

# みんぱくリポジトリ

国立民族学博物館学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology Academic Information Repository

## 情報考古学的手法を用いた文化資源情報のデジタル化とその活用

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2017-11-15 キーワード (Ja): キーワード (En): archaeological information   3D measurement   3D model   3D laser scanner   cultural resources 作成者: 寺村, 裕史 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.15021/00008569">https://doi.org/10.15021/00008569</a>

## 情報考古学的手法を用いた文化資源情報の デジタル化とその活用

寺 村 裕 史\*

Digitization of Cultural Resources and Its Utilization Method  
Using Archaeological Information

Hirofumi Teramura

本論文では、人文社会科学の研究で重視される文化資源（資料）情報というものを、方法論や技術論の視座から整理し、実例をふまえつつ検討する。特に、考古学や文化財科学分野における文化資源に焦点を当て、それらの分野で情報がどのように扱われているかを概観し、考古資料情報の多様なデジタル化手法について整理する。

文化資源としての文化財・文化遺産は、人類の様々な文化的活動による有形・無形の痕跡と捉えることができる。しかし、現状では、そこから取得したデータの共有化の問題や、それらを用いた領域横断的な研究の難しさが存在する。そのため、文化財の情報化の方法論や、デジタル化の意義を再検討する必要があると考える。そこで特に、資料の3次元モデル化に焦点を当て、デジタルによるモデル化の有効性や課題を検討しながら、その応用事例を通じて文化資源情報の活用方法を考察する。

From the perspectives of methodology and theory of technique, this paper presents an examination of “Cultural Resources”, which is of central importance in the humanities and social sciences. Based on examples, the study of “Information” is discussed, particularly addressing 3D measurement, an increasingly used tool that unifies information for cultural studies. Future prospects are considered via the example of 3D models.

---

\*国立民族学博物館人類文明誌研究部

**Key Words** : archaeological information, 3D measurement, 3D model, 3D laser scanner, cultural resources

キーワード : 情報考古学, 3次元計測, 3D モデル, 3D レーザースキャナ, 文化資源

1 はじめに	3.4 デジタルで計測する利点とデジタルデータの活用
2 情報考古学と文化資源情報	4 遺物の「形（カタチ）」に関する3次元情報の取得
2.1 考古学・文化財科学における情報とは何か	4.1 拓本と実測図
2.2 考古学における情報の取得に関わる研究略史	4.2 遺物の3次元計測と3Dモデル作成の方法
2.3 情報考古学とは	4.3 3Dモデル援用のメリット・デメリット
3 遺跡・遺構の「形（カタチ）」に関する3次元情報の取得	5 博物館収蔵資料への応用
3.1 造山古墳のトータルステーションによるデジタル測量と3次元モデル化	5.1 文化資源情報としての3Dモデル
3.2 カファイル・カラ遺跡の3Dレーザースキャナを用いた3次元計測	5.2 3次元データの共有
3.3 ダネットティ遺跡のSfMによる遺構の3次元計測	6 おわりに

## 1 はじめに

本論文は、考古学や文化財科学の分野で重視される資（史・試）料に関して、方法論・技術論の視座から整理し、文化資源情報としてデジタル化ならびに3次元モデル化することの意義を、実例をふまえつつ検討することを目的とする。特に、日本学術振興会・科学研究費助成事業における細目表のキーワードとしても挙げられている「情報考古学」<sup>1)</sup>に焦点を当て、考古学における1つの分野として独立して取り上げられるようになった背景を探るとともに、近年のハード・ソフト両面における技術の進展による、考古資料情報の多様なデジタル化手法について整理する。

考古学は、遺構や遺物といった過去の人間が遺した痕跡を通して、人々の生活や文化、歴史を復元する学問である。そうした時間軸による人間の歴史としての物質文化研究が考古学の中心である一方、遺構・遺物それ自体に伴う属性だけで

なく、それらをデジタル情報として3次元で記録する手法そのものも、重要な研究要素である。資料の属性情報の取得のみならず、3Dモデルの作成を目的として、そこに到るまでの情報の取得方法までを含めて本論では包括的に扱う。

まず第2章では、考古学における情報取得に関する研究の歴史について触れ、情報考古学という学問分野についての見解を述べる。第3章では、遺跡・遺構を対象とした日本国内および海外における3次元計測と3Dモデル作成の実践例を中心に、デジタルデータの利点と活用方法について考察する。第4章では、遺物を対象とした3次元情報の取得から、遺物研究における3Dモデル援用のメリット・デメリットについて論じる。そして第5章では博物館収蔵資料への応用について考察し、最後にそれら各章をまとめる形で、デジタル化された文化資源情報を活用した人間の歴史・文化研究への利活用を考えてみたい。

## 2 情報考古学と文化資源情報

### 2.1 考古学・文化財科学における情報とは何か

筆者は、以前、考古学や文化財科学の対象である“文化財”は、3つの属性とメタデータによって情報構造体（エンティティー）をなしている、と整理した（津村・寺村 2005）。3つの属性とは、①「そのモノが何でできているのか？」という物性情報、②「そのモノの形や機能は？」という形状・機能情報、③「そのモノはいつ・どこに存在（どこで機能）していたのか」という時空間情報である。また、単にモノそれ自体に関する属性情報だけでなく、それらを取り巻く様々なメタデータも、資料には付属している。メタデータとは、それらモノの“情報の情報”（e.g. 「誰々によって発掘された」「○○技法が使われている」「△△博物館の収蔵品である」etc. …）のことを指す（図1参照）。

考古学や文化財科学の研究は、これら4つの情報を「取得し、蓄積し、総合的（歴史的）に解釈する行為」とまとめることもできる。しかし、自戒的にこれまでの研究を振り返ったとき、我々がデータベースと呼んでいる多くの情報基盤が、エンティティーの集合体として存在しているのかどうか、反省すべき点も多い。何らの基準もメタデータも設定されていない多くの情報が、個別・単独の情

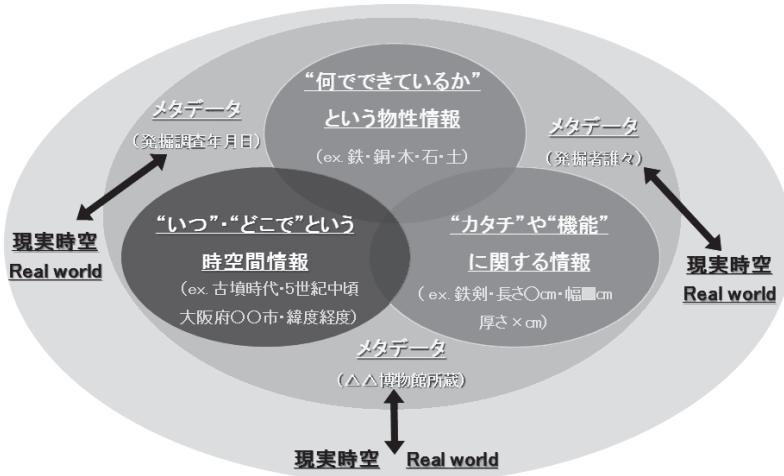


図1 文化財の3つの属性情報とそれらを取り巻くメタデータ  
(津村・寺村 2005 発表スライドより引用・改変)

報として存在し、ただストレージの容量だけを必要としている事例も少なくない。

例えば、極端な例かもしれないが、出土した石器の「器種名および長さ・幅・厚さ」という資料の形状情報のみが、一覧表にまとめられデータベースとして公表されたとしても、そうした石器が「いつの時代のモノなのか」「どこから出土したのか」といった他の属性情報やメタデータを相互に参照できる仕組みがなければ、総合的な解釈には使用できないだろう。

つまり、日本語で“情報”と一言で言い表すとしても、その内容には様々な階層（レベル）があり、自らが研究対象とする資料の情報が、どの階層の情報なのかを把握しつつ、モノの“情報化”と解析を進める必然性を認識しておく必要がある。

## 2.2 考古学における情報の取得に関する研究略史

次に本節では、具体的に考古学・文化財科学における情報の歴史と、研究の全体的な流れを見ていくことにする。

考古学や文化財科学の分野において情報というキーワードが注視されるようになって久しい。例えば、筆者も過去何度か参加し学会誌に参加記（寺村 2001; 津村・寺村 2002）を投稿している CAA (Computer Applications and Quantitative Methods

in Archaeology) 国際会議は、1973年に第1回の会議が開催され、現時点で設立40年を越えている。また、日本情報考古学会は、1995年に日本学術会議の学術研究団体としてスタートし、今年で設立22周年を迎える。

2005年2月には国際シンポジウム『世界の歴史空間を読む—GISを用いた文化・文明研究』が国際日本文化研究センターにおいて開催され、世界各国から20名を越える数理考古学・情報科学の研究者を招聘し、考古学・文化財科学における情報（標準化や取り扱いなど）に関する白熱した議論がおこなわれた（宇野編2006）。上記のような趨勢は、明らかにパーソナルコンピュータの普及や高性能化、デジタル技術の進歩と歩みを共にしているといえよう。

考古学において、時空間情報の記録とこれによる遺跡評価の方法を開発したのは19世紀末のピット・リバースといわれる。ピット・リバースは、1880年代に開始したCranborne Chaseの発掘調査でこれを実践し、遺物・遺構・遺跡という空間のコンポーネントを、スケールを考慮しつつ平面・断面図や立面図を駆使しながら3次元的な空間に配置・記録した（Pitt-Rivers 1892）。

図2は、Bokerly Dykeでの人骨の検出状況を平面・立面で記録し、さらに断面（セクション）の情報も書き込むことで、層位（＝時間軸）も同時に把握できるようにしたものである（Pitt-Rivers 1892: pl. CXC VII）。また図3は、Wansdykeにおける発掘調査区の土壙断面の概観図である（Pitt-Rivers 1892: 256）。概観図ということもあって極めて絵画的であり、土層の厚みや土壙の高さ・距離などに関する数値的な正確さはこの図面からは読み取ることができない。しかしその一方で、人物像が描き込まれていることによって、遺構全体のスケール感や調査区を含む周囲の景観の3次元的な把握という点においては、こうした絵の方が直感的・視覚的に分かりやすい。通常の断面図に加えて、このような概観図も作成している点は、特筆に値するだろう。

このような時空間情報の記録と評価の手法を基礎に、その後の考古学は、方法論的に主に時間情報を扱う層位・編年研究と、空間情報を扱う立地・分布研究の二つを軸に進展してきた。時間情報を扱う層位・編年研究は、その後モンテリウス（Oscar Montelius）の型式学的研究やマルクス主義考古学と結びつき、物質文化の単位の組列によって文化史を叙述する方法を確立した。また空間情報を扱う立地・分布研究は、生態学的研究などと連携し、物質文化の存在の時空間的配置

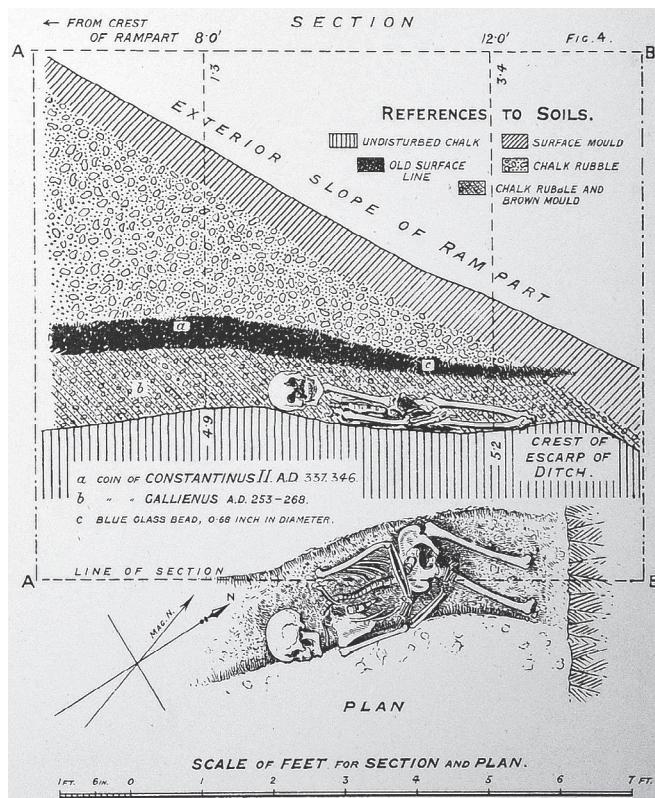


図2 人骨の検出状況の平面・立面図と土層断面図 (Pitt-Rivers 1892 より)

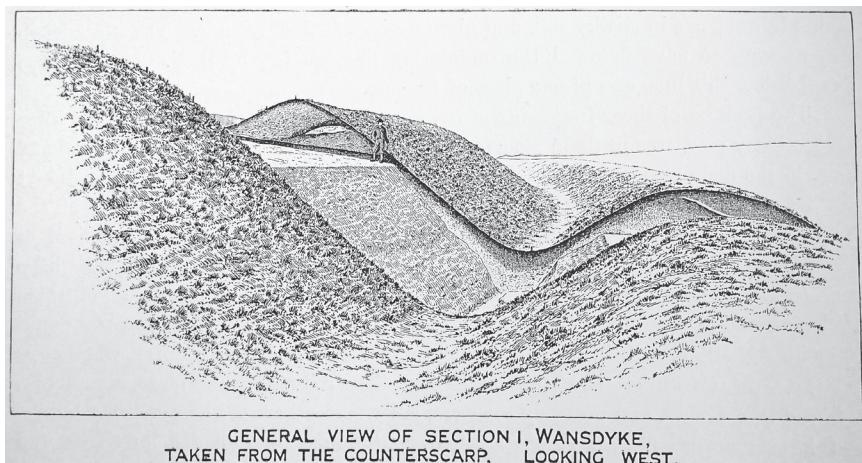


図3 土壠断面の概観図 (Pitt-Rivers 1892 より)

によって人と環境の相互作用環を評価する方法を確立した。

こうした人間と周辺空間との相互作用の歴史を明らかにする研究視座は、その後文化のシステムを重視したビンフォードらのニューアーケオロジーにより、さらに分析的な実践研究として進められる (Binford 1972)。またクラークは、統計学的および地理学的手法を導入し、"Models in Archaeology" ではグラストンベリーの鉄器時代集落を題材に、遺構・遺跡・地域という空間の階層性を重視し、遺跡や地域のことは地理学や生態学的視点によって明らかにする方法を示した (Clarke 1972)。こうした研究は "Spatial Archaeology" にも引き継がれ、考古学的な空間システムを「マクロレベル・セミミクロレベル・ミクロレベル」に階層化し、空間考古学で扱う対象の解像度について論じた (Clarke 1977)。

またそれらと相前後するように、ホッダーとオルトンは、この時点での考古学における空間分析の到達点といつてもよい "Spatial analysis in Archaeology" (Hodder and Orton 1976) を出版した。ここでは、定量的な空間分析の手法やその問題点、遺物や遺跡の分布密度分析や、分布の相関分析などが網羅的に論じられた。

ここで全ての研究に言及することはできないが、大きな流れを捉えれば 20 世紀後半以後、世界の考古学においては空間情報の扱いが重視され、時間軸にもとづいた「空間分析」を中心に発展してきたといえる。そして、様々な考古資料情報を時空間に配置するにあたり、対象をモデル化することが常に意識されてきた。それは、ピット・リバースが 3 次元モデルの嚆矢ともいえる概観図を報告書に掲載し、クラークが書名に "Models in Archaeology" を採用したことにも、端的に表れているといえるだろう。

さらに、1990 年代にパーソナルコンピュータが広く普及するようになると、デジタルによる分析機能を生かした実証的な研究が急速に進んだ。遺跡立地分析のみならず、古環境の復元、空間解析、景観復元とその評価など、様々な応用範囲を拡大しつつ現在に至っている (Lock and Stančić 1995; Wheatley and Gillings 2002; Chapman 2006; 西本他 2000 など)。

その一方で、日本考古学は型式学を軸とした遺物の編年研究、つまり時間情報を重視することに特色があり、定量的・統計的な空間分析を軸とした研究は、やや少ないよう見受けられる。しかし、景観分析のような人間の視線（視点）と対象との関係性に着目する分析手法は、日本考古学においては古墳や集落などの

遺跡立地に関する研究において特に有効である。筆者の古墳立地の変遷と眺望分析（寺村 2003; 2006）や、津村による縄文集落の視認ネットワーク分析（津村 2006）などをはじめ、実践事例を集めた書籍においても景観分析の有効性が指摘されている（宇野 2006）。コンピュータを利用した分析手法を援用することで、景観の要素としての視界・方位・距離などに対してより客観的な情報化されたデータを提示することができる。これは、手続き的再現性を担保された検証可能な分析手法をもって、従来は漠然と捉えていた景観という過去の空間を、現代に視覚的・客観的にモデル化し、デジタルで復元することが可能になってきたことを意味する。

以上、海外と日本の考古学における情報取得に関する研究の概略をみてきた。海外ほど空間分析研究が盛んではないとはいえ、日本には大量の考古資料情報が蓄積されている。そのため、それらが適切に情報構造体（エンティティー）として結びつけられることにより、資料の情報化とその解析が進んでいくものと考えている。

### 2.3 情報考古学とは

考古学や文化財科学で扱う情報は、モノに限定せずとも、人類の何らかの行動の客体的所産であるということができる。国立民族学博物館では文化資源について、「人間の文化にかかわるさまざまな有形のモノやそれについての情報のほか、身体化された知識・技法・ノウハウ、制度化された人的・組織的ネットワークや知的財産など、社会での活用が可能な資源とみなされるものが広く含まれ」と定義している（国立民族学博物館 2015）。そういう意味においては、考古資料情報も人間文化に関わる広い意味での文化資源のうちのひとつであり、民博の活動の目指すところとも合致するといえる。

情報考古学は、上記の文化資源を単に情報化・デジタル化することや、考古学に関する情報をコンピュータで扱うことだけが目的なのではない。日本情報考古学会は WEB ページにおいて、「最も広義に捉えた『人類のあらゆる活動の痕跡』を考究する学問としての考古学と、その実践現場で発生する『膨大で多様な情報』を科学するデータサイエンスとが融合した研究と成果」について、その研究促進・教育普及・社会還元を目的とする、と謳っている（<http://www.archaeo->

info.org/)。日々進化していくデジタル技術などの適切な導入により、情報がより多くの内容を語るものとして、広く人類知の集積のプラットフォーム構築を見据えた研究を実践していく学問分野となる役目も担っているといえるだろう。

考古学における情報取得のその根元に時空間情報があることや、空間的な議論が考古学研究の端緒から1つの大きな学問的潮流として存在することなどを鑑みると、文化財科学の情報一般に対する研究手法の技術的解題として、デジタル技術を援用した3次元モデル化や、こうしたデジタルデータの共有化に関して議論を深化させていくことが、今後の方法論的には必須である。

以下、次章からは具体的な実践例をもとに、3次元情報の取得と活用事例について述べていくことにする。

### 3 遺跡・遺構の「形（カタチ）」に関する3次元情報の取得

考古資料を用いて、人間の歴史を再構築するためには、各資料の特性に応じた情報の収集方法が必要となる。本章では、文化資源としての過去の人間が遺した痕跡の中で、ひとつの大きなまとまりとしての「遺跡・遺構」に関する「形（カタチ）」の情報について、新旧の取得方法の差異について触れながら、その方法論の有効性と課題を考察する。

#### 3.1 造山古墳のトータルステーションによるデジタル測量と3次元モデル化

地形測量は、適切な手段でもって現実空間の地形に関する情報を取得し、そこから地形図を作る方法である。従来、考古学において古墳の墳丘などをはじめとする遺跡の地形測量の手段としては平板測量が中心を担ってきた。古く濱田耕作は考古学研究法をまとめた『通論考古学』において、平板測量は「軽便にして且つ精確なる結果を得るに欠く可からざる測量術」であるとして、「発掘的考古学者は必ず此の方法を心得るか、之を心得たる士を同伴す可し。」とまで述べている（濱田 2004[1922]）。

平板測量とは、三脚の上に平板と呼ばれる木の板を水平に設置し、アリダード（示方規）を用いて測点を目視した上で、巻き尺・スタッフによってその測点までの距離及び高さを計測し、紙上に実際の地形を記述していく測量方法である



図4 平板測量の作業風景  
(2005年筆者撮影)

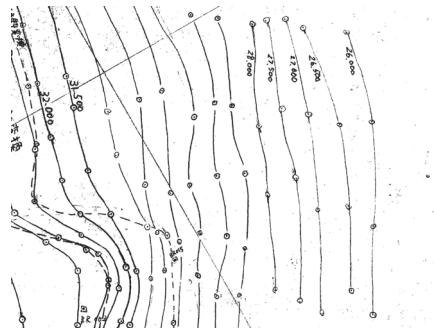


図5 平板上の紙に記録した測点と等高線  
(岡山大学考古学研究室作成の原図より)

(図4)。同じ標高値の計測点を紙上に落とし、点と点の間は計測者の地表面観察によって等高線が引かれることになる(図5)。

そうした平板測量による等高線図作成が行なわれる一方で、近年ではコンピュータを内蔵し距離と角度を自動で計測できるトータルステーションなどのハードウェアの進歩や、デジタルで空間データを扱うソフトウェアの充実などを背景として、考古学においても古墳の測量調査にデジタルの手法を用いる例が増えてきている(三好2005; 中谷・中島2006; 渡邊2006; 一瀬他2008; 堂ノ本2008; 矢田2011; 城倉・青笛2015; 城倉2017)。

ここで取り上げる造山古墳は、岡山市に所在する古墳時代中期(5世紀前半)に築造された前方後円墳である。筆者は、造山古墳のデジタル測量調査に参加し、計測および分析作業の中心的な役割を果たすとともに、調査方法や成果、そうした新しい手法による地形測量の方法論に関する論文を発表してきた(寺村2008, 2009, 2012, 2014; 新納・寺村2006)。調査内容の詳細については拙稿等を参照していただきたいが、3次元での墳形の分析や表示に耐えうる新たな測量方法が必要であると考えデジタル測量を採用する一方で、比較検討のために従来通りの平板測量も同時並行で実施していることが、造山古墳の測量調査の特徴として挙げられる。

平板測量とデジタル測量によって作成された等高線図を比較したものが図6である。全長約350mの古墳をこの縮尺で表示した場合、両者にそれほどの差異があるようには見えないかもしれない。しかし、地形情報の取得方法とその解析手

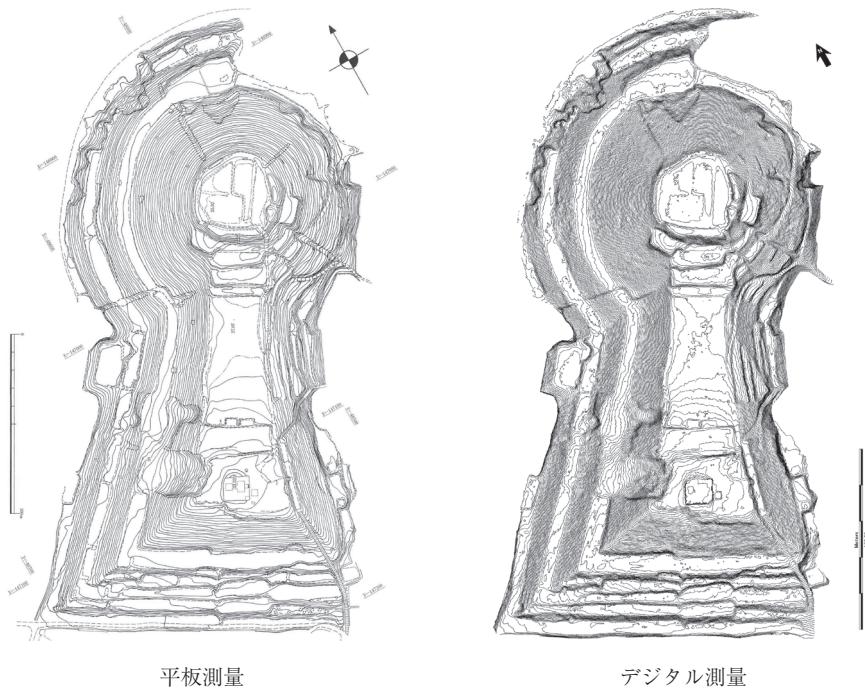


図6 墳丘全体の等高線図 [左：50cm 間隔、右：25cm 間隔]  
(左図：新納 2008 より、右図：寺村 2014 より)

法は大きく異なる。

それはアナログとデジタルの差異といえる。平板測量で測点と測点の間を人間（計測者）が地形観察にもとづいて線として描くところを、デジタル測量では人間が作成したアルゴリズム（造山古墳の場合は TIN モデル<sup>2)</sup>）に従ってコンピュータが線を引いている。現実の地形のモデル化という意味においては両者同じことを目的としているのであり、等高線として表現された地形が異なるのは、計測した点群の数（密度）の差や、位置情報の精度の差などが影響していると考えられる。デジタル測量は墳丘全体の計測点数が約 12 万点であるのに対し、平板測量は等高線の間隔が 50cm であり、複雑な地形の場所以外は測点の間隔も 1 ～ 2m ほど空けて計測しているため、総計測点数としては最大に見積もっても 5 万点といったところであろう。

では、デジタルによる地形測量の利点として、他にどういった点が挙げられるかみていくたい。デジタル測量は、全てのポイントをトータルステーションで記

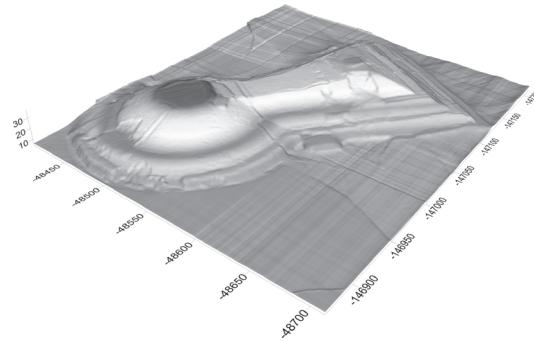


図7 造山古墳の3Dモデル（鳥瞰図）（筆者作成）

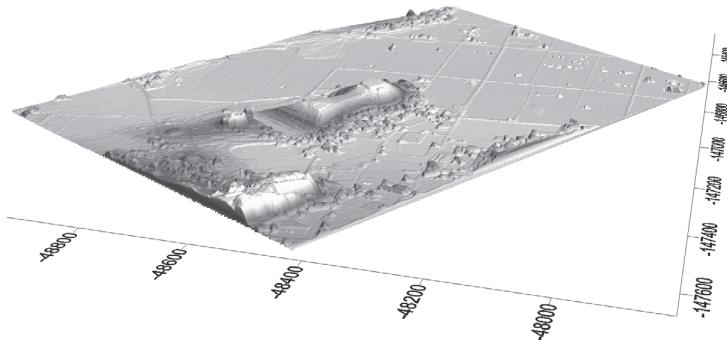


図8 造山古墳の墳丘と周辺地形とを合成した鳥瞰図（筆者作成）

録し後処理をコンピュータ上で行なうため、平板測量のように紙図面をコピーし貼り合わせるといった作業が必要ない。また、等高線図だけでなく平面格子（本論では10cm メッシュ）ごとに標高値をもったDEM（数値標高モデル：Digital Elevation Model）を作成することによって、3Dモデルを使用した様々な解析が可能となる。

図7は、DEMをもとに造山古墳の鳥瞰図を、コンピュータグラフィックス（以下：CG）で表現したものである。誌面上では一方から視点（の画像）だが、コンピュータ上では、任意に回転・拡大・縮小等が可能である。さらに墳丘と古墳の周辺地形を合成させたものが図8である。デジタルで測量することによりデータ同士の結合が容易になり、また俯瞰する方向・角度などを自由に設定できることで、墳丘や周辺地形の観察にも使用可能なデータとなる点は、デジタル測量のひとつの利点である。

### 3.2 カフィル・カラ遺跡の3Dレーザースキャナを用いた3次元計測

3Dレーザースキャナは、機械からレーザーを対象物に照射し、その反射光をセンサーで受け、対象物からスキャナまでの距離・角度を計測することで、対象物の3次元座標データを取得する装置である。レーザー光を使用するため、非接触で計測可能であり、対象物を物理的に傷める心配がない。またスキャナが自動的に座標を計測・記録するため、計測者は開始ボタンを押してしまえば、計測終了まで他に何も操作をする必要がない。

3Dレーザースキャナには、目的や計測対象によって、さまざまな種類・形態のものが開発されている。図9は、筆者が使用したことのある3Dレーザースキャナの種類と計測対象の差異を簡単にまとめたものである。右から左に向かうに従って、計測可能な範囲（計測対象の大きさ）が大きくなっている。建造物や地形測量に主に使われる計測可能な対象物との距離が数百m（Long Range）の大型のものや、土器など小さな資料計測に用いられる数十cm（Short Range）の小型のものなど様々な種類があり、加えて機種によってスキャンポイントの最小間隔やスキャン精度も異なる。

本節では、筆者が実際に調査に参加した海外での3Dレーザースキャナによる

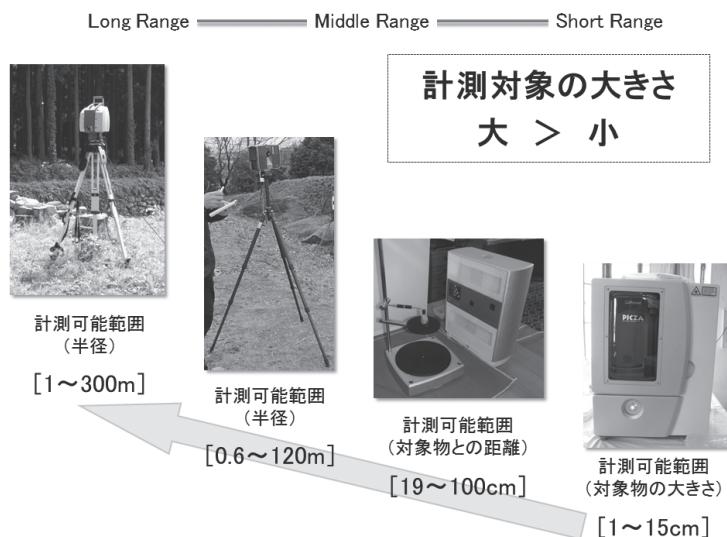


図9 3Dレーザースキャナの種類と計測対象の差異（筆者作成）

計測事例についてみていきたい。3D レーザースキャナによる 3D モデル作成など、デジタル技術を用いて遺跡そのもののデジタルアーカイブ化を実施した、中央アジア・ウズベキスタン共和国にあるカフィル・カラ遺跡での調査成果（2013 年～2016 年）を中心に述べる。

筆者は従前から、インドやイランなどユーラシア各地において、GPS やトータルステーションを用いた遺跡の地形測量・写真測量による遺構の記録、3D レーザースキャナを用いた遺物の 3D モデル作成など、デジタル技術を考古学調査において活用し、その諸成果を GIS（Geographic Information Systems: 地理情報システム）を用いて総合化する手法を開発・実践してきた。この研究経過の中で、2011 年と 2012 年にウズベキスタン・サマルカンド州ダブシア遺跡の発掘調査に参加する機会を得た。ダブシア遺跡の調査では、遺跡測量には GPS を用い、調査成果（遺構・遺物出土位置および環境復元データ）の記録にはトータルステーションや写真測量の技術を用いるなど、得られたすべての情報を GIS 上で管理・検索・参照・分析する手法を採用している（寺村 2013）。

しかし、ウズベキスタン国内の他遺跡における発掘調査においては、ダブシア遺跡のような調査成果の記録・管理方法がまだ確立されてはおらず、地形測量結果や出土遺物を使用して都市遺跡同士の比較研究を今後進めていくに当たっても、データの標準化の問題など様々な課題が存在することが明らかになってきた。

そうした現状を鑑みて、単に出土遺物（土器など）の整理を行なうだけではなく、他遺跡の遺構や出土遺物とも比較できるような共通のフォーマットによる記録が必要となるが、3D レーザースキャナで計測し 3D モデルを作成する手法は、そのために特に有効であると考えられる。デジタルで計測・作成された遺構・遺物の 3D モデルは、コンピュータ画面上で拡大・縮小・回転などの操作が自由にできる上に、従来から考古学の主流である方眼紙に手書きで記録した実測図よりも、形状等に関し格段に精度が高いデータを取得することができる。

本調査では、サマルカンドに所在するウズベキスタン考古研究所に赴き、研究所に収蔵・保管されているダブシア遺跡出土遺物の 3 次元計測、写真撮影、データベース作成を実施した。また、ダブシア遺跡の発掘調査終了後に新たに調査を開始した、サマルカンド近郊に所在するカフィル・カラ遺跡の地形測量、出土遺

物のデジタルアーカイブ化にも着手した。ダブシア遺跡の調査成果に関しては、詳細が報告書として既に出版されている（宇野・アムリディン 2013）。そこで、本論では主にカフィル・カラ遺跡での調査成果についてみていきたい。

カフィル・カラ遺跡は、サマルカンドのアフラシアブから南東約 12km に位置するソグド時代（およそ A.D. 4 ~ 7 世紀頃）の城塞都市である。遺跡の中心部にある城塞部（シタデル）の地形測量には、本論で先述したトータルステーションによるデジタル測量と、3D レーザースキャナによる 3 次元計測を併用し、測量と 3D デジタルドキュメント化による記録情報の充実化を図った。調査の一番の目的としては、トレンチ（発掘調査区）における建物の壁や柱穴跡などの遺構検出状況をデジタルで記録し、城塞全体の記録と合わせて城塞内の構造（部屋の配置）などを一体的に把握することにある。

3D レーザースキャナは、FARO 社製の FARO<sup>®</sup> LASER SCANNER FOCUS<sup>3D</sup> を使用した（図 10・11）。FOCUS<sup>3D</sup> の特徴は、小型・軽量で持ち運びが容易で、三脚も一般カメラ用の三脚を汎用でき、航空機にも持ち込み可能な点など海外調査で使用するには最適と考えている。また、計測スピードが速く、最大計測点数が 976,000 点／秒（カタログ値）で、タッチスクリーン・ディスプレイを備えおよび SD メモリカードに直接データを保存できるため、調査現場にノート PC を持ち込む必要がないのもメリットである。計測可能範囲はおよそ 120m で、先に図 9 で挙げたスキャナの種類の中では、ミドルレンジをカバーする機種である。

まず、トータルステーションによる城塞部の地形測量は、先に述べた造山古墳



図 10 FARO の発掘現場での使用状況  
(2014 年 筆者撮影)



図 11 スキャナ本体の拡大写真（筆者撮影）



図 12 カフィル・カラ遺跡の城塞部近景  
[北西から] (2014年筆者撮影)

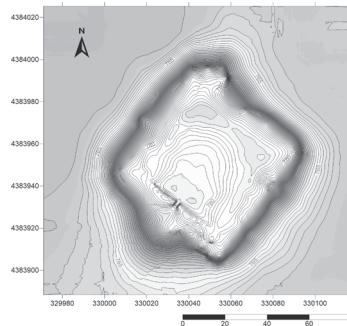


図 13 城塞部の等高線図  
[等高線の間隔: 1m]

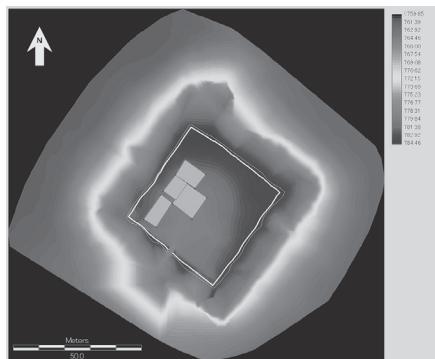


図 14 DEM による城塞部の平面図とトレンチ配置図 (色の濃淡は標高を表す)

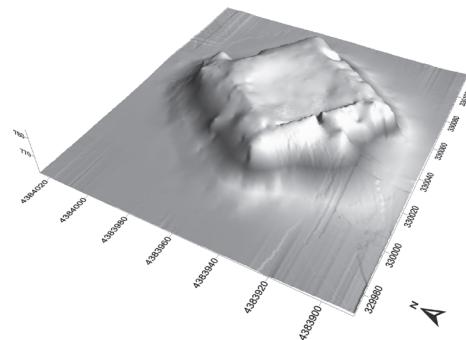


図 15 DEM による城塞部の鳥瞰図

(図 13～図 15 筆者作成)

のデジタル測量調査と同様の方法で実施した。その理由としては、トータルステーションによる計測と3Dレーザースキャナによる計測を比較検討するため、貴重なデータとなると考えたからである。なお、測量にあたっては、全ての座標値は世界測地系にもとづいたUTM座標 [単位: m(メートル)]を使用している。

図12がカフィル・カラ遺跡の城塞部の近景、図13がトータルステーションによる計測点から作成した城塞部の等高線図である。周囲を城壁に囲まれ、その内側の平坦面は南西方向にかけてやや窪んだ形状を、等高線はよく表現している。そしてその窪みは、南西側の城壁の途切れた箇所(門)に向かって低くなっている。

さらにDEMを作成し、その上にトータルステーションで計測した城壁上端の

ラインと、トレーニング（2013年度の発掘調査区）の形状を重ね合わせて表示したものが図14である。城壁はほぼ正方形であり、現状での出入り口は南西側1箇所だけであることがわかる。また、多少崩れているものの、傾斜の立ち上がりから頂部の一番高い場所までを計測すると、城壁は約20mの高さである。またDEMを利用して3Dモデルとしての鳥瞰図を作成したものが図15である。正方形に近い城塞の形状が視覚的によく把握できる。

また、各トレーニングから出土した遺物で主要なものに関しては、出土状況の写真を撮影し、トータルステーションで位置情報も記録している。そのため、出土位置を等高線やDEM上に重ね合わせることで、どの場所からどういった遺物が出土したのかに関する情報を、コンピュータ上で管理・分析することが可能となっている。

図16は、3Dレーザースキャナによる3次元計測データにもとづいた、異なる

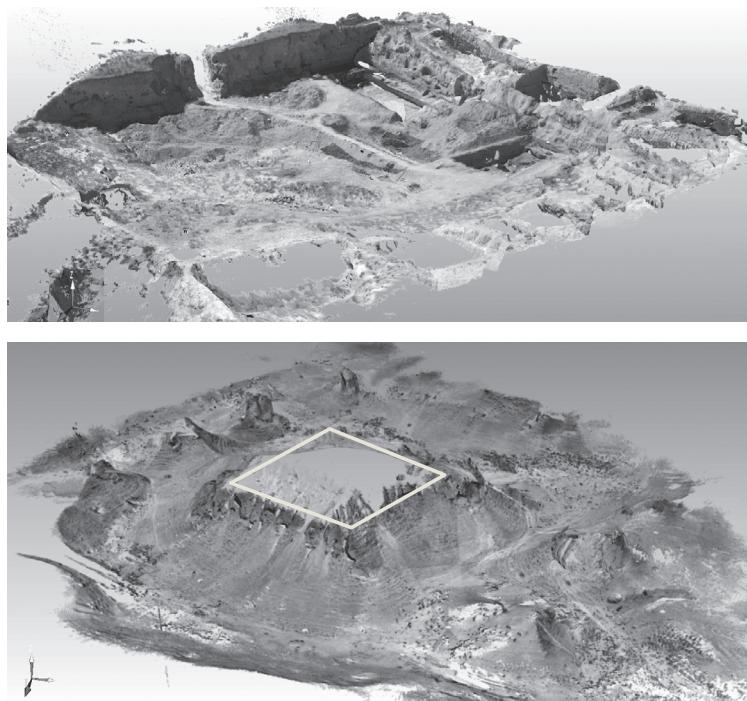


図16 3Dレーザースキャナによる城塞部の3次元計測データにもとづいた3Dモデル（鳥瞰図）  
[上：城塞内上面（北東方向より）、下：城塞全景（南西方向より、方向は異なるが白線内が城塞内上面にあたる）]（筆者作成）

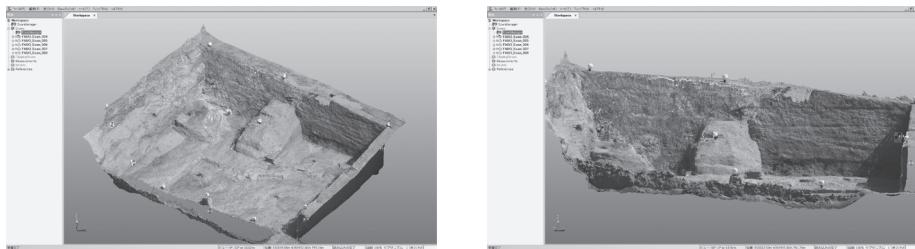


図17 トレンチ（図14中の北側中央の発掘調査区）の3Dモデル  
[左：北東方向からの鳥瞰図と、西向きの立面図]（筆者作成）

方向・角度から俯瞰した城塞部の3Dモデルである。記録する必要があったトレンチ内（の遺構面）だけでなく、その周囲に盛られた廃土（掘り上げた土）の様子や、調査員が通る道、それ以前の調査時に検出した建物の部屋遺構なども、ややデータの欠損はあるが、ありのままが記録されている（図16・上）。調査時の周囲の景観をも記録した客観的なデータとしては意味を持ってくると考えている。もちろん、トレンチ内の遺構（壁や床面）の検出状況がはっきりと分かるように、図17のように、トレンチの箇所だけ切り取り、詳細を観察できるようにすることも可能である。

上記のように、トータルステーションによるデジタル測量で、大枠での城塞部の形状情報を押さえた上で、次に3Dレーザースキャナを使用し、より詳細な遺構情報を取得した。等高線図やDEMによる地形情報の表現方法は、遺跡や遺構の平面的なカタチを把握するには最適といえるが、遺構の細かな凹凸や色といった、現場でなければ把握できないような情報を得るには、限界があることも事実である。その点、3Dレーザースキャナによる3次元計測は、色も含め遺構の詳細を「あるがままの姿」で記録するため、調査中のある時点における状況をそのままデジタル記録として残すことが可能である。

調査中のある時点での遺構の状況を3次元で記録し、さらに掘り下げた段階でより古い時期の遺構が検出され、その記録も行なう。そしてそれらの記録は、同じ座標系で位置情報を持っているため、記録を重ね合わせていくことで時間軸による遺構の変遷をも把握することができる。

さらには、計測データをオルソ画像として書き出すことで、遺跡の真上から垂直に見下ろしたような図面を作成することも可能である（図18・上）。現地にお



図 18 発掘調査区の 3 次元計測データから作成したオルソ画像（上が北）[上]  
(筆者作成) と実際の遺構写真（西から）[下]（四角形に凹んでいる箇所が柱穴跡）(2015 年 筆者撮影)

いて実際にこのような垂直方向の画像を撮影しようとすれば、航空写真やドローンを使用する必要があるが、コンピュータ画面上においては、3 次元計測データを用いて遺跡上空にいるようなバーチャルな画面作成・表現により、遺構の平面図の代替となる可能性を持っているといえよう。

### 3.3 ダネットイ遺跡の SfM による遺構の 3 次元計測

遺跡全体の地形測量の後に、本節では発掘調査で検出された遺構に関して、写真測量の原理を応用した 3 次元計測方法についてみていくことにする。近年、デジタルカメラで撮影した複数の写真画像によって 2 次元のデータから 3 次元形状

を復元する技術 SfM (Structure from Motion) が注目を集めようになってきている。SfM は、「あるシーンをカメラの視点を変えながら撮影した複数枚の画像から、そのシーンの3次元形状とカメラの位置を同時に復元する手法」(満上 2011) である。

トータルステーションなどの測量機材を使用せずとも、デジタルカメラとデータ処理ソフトウェアさえあれば、比較的容易に3Dモデルを作成することができることから、考古学にも盛んに援用されるようになってきた(山口 2016; 田畠 2016; 寺崎 2016など)。また、SfMで計算したカメラの位置と点群の情報を使用し、より密な点群とメッシュの作成、ならびにテクスチャマッピングの技術はMVS (Multi-view Stereo) と呼ばれている。両者を組み合わせたSfM-MVSの援用事例のひとつとして、筆者がおこなったインドでの調査成果について述べる。

筆者は、2016年度にインド・グジャラート州西部のカッチ地方に所在するダネッティ遺跡において、SfM-MVSによる遺構の記録を実施した。ダネッティ遺跡は、バローダ大学 (M.S. University of Baroda) のアジットプラサード教授を中心とする調査チームが発掘調査を実施し、筆者も共同研究者として、その調査に参加した。

ダネッティ遺跡はインダス文明期（およそ紀元前2500年）よりやや古いと考えられる墓地遺跡である。グジャラート州における当該時期の墓地遺跡は珍し



図19 表土を取り除いた時点での土壙墓の様子 (P. アジットプラサード氏撮影)

く、当時の人々の埋葬方法に関する貴重な情報を得ることが期待された。墓の形態としては、地面に穴を掘り遺体や副葬品の土器などを埋葬し上部に蓋石を被せるタイプの土壙墓（図 19）が 20 基ほど確認されており、これらのうち発掘調査した 2 基を 3 次元計測した。

計測方法は、墓壙の周囲 360 度全方向からデジタルカメラで遺構を撮影していく。その際に、隣り合う各画像の撮影範囲が 6 ～ 7 割はオーバーラップするよう撮影する。穴の底部まで記録するために、撮影角度を変えて、横方向に加えやや上斜め方向からも撮影した（図 20）。この土壙墓の場合は、周囲から 30 枚の画像を撮影し、それらをソフトウェア上でデータ処理することで、3D モデルを作成した。データ処理に使用したソフトウェアは、Agisoft PhotoScan Pro である。

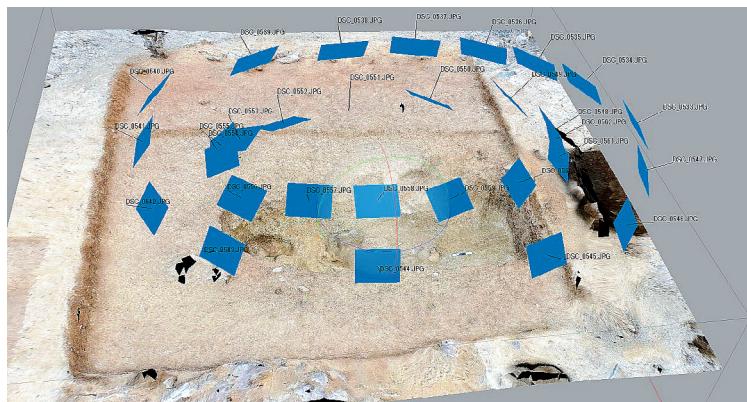


図 20 SfM によって計算された遺構上の写真撮影位置（四角形の箇所）（筆者作成）

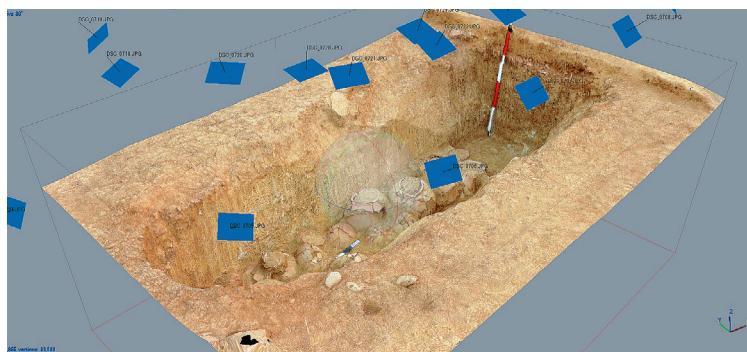


図 21 検出遺構の 3D モデル（斜め上方からの鳥瞰図）（筆者作成）

土壙墓内からは大量の副葬された土器が見つかっており、土壙の形状に加え土器の副葬状況も、検出状態をそのまま3次元記録できていることが分かる（図21）。本論の誌面上では2次元の画像として提示しているが、3Dモデルを作成することにより、コンピュータ上では画像の拡大縮小はもちろんのこと、回転や距離計測等も自由にできるようになる。

そして3次元モデル化により、真上から見下ろしたような正射投影図（オルソ画像）を作成することが可能となる（図22）。オルソ画像は、画像の形状や位置が正しく配置されているため、画像上で面積や距離などを正確に計測することができる。今回の計測では、副葬品としての土器の位置などがオルソ画像として記録・作成されている。考古学におけるいわゆる平面図が必要な場合には、そのオルソ画像上で土器の輪郭をトレースすれば、線図としての平面図も作成できる。

図23は、一辺約10mの発掘調査区と遺構検出状況のオルソ画像である。このように広範囲の発掘区では、真上から垂直方向の平面写真を撮影するためには、従来は櫓を組んで高所からの撮影か、あるいは上空からの航空写真が利用されてきた。しかし、SfM-MVSを用いれば、地上からの写真撮影のみで、遺構と遺物出土状況のありのままの平面写真を作成でき、かつ比較的容易に3次元で記録で



図22 土壙墓と土器検出状況のオルソ画像（筆者作成）

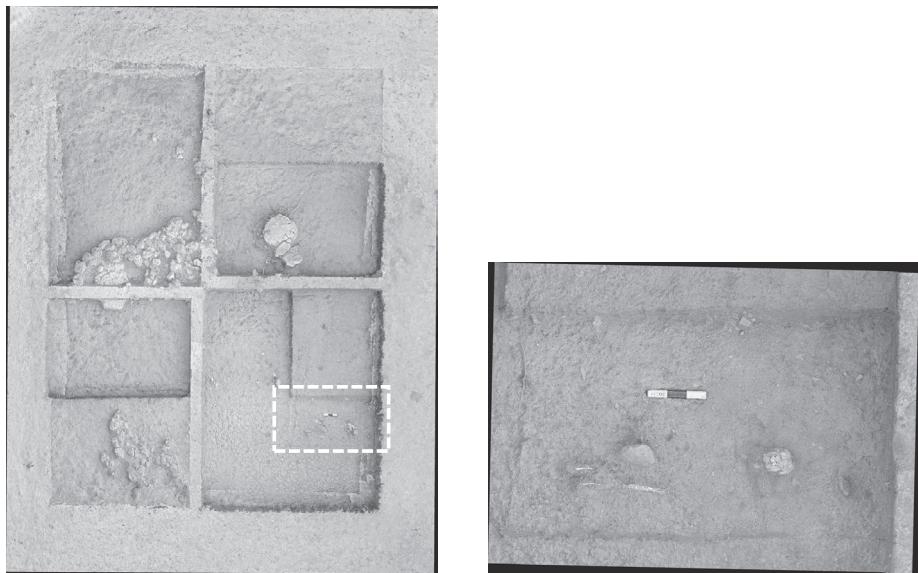


図 23 発掘調査区と遺構検出状況のオルソ画像（右図は人骨検出位置〔左図の白点線枠〕の拡大画像）（筆者作成）

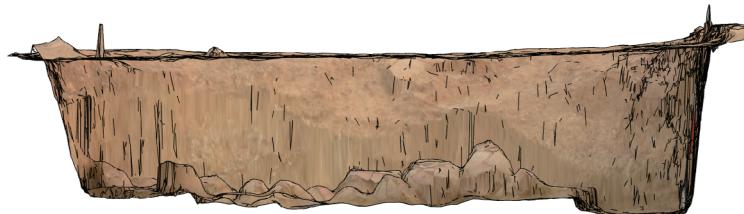


図 24 ダネットイ遺跡の土壙墓の断面（長軸）見通し図（筆者作成）

きる事に加え、必要に応じて従来の線図面も作成できることは、デジタル活用のひとつのメリットといえるだろう。

そしてデジタルならではの最大の利点は、従来の記録方法では不可能であった表現が可能となることであろう。一例を挙げるならば、コンピュータ処理による断面の透過表示である。図 24 は土壙墓の断面見通し図であるが、墓の垂直方向の手前断面を透過表示させることで土器の床面での配置状況が側面から見通せるようになっている。従来通りの手書き図面で、土壙の壁面を透過させる図法はなく、こうした図面を作成することは非常に難しい。

このような図面を作成することにより、土壌床面の高低差や、土器（底部）の配置状況、土器同士の位置関係（垂直分布）など、平面で記録しただけでは分からなかった縦（上下）方向の情報が得られるようになる。モデル作成に写真を利用しているため、土器の形状だけでなく色情報も含めて図化される点も大きなメリットである。

課題としては、作成したモデルを他者と共有したい場合などに、同じソフトウェアを使用しなければ情報共有できない点であろうか。しかし、3D-PDFという型式で書き出す方法や、他形式のファイルフォーマットでのエクスポートなど、データそのものの共有方法はいくつかの選択肢が用意されている。最大の問題点は、結合する写真枚数が多くなってしまい、コンピュータのマシン性能が要求される処理が必要になった場合の、CPUの処理速度やメモリなど、ハード面のスペックかもしれない。

今回の土壌墓一基の調査現場におけるデータ処理（画像枚数30枚）では、Intel® Processor: CPU@1.30GHz, 実装メモリ（RAM）: 8.00GBのノートPCを使用して、オルソ画像作成までの一連の作業時間は40～50分ほどであった。高密度の点群を生成する際の質（Quality）は、Mediumに設定している。Highに設定すると、計算量も増えるためデータ処理により多くの時間がかかるが、今回の調査ではMediumとHighそれぞれの点群の質の差はそれほどみられなかった。MediumとHighの質の差が、生成された3Dモデルにどのように影響していくのかについては、今後の検討課題である。

上記のような課題はあるものの、SfM-MVSによる遺構の3次元計測については、トータルステーションやGPSなどの大がかりな機材を持ち込む事が難しい海外での調査において、威力を発揮する手法といえるだろう。現地のその場でデータ処理することが理想ではあるが、デジタルカメラだけ現地に持ち込んで写真撮影をしておけば、データ処理は研究室に戻った後にも可能である。

### 3.4 デジタルで計測する利点とデジタルデータの活用

前節までに、トータルステーションを用いたデジタル地形測量（造山古墳）、3Dレーザースキャナを用いた遺跡測量及びデータ処理（カファイル・カラ遺跡）、およびSfM-MVSによる遺構の3次元計測（ダネットティ遺跡）について、従来の測

量方法との比較を交えつつ、3次元計測で得られたデジタルデータから等高線図の作成や3次元モデル化、オルソ画像の作成について述べた。

トータルステーションを用いる場合、計測者が地表面観察に基づいて計測場所を自由に決定できる反面、計測にかかる時間と労力は、大きな遺跡になればなるほど増大する。造山古墳のように全長約350mの前方後円墳では、全計測点約12万点のデータを取得するために、1年あたり約1ヶ月間の調査を3年間継続し、トータルで3ヶ月ほどかかっている。その点、3Dレーザースキャナは、短時間で多量の3次元点群情報を取得できるのが特徴である。カフィル・カラ遺跡の一辺約60mの城塞上面の計測では、7～8箇所からの計測作業を2～3人で実施して1日あれば完了した。

3Dレーザースキャナを用いた遺跡測量は、従来よりも時間と労力を軽減し、精確かつ詳細なデジタルデータを得ることが出来る。その一方、樹木など計測対象以外の部分のノイズ除去や補正が必要で、計測後のデータ処理等に作業時間を要する。古墳墳丘などで3Dレーザースキャナを使用する場合には、墳丘上に樹木や下草が茂っている山林の中の古墳などであれば、確実な墳丘面を計測するのが困難な場合もあるだろう。そうした場合には、樹木を避け下草等を通過して直接墳丘面を計測できるという点において、トータルステーションでの計測方法に利があるといえよう。

次に、こうしたデジタルデータの活用法としては、考古学における景観研究への援用を挙げておく。例えば、現状での風景写真と、3Dで復元したCG画像を上下に並べ比較したものが図25である。DEMを基に作成したCGは、土に埋まった、あるいは年月の経過で失われてしまった過去の景観を、現代に視覚的に描き出す。造山古墳の場合は、古墳時代の前方後円墳をデジタルで測量することで、CGで古墳を立体的に表現することができるようになった事例である。実際の古墳は樹木が覆い茂り墳丘を観察することが難しくとも、地表面を直接計測したデータから墳丘のCG復元をすれば、樹木や葉などの影響を受けずに墳丘の観察が可能となり、当時の古墳の見え方を再現できるうえ、現状での古墳の構造や土砂が流れた痕跡などを視覚的に把握できるようになる。こういった点は、デジタルで情報を扱うメリットとして、強調しておきたい。

また、3Dレーザースキャナを用いた計測における一番のメリットは、計測し

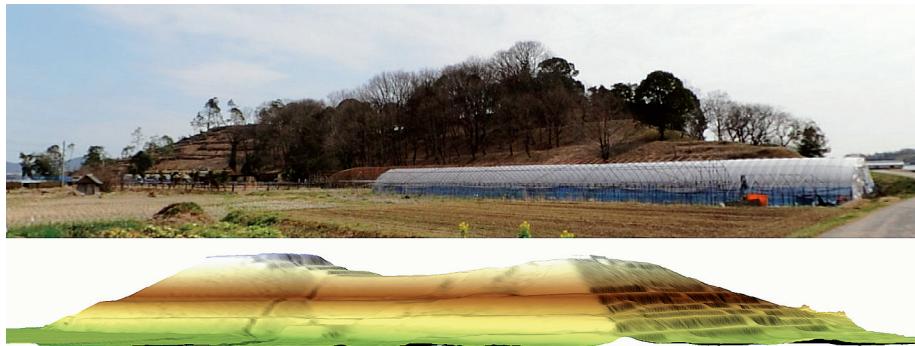


図 25 前方後円墳（岡山市・造山古墳）の風景写真〔上〕（2012 年筆者撮影）と、3D で復元した CG 画像（写真とおおよそ同じ位置・方向から）〔下〕（筆者作成）

た遺跡や遺構が地球上のどの場所に存在するのかを、空間情報として持つことができる点にある。世界測地系という基準に基づいて緯度・経度（あるいは UTM 座標）などで、地球上での位置情報をデータそのものが持つことによって、時空間での情報統合が可能となる。

図 26 は、カフィル・カラ遺跡の城塞部上面の 3D レーザースキャナによる 3 次元計測データを、位置情報（X 軸 = 南北方向、Y 軸 = 東西方向、XY の向き = 測量座標系）を基に、各年度調査時の遺構面の情報（3D モデル）を時間軸で重ね合わせたイメージ図である。考古学の発掘調査は、基本的に上層から下層に向けて土を掘っていくが、上層が遺構の時期が新しく、下層になるほど遺構の時期が古くなる。このように、遺構（当時の人間の生活面）の変遷をひとつのシステムの中で時間的に追っていくことができるようになる。

また、各年度の遺構面の様子を 3 次元的に記録・表現することは、周囲の景観を記録することに他ならない。これは、19 世紀末にピット・リバースが実践したような遺跡・遺構・遺物の 3 次元的な空間記録を、現代の技術を用いて、より精確な情報として記録できるようになったといえる。ピット・リバースが報告書に掲載した概観図（図 3 参照）で表現した情報の質を、遺構の大きさなどの数値的な精確さや色情報も含めて、より高次の情報として物質文化研究に活用できることを意味する。

さらには、遺跡のどこを発掘し、どういった遺構が検出されたのかに関する情報を写真測量や 3 次元計測で記録することで、遺構の配置や遺物の分布といった

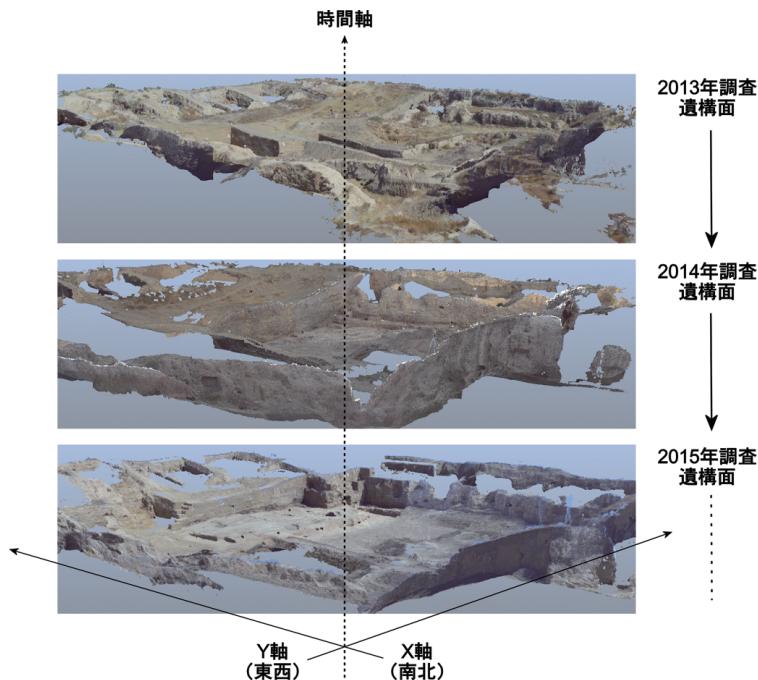


図 26 各年度調査成果の時間軸による 3D モデル重ね合わせイメージ図 (筆者作成)

人間活動の痕跡が、空間的にどのような意味を持っているのか分析・考察することが可能である。

SfM-MVS による遺構の 3 次元計測に関しては、SfM の手法によってオルソ画像が作成できることは先に述べたが、調査段階において 3D レーザースキャナを使うのか、あるいは SfM を選ぶのかは、計測対象の規模や特徴などによって両者を使い分ける必要があると思われる。例えば、造山古墳やカフィル・カラ遺跡のように遺跡の規模が大きい場合は、手持ちのカメラで撮影する SfM では難しく、3D レーザースキャナを使うか、あるいはドローンなどを利用した空中からの写真撮影が必要となってくるだろう。どういった場面でどちらの手法を用いるのかについて、レーザー計測と SfM の精度などを比較・検証していく必要があり、今後の検討課題としたい。

## 4 遺物の「形（カタチ）」に関する3次元情報の取得

### 4.1 拓本と実測図

前章までに、遺跡や遺構の3次元計測による形（カタチ）に関する情報取得について述べてきた。次に本章では、遺跡から出土した遺物の形や色情報の取得方法についてみていくことにする。

従来、考古学においては、遺物の形に関する情報を拓本や実測図として記録してきた。現在でも大学における考古学の実習講義などでは、拓本のとり方や実測図の書き方を習得するカリキュラムが組まれている場合がある。

拓本は対象物に画仙紙をあて、濡らした脱脂綿等で紙を張り付け、タンポで墨をつけると凹の部分には墨がつかず紙の白さが残り、凸の部分に黒く墨がつく（図27）。遺物表面から直接凹凸の情報を得るために、瓦の紋様や土器に刻まれた線刻、埴輪の刷毛目（ハケメ）などの記録には、とても有効な方法である。欠点としては、曲面のモノの拓影は平面に変換され、器物の正確な寸法を写し取った情報ではなくなることや、遺物に直接紙を張り付けるため、保存状態の良いモノでなければ拓本をとることができず、モノを傷めるリスクが多少なりとも存在することである。

一方、実測図は、ディバイダや真弧（マコ：型取り器）・キャリパー・定規などを使用し、対象とするモノの形を方眼紙に実寸で写し取る手法である（図



図27 拓本用具（2016年筆者撮影）

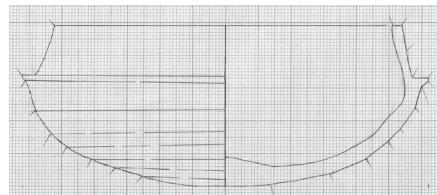


図28 土器（須恵器）の実測図（筆者作成）

28)。日本考古学では、図の半分にケズリやハケメなどモノの外面の情報、もう半分に断面（器壁の厚み）や内面の調整などの情報を書くことが多い。実測図は、記録者が必要と判断する情報を取捨選択し、情報を絞って共通の約束事に従い“記号化”することにより、3次元の情報を2次元に落とし込むことで、モノの形を図面化（情報化）する行為といえる。そのため、ある程度の訓練が必要であり、実測に慣れた者と初心者とでは完成した図面にも差が出てくる。また多少の絵心も必要となるなど、客観的な精度の高い「カタチの情報」という点においては、注意が必要だろう。

次節では、そうした従来用いられてきた遺物の形の情報記録方法と、3D レーザースキャナを使用した遺物の形や色情報の取得方法との比較を通して、デジタルのメリット・デメリットを論じる。

#### 4.2 遺物の3次元計測と3D モデル作成の方法

遺物の3次元計測は、計測後のデータ処理の過程を経て、3D モデルを作成することを目的とする。コンピュータと専用のソフトウェアを用いて3D モデルを作成し、現実空間の3次元の「モノ」をデジタルで表現・描画する過程のことを3D モデリングとよぶ。考古学・文化財科学における3D モデリングの目的は、デジタル技術を援用し文化財のデジタルアーカイブ化を進めることにあるといえる。

3D モデルの特徴として、遺物の大きさ・形や文様・文字などの表示が手書きの実測図よりも正確にでき、コンピュータ上で回転・拡大・縮小などが自由にできることが挙げられる。そのため、デジタルアーカイブ化することにより、博物館に展示されている遺物の背面や裏面など本来見ることのできない箇所の観察も可能になる。さらには、楔形文字などの凹凸も正確に表現できるため、文字の判読にも威力を發揮すると考えられる。本節では、実際の計測事例をもとに、遺物の3次元計測と3D モデル作成の方法について述べていく。

3次元計測のための3D レーザースキャナは種類がいくつかあるが（図9参照）、前章で言及したウズベキスタンの調査や、イラン国立博物館における楔形粘土板文書の調査では、Next Engine 社製の「3D Scanner HD」を使用した。この3D レーザースキャナは、Multi Stripe Laser Triangulation という仕組みで、4本のレーザー



図29 3D レーザースキャナの使用風景（2014年筆者撮影）

を機械本体から外側（対象物）に向けて照射し、自動回転する回転台と同期・併用することでスキャンを行なう（図29）。スキャン時の最小点群密度が、0.127mmのトライアングルで点群データを取得可能で、比較的浅い凹凸も計測でき、土器や封泥の細かな紋様等を計測するに当たっては十分な解像度であると判断した。また、比較的小型の器械であるため持ち運び易く、海外の調査地に運び込むことも容易であり、計測方法が非接触式のため遺物を傷めることもない。

このスキャナは、対象物の大きさや凹凸の粗雑によって計測時のサンプリング間隔を変更できる。計測時には、細かな凹凸のある面は密度を高く（HD モード）、平滑な面は点群密度を低くする（SD モード）など、柔軟に対処しながら作業を実施した。HD モードによる計測と SD モードによる計測の差は、スキャニング時間にも表れ、HD モードの方が密度高く計測できるが、その分計測時間は長くなる。また、点群密度の差は、モデル化したときの遺物表面の再現性にも大きな影響を与える。イラン国立博物館での計測事例で、その差をよく表したものが図30である（Watanabe and Teramura 2016）。明らかに、HD モードの方が、遺物表面の凹凸をクリアに表現しているのが分かるだろう。

点群データの内容そのものは単純で、XYZ の位置情報を持ったテキストデータである。これは、遺跡のデジタル地形測量や遺構の3次元レーザー計測と原理は同じで、対象物の大きさが変わっただけである。その点と点の間を線で結び「ポリゴンメッシュ」を作り（図31・右上）、そのメッシュの隙間を埋める（内挿）ことで、モデルを作成する（図31・右下）。

計測モードを違えて計測した点群データは、後のデータ処理段階で、3D CAD

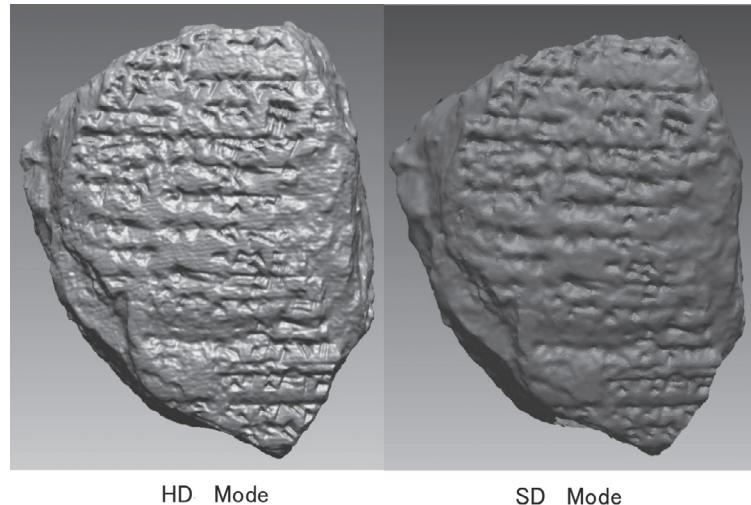


図 30 HD モードと SD モードによる 3D モデル表面の再現性の差異  
(Watanabe and Teramura 2016 より)

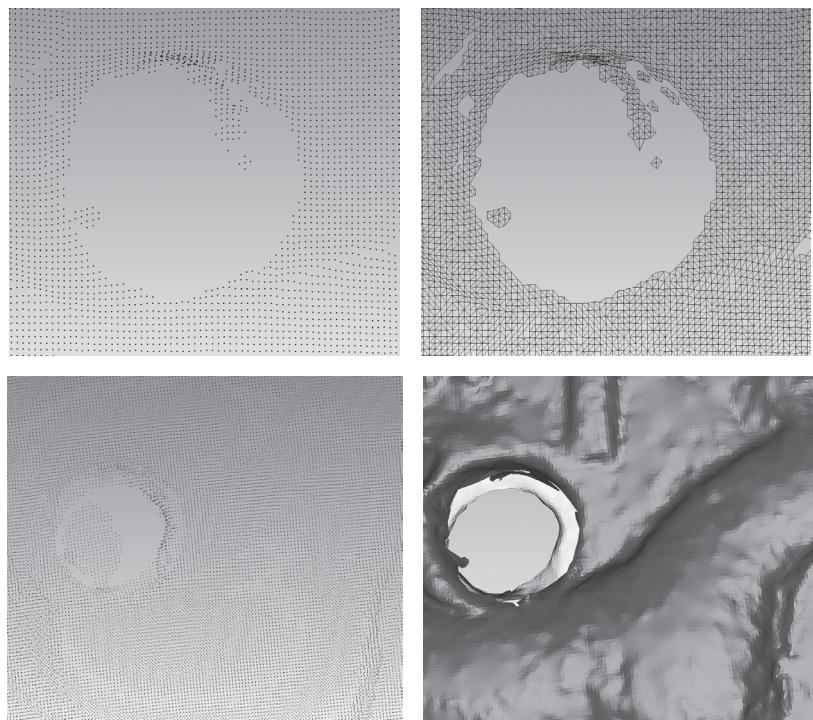


図 31 3D モデル作成におけるデータ処理の過程（インド・カーンメール遺跡出土遺物を例に）（筆者作成）

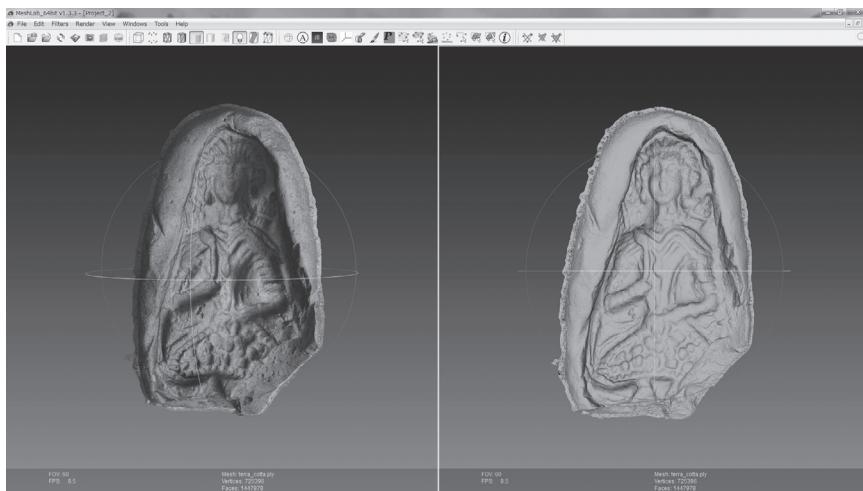


図32 カフィル・カラ遺跡出土の土製品の3Dモデル（寺村 2015 より）



図33 3Dモデルの一例（各土器の左側＝色情報なし、右側＝色情報あり）  
 左：ダブシア遺跡出土の土器【把手付き壺、10～11世紀頃】  
 右：カフィル・カラ遺跡出土の土器【把手付き壺、7～8世紀頃】  
 （寺村 2015 より）

ソフトなどを使用し、ノイズ除去・面同士の位置合わせ・オブジェクト化の3工程をそれぞれに行ない、オブジェクト同士を位置合わせして合成する。さらに不要面の削除・データ欠損部の穴埋め処理をして、最終的に1つのモデルを作成する手順を踏んだ。

上記の方法で、ウズベキスタンにおいて遺物の3次元計測をおこなった。ダブシア遺跡の出土遺物に関しては土器を中心に約20数点（山口 2013）、カフィル・カラ遺跡の出土遺物に関しては、土器、封泥、コインなどを中心に約80点のス

キャンを実施した。使用した3Dレーザースキャナは、点群の計測と同時にカラー写真も撮影し、テクスチャとして貼り付ける機能を備えている。そのため、3Dモデルの表示方法として、色情報のあり・なしも選択することができる（図32・33）。

また、特にカフィル・カラ遺跡の発掘調査においては、ソグド時代のコイン（171点）、封泥（183点）が出土し、それら全点の写真撮影とデータ整理作業も実施している。約80点の計測対象資料のうち、約60点は状態の良い封泥の3次元計測である。また、これらの遺物に関しては、遺物写真・形状情報・出土位置等をデータベースに格納する作業も同時に並行して実施している。

調査区内の1カ所から、これだけまとまった数のコインや封泥が出土することは稀であり、遺跡の性格を検討するうえでも貴重な資料である。それらの遺物に関する情報について、出土した場所の位置情報と、デジタル化されたモノそのものの3次元形状が、セットでデータとして記録されていることの意義は大きいと考えている。

#### 4.3 3Dモデル援用のメリット・デメリット

3次元計測は、遺物の“形状情報”的アーカイブが最大の目的である。スキャナによっては内蔵カメラによって色情報も同時に取得できる機種もあるが、市販されているデジタルカメラより性能は劣っており、あくまで補足の情報と捉えたほうがよい。もちろん、スキャナで取得する色情報で十分なレベルの場合もある。しかし、実物の再現性という観点からすると、色情報が不正確な場合は、モノの色に関わる議論に用いることはできない。色情報も重視した3次元形状を取得したい場合は、SfM-MVSを遺物の計測に利用する方法が有効である（文化財方法論研究会2016）。

一方で、文字や線刻の判読には、色情報が絶対に必要というわけではなく、むしろ凹凸だけを精確にデジタル記録する方が重要である。図34は、モノクロ画像にした土器破片（インド・カーンメール遺跡出土）の3Dモデルであるが、色情報がなくとも表面の線刻や裏面のナデ（調整痕）の様子がよく分かる。

また、限られた例ではあるが、色情報が邪魔をして文字の判読が困難になるといった事例も存在した。現地（海外）での遺物観察には時間的な制約もあり、帰

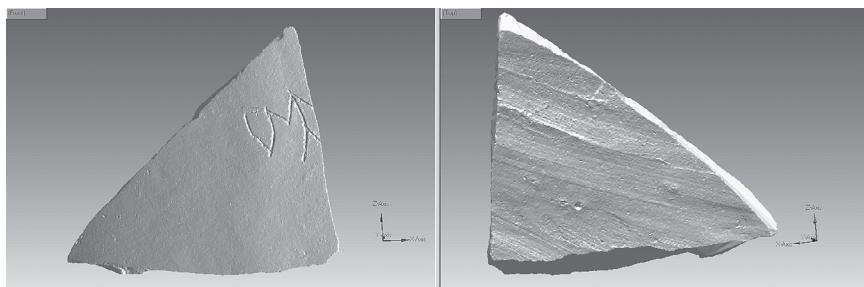


図34 土器に刻まれた線刻と内面調整（3D モデル）（筆者作成）

国後にデジタル撮影写真から文字の判読を試みたが、イラン国立博物館所蔵の楔形粘土板文書資料のうちの一点は全体的に黒く表面の摩耗も進み、写真による文字部分の陰影が確認困難であった。3D モデルにおいても色情報付きのデータでは陰影が読み取りにくく、あえて色情報をなくし、モノクロにした方が文字の陰影がはっきり浮かび上がった。最終的には、3D モデルによる確認と写真補正ソフトにより加工した写真画像を併用して観察することで、判読を進めることができた（Watanabe and Teramura 2016）。従来の2次元情報（写真）と組み合わせることで、どちらか一方では難しかった文字に関する情報の取得が成功した例といえる。

海外での遺物調査は、モノ（文化財）そのものを国外に持ち出すことは難しく、どうしても現地滞在中に情報を記録せざるを得ない。デジタルカメラによる写真撮影が最も容易な方法であるが、先に述べた例のように、写真だけでは不十分な場合も考えられる。その点、3次元計測によるデジタルデータは、帰国後も3次元情報として遺物観察に使用することができる。もちろん、そのためには観察に耐えうる精度・点群密度で計測しておく必要があるが、3次元計測を実施するメリットは大きい。

考古学・文化財科学における遺物研究は、大前提として「実物」を観察した上でカタチの情報を記録し研究の基礎資料とすることが基本となるが、実物は保存状態や材質によっては脆くなっている場合もあり、慎重に取り扱うことが求められる。こうした状態では、誰でもが観察・実測することは困難である。また、一般への公開も状態の良いものに限定され、かつ展示の影響による劣化のリスクも存在する。閲覧に対するハードルを下げ、資料そのものへのリスク軽減を図るた

めに、3D モデルは実物の代替品となり得る可能性がある。

一方、デメリットは、点群密度を細かくすればするほど一点の計測に時間がかかり、大量の遺物を処理しなければいけない場合に限界がある点だろう。また近年になり 3D レーザースキャナ本体の価格は、比較的安価になってきているものの、個人で購入するにはやはり高額な機器である。コストパフォーマンスという点においては、従来の道具を安価で容易に入手できる拓本や実測には及ばない。また、報告書として図面を公開する場合には、デジタルで 3 次元情報を記録していても 2 次元の画像として掲載せざるを得ず、その点においては実測図のように必要な情報を抽出して、最初から 2 次元の図面に写し取った図の方が、必要にして十分である場合も多い。

デジタル機器やそれにより計測されたデータは、決して万能ではなく利用する目的・対象によってメリット・デメリットが存在する。そのことを十分に理解し、調査計画の段階から何と何をどう組み合わせて利用するのか、また調査の目的となる情報を調査対象物からどのように最大限取得し、それをどう活用するのかというビジョンも今後議論していく必要があるといえよう。

## 5 博物館収蔵資料への応用

### 5.1 文化資源情報としての 3D モデル

ここまで、考古学・文化財科学分野における遺跡や遺物の形（カタチ）に焦点を当て、デジタル地形測量や 3D レーザースキャナを使用した遺跡測量、遺構・遺物の 3D モデル作成など、それぞれの 3 次元計測の技術論・方法論の視座からその成果について述べてきた。近年のコンピュータやデジタル技術の発展により、文化財などに代表される様々な文化資源（文化資料）のデジタルアーカイブ化が進んできていることは、何度も述べてきた通りである。本章では、情報考古学をもとにより広く文化資源に関わる情報について考える。具体的には博物館収蔵資料を題材として、それらをデジタル化する意義と、その活用方法を最後のまとめとして考察してみたい。

前章では、海外の博物館（テヘラン・イラン国立博物館）所蔵の粘土板文書

や、ウズベキスタンにおける発掘調査で出土した遺物のデジタルアーカイブ化の作業について述べてきた。デジタル化された資料データは、考古学における遺物研究にとってきわめて有効であり、これまで海外の重要な資料が3Dモデルによって日本で公開された例はまだ稀であり、従来写真ないし実測図に頼らざるをえなかった研究に新たな次元をひらくものである（図35）。

3Dレーザースキャナを用いた遺物の3次元計測は、資料を傷つけることなく3Dデータを取得できるうえに、そこから3Dモデルを作成することで文化資源の劣化・破損・紛失の対策としても有効である。将来、資料がもし破損したとしても、これらのデータとモデルがデジタルアーカイブ化されていれば、計測時（破損前）の状態で遺物を確認することが可能になる。3Dモデルで表示された資料は、コンピュータ上で回転させ、裏面・側面等の確認もでき、極めて現物と近い形での研究が可能になるほか、拡大・縮小も自在である。

ただし、こうした基礎データをどのような「カタチ」で一般社会や研究者コミュニティに還元するのかといった、検討しなければいけない課題が残されている。

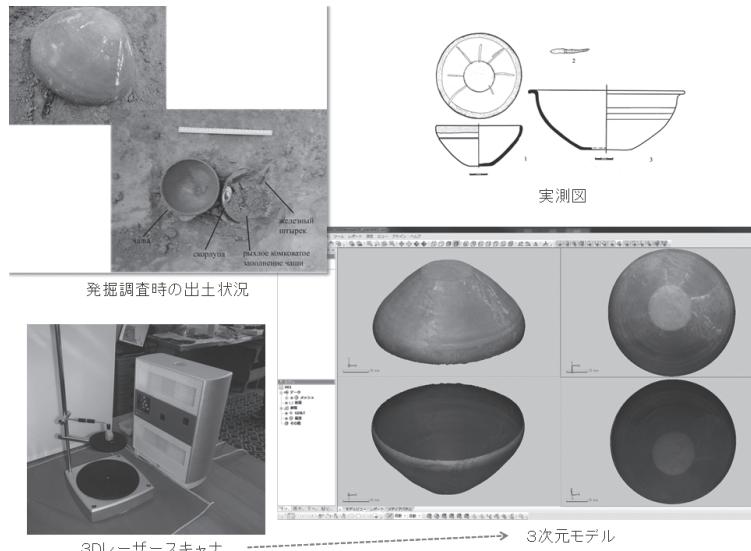


図35 遺物の記録方法 [写真・実測図・3Dモデル]  
(寺村 2014 より)

## 5.2 3次元データの共有

本節では標本資料を対象に、3次元計測データを現地の研究者やコミュニティへ還元する研究の取り組みの一環について述べる。国立民族学博物館（以下：民博）が実施しているフォーラム型情報ミュージアム・プロジェクトのひとつ『台湾および周辺島嶼の物質文化』プロジェクト（代表：野林厚志）では、国際ワークショップ（ビレッジミーティング）「台灣資訊跨國多語言交流平台（台灣資料の国際多言語交流プラットフォーム）」を、台湾で開催した。

そのワークショップ開催に当たり、事前に筆者は民博が所蔵している標本資料一点の3次元計測を実施し、ワークショップにおいてデータ共有に関する発表をおこなった。フォーラム型情報ミュージアム・プロジェクトの目的として、民博が持つ標本資料の情報を高度化し、資料情報について現地のコミュニティ（ソースコミュニティ）との双方向のやり取りを通して、人類の文化資源として情報を共有化し後世に伝えていくことが挙げられているからである。

3次元計測に際しては、Next Engine 社製の「3D Scanner HD」を使用し、スキャナ付属の回転台ではなく、資料を載せることができる大きさのターンテーブルを準備して、手動で回転させながら計測をおこなった（図36）。資料を立てた状態でターンテーブルを45度ずつ回転させ8方向から計測し、資料を横向きにして底面と頂部の2方向から計測したものを加えた計10ショットの計測データを利用し、それぞれを位置合わせして合成し、ひとつの3Dモデルとして完成させた。

図37が計測した資料の3Dモデルである。凹凸の差が大きくレーザー光が届きにくく影になった箇所に、データの欠損部分がややあるが、一方、底面に記された文字情報も写真の色情報としてテクスチャがきちんと貼られていることが分かる。

ワークショップにおいて筆者は、計測した3Dモデルをコンピュータ画面上で実際に操作し、現地の人々へのプレゼンテーションをおこなった。これにより、資料の実物を国外に持ち出せないとしても、遠く離れた海外において3Dモデルを活用して一定程度の資料観察が可能となることを示した。しかし、台湾と日本の間でのデータ共有については、いくつか問題点がある。コンピュータ画面上で



図36 国立民族学博物館所蔵標本資料の3次元計測風景  
[標本番号:H0020172, 標本名:彫像, 地域:台湾]  
(2016年筆者撮影)

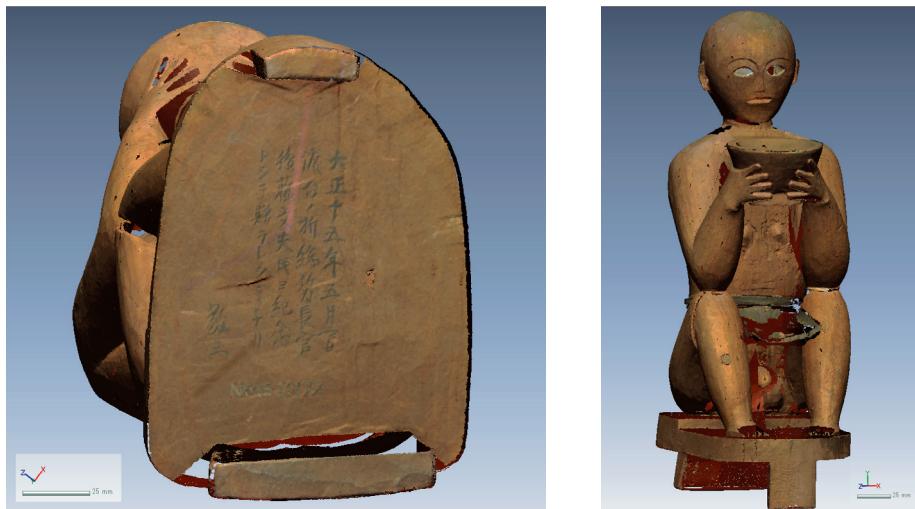


図37 標本資料の3Dモデル (筆者作成)

は現地の人々と我々の間で情報を共有できるが、オリジナルの計測データそのものを共有しようとした場合のデータフォーマットの問題が、そのうちのひとつである。

計測時に使用したものと同じソフトウェアを双方が持ていれば、共通のデータ形式のファイルを扱えるため、ハードディスクドライブなどを通してデータのやりとりが出来るが、そうでない場合には、データ形式の変換など特定の作業が必要となる。通常、そうした作業のためのツールのひとつである点群処理ソフトウェア自体は高額であり、点群処理ソフトウェアを購入できる者だけがデータを

扱えるというのであれば、研究対象としての3次元計測データの汎用性が著しく限定されてしまう。3D-PDFやVRML（Virtual Reality Modeling Language）形式などで書き出して共有するという方法もあるが、それらを作成するデータ処理に工夫が必要であり、データ共有についてさらに検討の余地が残されている。

そこで、台湾でのワークショップにおいては、汎用性のあるロー（Raw）データ（数値のテキストデータ）での共有方法を提案した。3Dモデルを、「.obj」形式など世界共通のフォーマットであるテキストデータで書き出すことにより（表1）、フリーのソフトウェアを利用してローデータをやり取りすれば、再現性を伴った3次元データ共有が可能となる。3次元点群を処理するMeshlabやCloudCompareなどのオープンソースプログラムの開発も急速に進んでおり、フリーで入手できることから、そうした点群処理ソフトウェアの利活用も増えてきている。それらを利用するにより、3Dモデルの可視化やコンピュータ画面での確認・情報共有、3Dプリンタでのプリントアウトなど、使用するコンピュータなどの機材が異なる海外のコミュニティを含め、他者とのデータ共有は進展していくと考えられる。

先述のイラン国立博物館収蔵資料のような海外の資料をデジタルアーカイブ化する作業においては、基本的に資料の国外持ち出しが禁じられている。そのよう

**表1** 3Dモデルのローデータ（数値のテキストデータ）の一部  
【計測した点群の頂点（vertex）をX, Y, Zの座標値として記録】

#vertex count = 331,289				[単位 = cm]
No.	X	Y	Z	
1	0	0	0	
2	67.509506	-271.513763	-30.007509	
3	59.713177	-255.10495	-23.057432	
4	59.73317	-254.926147	-23.0306	
5	59.896393	-255.105331	-23.141354	
6	72.403679	-288.259735	-37.513763	
7	46.645599	-196.663834	-90.657646	
8	46.828209	-196.663803	-90.479683	
9	15.55664	-211.07045	-27.402208	
10	-22.1898	-206.464691	-71.81086	
11	-22.26247	-206.645981	-71.995956	

（筆者作成）

な状況において、有効な解決策となり得る方法が、3Dプリンタによる実体モデル（レプリカ）作製である。現地で取得し作成した3次元のデジタルデータと3Dモデルを持ち帰り、遺物のレプリカを作ることが出来れば、日本国内においてそのレプリカを用いて資料の再現・検証が可能となる。

3Dプリンタは、ABS樹脂やアクリル系光硬化樹脂、石膏等を使用して、データを元に立体（3次元のオブジェクト）を造形するデバイスのこと、3次元のオブジェクトを作製することを、3Dプリンティングと呼ぶ。従来は高価な機械であったが、近年は一研究者でも購入可能な比較的安価な3Dプリンタも市販されている。ただし、問題は、その3Dプリンタで作製される遺物のレプリカが、「形」のうえでどこまでの精度があるのか、言い換えれば、どれだけ実物に忠実な復元がなされているのか、考古学において検証はほとんどなされていないという点にある。

3Dスキャナによるデジタル化の過程においても、スキャンの解像度の差異によるデータ精度の問題が指摘でき、3Dスキャナによる計測の限界（計測マシンのスペックや、ガラスや磁気などレーザー計測に向かない資料が存在する）など、まだまだ検討の余地は残されている。またレプリカ作製の過程においても、出来上がった「形」の精度に関して比較検証した文化資源に関する研究事例は、あまりみられない。

そこで、1点だけであるが、2014（平成26）年度に国立民族学博物館で導入した3Dプリンタを使用し、イラン国立博物館所蔵の楔形粘土板文書のプリントアウトを試みた。3Dプリンタは3D Systems社製の「ProJet® 460Plus」で、石膏による遺物の3次元オブジェクトを作製した（図38）。現時点では1点のみの試みであるため比較できる対象が存在しないが、プリントアウトされたオブジェクトは、比較的忠実に再現されているものの、楔形文字の凹凸の再現性という点では、ややシャープさに欠ける印象であった。

今後は、そうした3Dプリンタを使用して出来上がったオブジェクトの「形」の精度検証を行ない、その結果を資料のデジタルアーカイブ化の作業へフィードバックし、より高次の遺物研究へと進展させる必要があるだろう。どの程度の解像度でスキャンしたデータであれば、3Dプリンタでオブジェクトを作製した際に、どれだけ実物に近い「形」で造形されるのか。またそれは3Dプリンタの性

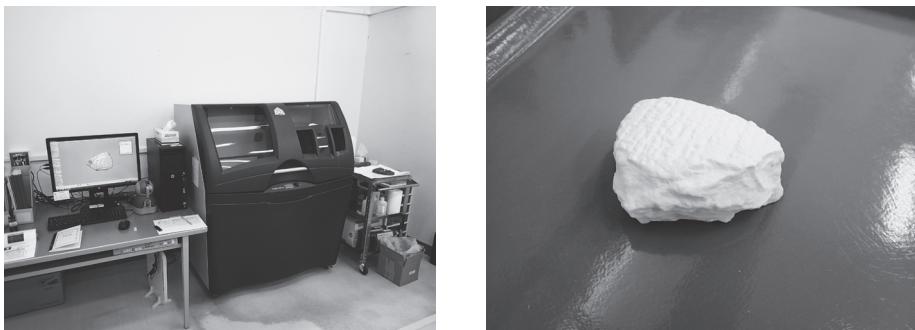


図38 国立民族学博物館所有の3Dプリンタ“ProJet® 460Plus”[左]とプリントアウトした遺物サンプル[右]（2015年筆者撮影）

能でどこまで差が出てくるのか、といった事柄まで検討することが今後の課題である。

日本国内においては、様々な分野で資料のデジタルアーカイブ化は実施されてきているが、文化財・文化資料に関しては、画像データベースなどは進んでいるものの、3次元でのモデル作成はまだまだ少ない。一個人が一研究者の視点で、デジタルデータの取得からレプリカ作製までの一連の作業を実施することはあまり行なわれていないのが現状である。

一方で、海外も含め大規模な博物館や研究機関などでは、専門の業者に委託してレジン・シリコンで型取りしてのレプリカ作製なども実施されている。しかし、レプリカ作製のためのシリコンによる型取りは、資料に直接触れるため破損などの危険性があり、保存状態の悪い資料ではなかなか採用できない。そういう点において、3Dレーザースキャナは非接触式であるため資料を傷めることなく、そのデジタルデータからのオブジェクト造形も、現物資料を介さずに実施することが可能である。3Dレーザースキャナを用いた3次元計測は、博物館資料の保存・継承という点からも、文化資源研究に貢献できると考えている。

## 6 おわりに

本論では、情報考古学的手法を用いて、遺跡から遺構・遺物まで様々な文化資源情報の取得から、その活用方法までを考察してきた。最後に、再度考古学・文

化財科学分野における3次元計測・3Dモデルの意義について触れ、文化資源情報を研究することのまとめとしたい。

デジタルによる3次元計測ならびに3Dモデル作成は、科学（サイエンス）としての手続き的再現性の保証についても優位な点が特筆できるであろう。3次元で計測された同じローデータ（Raw Data）を使用し、同じ手続きを踏んでデータ処理をすれば、誰が実施しても同じ結果が得られるはずである。こうした保証があつてこそ、従来、領域横断的に取り扱うことが困難であった様々な異次元（異分野）のデータを、同列で扱うことが可能となり、モノを重視した物質文化研究へと応用・発展できると考えている。

また、3次元計測は、現実世界での周囲の景観あるいは対象物を、ありのまま計測しデジタルで記録するという意味では、文化資源の視覚化において非常に有効な手法である。3章で提示した、造山古墳、ダネットティ遺跡の土壙墓やカフィル・カラ遺跡の3Dモデルは、従来とは異なる新しい形での文化資源の収集・デジタルアーカイブ化を実施したものといえる。3次元計測データが、従来の2次元（平面）での情報だけでなく、遺跡とその景観を時間的・空間的に捉えることで、物質文化研究にどのように援用するかを考えるための基礎データにもなることを明らかにした。

さらに4章では、遺物を3次元計測し3次元モデル化する手法と、その実践例を提示したが、文化資源としての文化財や文化遺産を、真に人類共有の財産とするためには、その存在を客観的・具体的な情報というカタチで提示し、一般レベルも含めた共有を図る必要がある。

情報の共有化に関しては、5章で台湾の標本資料についてテキストデータでの共有方法を提案したが、まだまだデータそのものの共有について検討の余地が残されている。3DモデルをWEB上で公開するなど、様々な方法が考えられるが、現時点ではまだ解決には至っていない。3DモデルのWEBでの公開とは、インターネットを通じたWEBブラウザ上で、資料の3Dモデルを閲覧者が拡大・縮小・回転など自由に動作させることが出来るような仕組みを指すが、WEB上で動作させるための仕組みをどのように構築するかなどを検討する必要がある（山口・山路2016）。

5章の後半で、博物館収蔵資料の3Dモデルの活用法の一つとして、3Dプリン

タによるレプリカ（複製品）作製を挙げた。より実物に近い精密な遺物のレプリカが比較的容易に作製可能となれば、これは将来的には、オリジナルの資料を保管している海外の機関や研究者へも、レプリカから得られた新たな知見がフィードバックされる可能性がある。文化資源の保存・活用が可能な環境を整えることにも貢献でき、国際的な学術交流を促進することにもなるだろう。また、プリントアウトされた3Dオブジェクトは、体験型博物館の資料としても非常に有効であると考えている。

このように、資料のデジタルデータだけでなく、そこから造形されたオブジェクトの両方を公開し比較検討することで、世界中の考古学・歴史学、文化交渉史、人類学などの多くの分野の研究者に重要な資料を提供できると考えている。さらには文化財に関するデジタルによる記録やレプリカ作製など、新しい技術によって資料の保存を行なうことにより、今後の継続的な文化資料の保護や研究が促進されることが期待される。

情報にも、さまざまな階層があることは先に述べたが、いわゆる情報全般としてのInformationから、発信の意図を切り取った断片で客観的分析・評価のために準備する情報がData（データ）と捉えることができる。「情報が溢れている」という言葉を耳にすることがあるが、この場合の情報の多さは単にデータとしての量が多い状況を指しているにすぎない。膨大なデータの中から本当に必要とする情報を得るために、データを取捨選択し、他のデータと相互にリンクさせて自分なりの解釈・分析を加えることで、自らの中で知識や知性の源となる“Intelligence”としての“情報”を集積していくことが重要であり、そのような情報を収集し研究する姿勢を常に持ち続けたい。そうすることで、データサイエンスとしての「情報考古学」の目的にも合致する研究が生まれてくると考えている。

## 謝 辞

本研究の成果の一部（ウズベキスタンにおける遺物の3Dモデル作成）は、公益財団法人三島海雲記念財団より助成を受けた「平成26年度学術研究奨励金」による研究成果を含む。ここで改めて厚く御礼申し上げる。またウズベキスタンでの調査の一部は、JSPS科研費（JP23401035）・基盤研究（B）「先端技術を用いた中央アジアのシルクロード・シルクロード都市の総合的調査

研究」(研究分担者:寺村裕史、研究代表者:宇野隆夫)の助成を受けたものである。ウズベキスタンでの発掘調査に参加する機会をえていただき、データの使用を快諾いただいた帝塚山大学文学部の宇野隆夫教授には、末筆ではあるが心より感謝申し上げる。

国立民族学博物館所蔵標本資料の3次元計測に関しては、人間文化研究機構による基幹研究プロジェクトとして、国立民族学博物館が推進するフォーラム型情報ミュージアム・プロジェクトの「台湾および周辺島嶼生態環境における物質文化の生態学的適応」の成果の一部である。標本資料の計測並びに計測データの使用を快諾いただいたプロジェクト代表の野林厚志教授には厚く御礼申し上げる。さらに国立民族学博物館所有の3Dプリンタを使用する際には、日高真吾准教授、和高智美・河村友佳子・橋本沙知各氏のご協力を賜った。ここに記して御礼申し上げる。

最後に、インドにおけるダネットイ遺跡の3次元計測は、JSPS科研費(JP26300029)・基盤研究(B)「墳墓からみたインダス文明期の社会景観」(研究代表者:寺村裕史)の助成を受け実施した研究成果の一部である。

## 注

- 1) 日本学術振興会・科学研究費助成事業 平成28年度『系・分野・分科・細目表 付表キーワード一覧』において、「人文学—史学—考古学」の下位キーワードとして「(10) 情報考古学」が挙げられている。
- 2) TIN(モデル)は、Triangulated Irregular Network(不整三角形網)の略で、最小の角を最大化するという基準により、不規則的に分布する点を結んで三角形網を生成する「ドローネ三角形分割」に基づいて作られた連続的な小三角形網である。TINのメリットは、不規則な点分布を現実の空間サーフェスに近似させ、表現することができる。

## 参考文献

### 〈日本語〉

- 一瀬和夫・菱田哲郎・米田文孝・西田敏秀  
 2008 「牧野車塚古墳の再検討—墳丘測量調査の成果から」『日本考古学協会第74回総会研究発表要旨』pp. 68-69。
- 宇野隆夫  
 2006 「集落と遺跡景観論」宇野隆夫編著『実践考古学GIS—先端技術で歴史空間を読む』p. 164, 東京:NTT出版。
- 宇野隆夫・ベルディムロドフ・アムリディン編  
 2013 『ダブシア城—中央アジア・シルクロードにおけるソグド都市の調査』京都:真陽社。
- 宇野隆夫編  
 2006 『世界の歴史空間を読む—GISを用いた文化・文明研究』(国際シンポジウム第24集) 京都:国際日本文化研究センター。
- 国立民族学博物館  
 2015 『国立民族学博物館 要覧2015』大阪:国立民族学博物館。
- 城倉正祥編  
 2017 『殿塚・姫塚古墳の研究—人物埴輪の三次元計測調査報告書』(早稲田大学東アジア

寺村 情報考古学的手法を用いた文化資源情報のデジタル化とその活用

- 都城・シルクロード考古学研究所調査研究報告第3冊) 東京:六一書房。
- 城倉正祥・青笛基史  
2015 「千葉県栄町龍角寺50号墳のデジタル三次元測量・GPR調査」早稲田大学総合人文科学研究センター研究誌3: 213-238。
- 田畠幸嗣  
2016 「カンボジアの文化遺産調査における三次元計測の取り組み」城倉正祥・平原信崇・渡邊玲編『3D考古学の挑戦—考古遺物・遺構の三次元計測における研究の現状と課題』(早稲田文化芸術週間2016シンポジウム予稿集) pp. 58-64, 東京:早稲田大学総合人文科学研究センター。
- 津村宏臣  
2006 「遺跡間視認関係と縄文集落の立地」宇野隆夫編著『実践考古学—GIS先端技術で歴史空間を読む』pp. 181-203, 東京:NTT出版。
- 津村宏臣・寺村裕史  
2002 「考古学における“Digital Heritage”的現状と課題—ギリシャ・クレタ島イラクリオンで開催されたCAA2002 Conferenceに参加して」『GIS—理論と応用』10(2): 79-86。
- 2005 「考古学・文化財科学における“情報”とはなにか—時空間情報科学としての理論化のPerspective』『日本情報考古学会第20回大会発表要旨』pp. 79-85。
- 寺崎秀一郎  
2016 「開発途上国における3D技術の応用と展開 中米ホンジュラス共和国の事例から」城倉正祥・平原信崇・渡邊玲編『3D考古学の挑戦—考古遺物・遺構の三次元計測における研究の現状と課題』(早稲田文化芸術週間2016シンポジウム予稿集) pp. 65-69, 東京:早稲田大学総合人文科学研究センター。
- 寺村裕史  
2001 「ヴァイキングの島で開かれた国際学会—『CAA2001』に参加して」『考古学研究』48(2): 18-21。
- 2003 「GISを用いた遺跡立地と眺望に関する空間分析—古墳時代集落と古墳を題材として」『地理情報システム学会講演論文集12』pp. 423-426。
- 2006 「古墳築造場所の選択と眺望分析」宇野隆夫編著『実践考古学GIS—先端技術で歴史空間を読む』pp. 204-223, 東京:NTT出版。
- 2008 「墳丘デジタル測量の方法論的課題と展望」新納泉編『岡山市造山古墳測量調査概報』(2005~2007年度科学研究費補助金基盤研究(B)研究成果報告書) pp. 13-32。
- 2009 「古墳のデジタル測量と空間データ処理—岡山市造山古墳のデジタル測量の成果から」『考古学研究』56(3): 92-101。
- 2012 「造山古墳陪塚の墳丘デジタル測量」新納泉編『岡山市造山古墳群の調査概報』(2008~2011年度科学研究費補助金基盤研究(A)研究成果報告書) pp. 46-60。
- 2013 「ダブシア城調査の方法」宇野隆夫・ベルディムロドフ・アムリディン編『ダブシア城—中央アジア・シルクロードにおけるソグド都市の調査』pp. 5-10, 京都:真陽社。
- 2014 『景観考古学の方法と実践』東京:同成社。
- 2015 「古代シルクロード都市遺跡の比較研究—出土遺物のデジタルアーカイブ化を通して」『公益財団法人三島海雲記念財団 研究報告書』平成27年度(第52号) pp. 127-130。
- 堂ノ本智子  
2008 「第2章 牧野車塚古墳測量調査」一瀬和夫編『京都橋大学文化財調査報告2007—牧野車塚古墳・熊ヶ谷3・4号墳』pp. 3-6, 京都:京都橋大学文学部。
- 中谷正和・中島和哉  
2006 「岐阜県養老町象鼻山古墳群の調査とGISの利活用」宇野隆夫編著『実践考古学GIS—先端技術で歴史空間を読む』pp. 341-355, 東京:NTT出版。
- 新納泉  
2008 「測量成果の概要」新納泉編『岡山市造山古墳測量調査概報』(2005~2007年度科学研究費補助金基盤研究(B)研究成果報告書) pp. 3-12。
- 新納泉・寺村裕史  
2006 「GPSを用いた墳丘デジタル測量—岡山県造山古墳を例に」『日本考古学協会第72回総会研究発表要旨』pp. 122-125。

- 西本豊弘・津村宏臣・谷正和・新見倫子・斎藤岳・秦光次郎  
 2000 「コンピュータグラフィックスによる遺跡景観の復元」『動物考古学』15: 21–31。
- 濱田耕作  
 2004 [1922]『通論考古学』(新装版) 東京: 雄山閣。
- 文化財方法論研究会  
 2016 『文化財の壇』第4号。
- 満上育久  
 2011 「私の研究開発ツール（第46回） Bundler: Structure from Motion for Unordered Image Collections」『映像情報メディア学会誌』65(4): 479–482。
- 三好博喜  
 2005 「等身大のGIS活用—小規模組織での実践例」『京都府内的重要遺跡を読み解く—埋蔵文化財をめぐる情報環境』(第13回京都府埋蔵文化財研究会発表資料集) pp. 83–90。
- 矢田直樹  
 2011 「竹林寺古墳の測量調査」『生駒市内遺跡発掘調査概要報告書 2010年度』(生駒市文化財調査報告書 第30集) pp. 13–24, 生駒: 生駒市教育委員会。
- 山口欧志  
 2013 「ダブシア城出土遺物の3次元レーザー計測」宇野隆夫・ベルディムロドフ・アムリ  
 ディン編『ダブシア城—中央アジア・シルクロードにおけるソグド都市の調査』pp.  
 317–326, 京都: 真陽社。
- 2016 「モンゴル文化遺産のデジタルドキュメンテーション」城倉正祥・平原信崇・渡邊玲  
 編『3D考古学の挑戦—考古遺物・遺構の三次元計測における研究の現状と課題』  
 (早稲田文化芸術週間 2016シンポジウム予稿集) pp. 23–27, 東京: 早稲田大学総合  
 人文科学研究センター。
- 山口欧志・山路正憲  
 2016 「歴史芸術文化遺産の3Dデジタル資源化とその活用」『2016年度アート・ドキュメ  
 ンテーション学会年次大会発表要旨集』p. 3。
- 渡邊樹編  
 2006 『史跡 東之宮古墳 第1次調査概要』(犬山市埋蔵文化財調査報告書第3集), 犬  
 山: 犬山市教育委員会。

### 〈英語〉

- Binford, L. R.  
 1972 *An Archaeological Perspective*. New York: Seminar Press.
- Chapman, H.  
 2006 Processing spatial data. *Landscape Archaeology and GIS*, pp. 67–87. Stroud: Tempus  
 Publishing Ltd.
- Clark, D. L.  
 1972 Models and paradigms in contemporary archaeology. In D. L. Clark (ed.) *Models in  
 Archaeology*, pp. 1–60. London: Methuen.  
 1977 Spatial Information in Archaeology. In D. L. Clark (ed.) *Spatial Archaeology*, pp. 1–32.  
 London: Academic Press.
- Hodder, I. and C. Orton  
 1976 *Spatial analysis in Archaeology*. Cambridge: Cambridge university press.
- Lock, G. and Z. Stančić (eds.)  
 1995 *Archaeology and Geographical Information Systems: A European Perspective*, pp. 211–229.  
 London: Taylor & Francis.
- Pitt-Rivers, A. H. L. F.  
 1892 *Excavations in Bokerley Dyke and Wansdyke, Dorset and Wilts 1888–1891*. Vol. III.  
 Cranborne Chase Rushmore, printed privately.
- Watanabe, S. and H. Teramura  
 2016 3D Modelling of the Cuneiform Tablets and Bricks Possessed by the National Museum of

寺村 情報考古学的手法を用いた文化資源情報のデジタル化とその活用

- Iran. In K. Maekawa (ed.) *Ancient Iran -New Perspectives from Archaeology and Cuneiform Studies, Ancient Text Studies in the National Museum*, Vol. 2, pp. 173–179, Iran-Japan Project of Ancient Texts.
- Wheatley, D. and M. Gillings  
2002 *SPATIAL TECHNOLOGY AND ARCHAEOLOGY: The Archaeological Applications of GIS*, pp. 107–124. London: Taylor & Francis.

## 参考資料

日本情報考古学会

<https://www.archaeo-info.org/> (2017年6月6日閲覧)