば、不自然な印象は緩和される。作成した三次元空間画像は、Metashape から PDF ファイルに書き出すことで、先方が Metashape を持たなくても Adobe Acrobat により閲覧できるほか、西大仏のみを切り出したデータはそのままレリーフとして、あるいは直方体に貼り付けるなどして、3D プリンタで利用可能なファイル形式に書き出し立体として出力することも可能となる。また、西大仏の三次元空間画像は同一年月日に撮影した写真から作成されており、相対的な位置情報を有していることから、別の画像による写真測量や、レーザー三次元測量などにより別途作成した西大仏や仏龕の三次元空間画像と組み合わせて閲覧することができるようになる。別の年月日に撮影された、異なる角度で撮影された複数の写真の入手が可能であれば、西大仏の形状変化の定量的な計測も実現できるだろう。このようにして、過去に撮影された三次元空間画像の作成を通じた、異なる方法による閲覧や情報共有、調査研究への利用が可能となる。なお、本稿では、現存しない文化財の過去に撮影された写真を用いた三次元空間データの作成について述べたが、現存する文化財に対しては、様々に角度を変えての観察もできることから、状態の変化を追うための簡易的なモニタリングに過去の写真を用いるなど、文化財保護の実務への利用も可能といえる。

今後、記録媒体そのものの劣化や消失の懸念もあいまって、いっそう多数のフィルムやガラス乾板などのアナログ媒体に記録された文化財の写真がデジタル化され、それらの大規模なアーカイブが形成されていくことが予想される。特に、ガラス乾板に関してはゼラチンや銀、ガラスなどの素材や薬剤の化学変化に起因する劣化、乾板の割れや擦れといった損傷が課題となっている¹⁴⁾ため、記録された画像が認識可能なうちに早急にデジタル化を行う必要がある。ガラス乾板は四切や八切、キャビネなど¹⁵⁾、サイズが比較的大きな記録媒体で、適切な手法で読み取れば質の高い画像を取得可能¹⁶⁾である。このような、アナログからデジタルに変換された画像データの文化財及びその保護に関する調査研究への活用の可能性の一つとして、また、古写真の新たな展示方法としても、三次元空間画像の作成を挙げることができるだろう。

5. まとめ

本稿では、過去に撮影された写真からの三次元空間画像の作成事例として、1932年4月29日に尾高鮮之助が撮影したパーミヤーン西大仏の写真から Metashape を用いて作成した例を紹介した。パーミヤーン西大仏は2001年に爆破され現存しない。しかし、三次元空間画像の作成により、写真に記録されている範囲であれば、任意の角度を設定して観察することが可能となった。被写体の文化財が現存するか否かにかかわらず、撮影から長期間経過した文化財と同条件での再撮影は不可能である。三次元計測を前提とせず撮影されたわずかな写真のみでの三次元空間画像の作成には、写真に写っていなかった箇所が空白となる、写真の点数が十分でないとテクスチャが貼れても不自然に変形する箇所がある、パラメータの設定や写真の選択によっては歪みが生じ、それらの条件設定について試行錯誤を必要とするなどの課題もある。しかし、1932年4月29日に尾高が見た、晴れた午前中の日光が差し込んだパーミヤーン西大仏¹⁷⁾を、一部欠損があるとはいえ三次元の画像として容易に追体験、共有できるようになったことの意

義は、過去の記録の有効な活用という点で大きいと考える。

尾高の写真の場合、パーミヤーン西大仏の前面や、やや側面からの写真、仰ぎ見ての写真が残っていたため、三次元空間画像を作成することができた。これらの写真が撮影された際に、三次元空間画像の作成が意識されているはずもないが、このように異なる位置から撮影されたことが作成を可能としている。今後、文化財の記録として写真を撮影する際に、三次元空間画像としての利用も意識して撮影位置や点数を設定すれば、さらに多くの情報を残すことが可能となると言えるだろう。

謝辞 広島大学名誉教授の中田高氏は、内陸活断層の現地調査に利用していた Photoscan をご紹介くださり、本稿執筆のきっかけを与えてくださった。また、匿名の査読者に本稿の改善のため多くの示唆を賜った。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 内山庄一郎、井上公、鈴木比奈子、SfMを用いた三次元モデルの生成と災害調査への活用可能性に関する研究、防災科学技術研究所研究報告、81、37-60 (2014)
- 2) 東京文化財研究所総合検索 所蔵画像資料の検索 <https://www.tobunken.go.jp/archives/> 所蔵画像資料の検索/
- 3) 旧製品のPhotoscanの購入者に対しても、Metashapeへのアップデートへの対応も含めサポートが引き続き提供されている。
- 4) Metashapeの価格は、AgisoftのオンラインストアでProfessional Editionが3,499米ドル、Standard Editionが179米ドルである(2020年11月現在)。Professional Editionは三次元空間画像の作成に加え、画像中の任意の距離の算出といった計測の機能を有する。
- 5) 例えば、渡部展也、考古学・文化財におけるデジタル計測と情報活用の現状、経済史研究、23、57-86 (2020)
- 6) 無記名、著者略歴、印度日記：仏教美術の源流を訪ねて、口絵2 (1939)に基づく。
- 7) 矢代幸雄、尾高君の追憶一序に代へて、印度日記：仏教美術の源流を訪ねて、1-13 (1939)
- 8) 矢代は同注7において、「尾高君の事務経営の才と心臓とは、渋沢(栄一)子爵の親類の尾高家といふ大実業家の家柄に伝はる天稟であつたらしく、当人は研究所の風潮に従つて、事務家と見らるることを嫌ひながらも、所内の事務のみならず特に外部との交渉等には、充分自信を持つていたと同時に本能的なる趣味をも感じ、且つ彼の義侠心も手伝つて、みんなの嫌がる困難なる仕事を、却って買って出るといふ積極的態度すらあつた。尾高君の歿後なる今にして初めて言へることであるが、余は将来研究所を背負つて立てる人はかういふ人であらうかと思当をつけ、その将来の大成を期待しつつ、研究所の枢機に関する相談をかけて居た。」と述べている。矢代が記すような尾高の几帳面な態度は、彼の写真撮影のあり方にも表れていると言え、残されたほとんどの写真で正しく水平・垂直が取られ、ピントが正しく合わせられている。このように撮影の精度が高かったことも、今回の三次元空間画像作成を可能にした理由の一つであると考えられる。
- 9) 小山田智寛、福永八朗、高橋佑太、二神葉子、ウェブデータベースによる画像情報の公開—尾高鮮之助調査撮影記録を例に一、保存科学、56、155-164 (2017)
- 10) 尾高鮮之助、十二月二十二日(火) 晴後曇 チョグヤ見学 ボロブドゥール泊、印度日記：仏教美術の源流を訪ねて、151-155 (1939) には、「・・・チャンディ・ブランバナン(Tjandi Prambanan)になる。此処はなかなか広い大きなチャンディ(Tjandi)で、今復旧工事に忙しく

して居る。・・・兎に角散在する石材から合ふのを集めて、それで建物を組み立てて行くのであるから大変である。」とある。このほか、工事事務所のオランダ人の監督から説明を受けたこと、測量により断面図や平面図が作成され、足りない部分は新たに石材を切り出してその部分に合わせて作っていることなど、「復旧工事」の状況が詳細に記されている。

- 11) A. Gruen, F. Remondino, L. Zhang, Image-based Reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan Proc. SPIE 5013, Videometrics VII (2003)
- 12) 尾高鮮之助、四月二十九日（金） 午前快晴、午後曇、夜雨 バーミヤーン滞在、印度日記：仏教美術の源流を訪ねて、488-490（1939）
- 13) Michael Jansen, Georgios Toubekis, Andreas Walther, Marina Döring-Williams, Irmengard Mayer, Laser Scan Measurement of the Niche and Virtual 3D Representation of the Small Buddha in Bamiyan, CAA 2007 Proceedings, 83-90 (2008)
- 14) 竹内涼子、史料編纂所所蔵ガラス乾板の劣化と保存方法の考察一、東京大学史料編纂所研究紀要、25、50-61（2015）
- 15) 14) に同じ
- 16) 東京文化財研究所作成ガラス乾板データベース 前言 <https://www.tobunken.go.jp/materials/glasspreface> に見られるように、東文研では、所蔵するガラス乾板のデジタル化を、一般的に用いられるスキャナではなく、ガラス乾板の下から光を当てカメラで撮影するという方法で行い、高画質のデジタルデータを取得している。
- 17) 12) に同じ

キーワード：古写真 (old photo)；写真測量 (photogrammetry)；三次元空間画像 (3D モデル) (3D spatial image)；バーミヤーン西大仏 (Western Buddha of Bamiyan)；Metashape

Creation of 3D Spatial Image of the Western Buddha of Bamiyan by Using the Photos Taken by Odaka Sen'nosuke in 1932

FUTAGAMI Yoko

The present paper introduces an approach to creating 3D spatial images by using old photos in the image archive of Tokyo National Research Institute for Cultural Properties (TNRICP). These were the photos of the Western Buddha of Bamiyan taken by Odaka Sen'nosuke, one of the original staff members of the Institute of Fine Arts (recent TNRICP), when he visited the Bamiyan Valley on 29 April, 1932. A photogrammetry software named Metashape was used for the process of 3D spatial image creation. By using Metashape, 3D spatial image of the Western Buddha of Bamiyan was successfully created with eight items of the photos of the Buddha statue. As Odaka took photos of the Buddha statue at different points, these photos could be used for 3D spatial image processing.

Analog media for recording images, such as negative/positive films or glass plates inevitably become deteriorated and should be converted to digital media. In particular, it is said that dry glass plates are reaching the end of their life. In this circumstance, more and more digitized images of old photos are obtained and their archives will expand. The attempt of creating 3D spatial image indicates some possibilities to utilize old photos for better understanding the appearance of the lost cultural properties and/or existing ones in the past, even if the photos were not taken for the purpose of 3D spatial image processing.