

三次元データの可能性 – 活用と課題 –

野口 淳 (奈良文化財研究所)

The Potential of 3D Data in Archaeology: Utilization and Issues

Noguchi Atsushi (Nara National Research Institute for Cultural Properties)

・高密度点群 / Point cloud ・公開・共有 / Sharing ・データ形式 / File format
・実測 / Measurement and drawing

はじめに

近年、考古学・埋蔵文化財の調査研究において、三次元データ（以下、3Dデータ）の利用が急速に進みつつある。機器・技術の進歩も早く、応用範囲も多岐にわたるため、全体を総覧し適切な評価を行なうことはまだ難しいが、現時点での注目すべき取り組みや、実践現場において認識されている課題について概観する。

1. 3Dデータとはどのようなものか

考古学・埋蔵文化財の対象は、そのほとんどが立体的な3D形状を有する。このため計測¹⁾と記録にあたっては、多くの場合x, y, z座標で指示される三次元的な位置や、点・線の集合体としての〈かたち〉の情報が必ず取得されるが、計測機器・手法、記録または表示媒体の制約により二次元に変換され利用されることがほとんどである。

近年、発掘調査現場における地形や遺構の計測にはトータルステーション (TS) が多用されている。TS計測では、すべての計測点はx, y, zの三次元座標で記録される。これを平面、断面など図面の投影方向によりx-y, x-zのように1つの次元を捨象し、結線・図化する。計測記録は3Dだが、中間・最終成果は2Dとして出力されている。

一方、急速に普及が進むレーザーキャナーないし3D写真計測 (フォトグラメトリ) は、TS計測と

は異なる。計測機器・条件によるが、たとえばレーザーキャナーであれば1cm²あたり数百～数百万点²⁾の密度で、計測可能な対象の表面を網羅的に記録する。これを高密度点群 (dense cloud)、ポイント・クラウド (point cloud) などと呼ぶ。遺跡微地形や遺構から土器・石器などの遺物まで、対象の大小にかかわらず、またTS計測であっても、三角定規やデジバイダを利用する場合でも、際立った凹凸部や傾斜変換点を計測記録し必要に応じ中間を補完する従来の計測とは、根本的な設計思想が異なる。

網羅的な計測記録が従来の方法と異なる最大の点は、その再現性の高さにある。従来の計測記録では、その「精度」³⁾は計測点の正確さ+線の精細さとして理解されてきたと言えるだろう。しかし点・線が囲む面の内部の情報は空白である。仮に各計測点の3D位置座標を保持し、計測点を結ぶ線分にも3D空間上の位置・ベクトルを与えたとしても、隙間の空いたフレーム・モデル (スケルトン・モデル) としてしか示すことができない。

一方、高密度点群記録による3Dデータは、上記のような間隔・密度を有し、従来の方法では線分に囲まれた空白の面であった範囲についても情報をもつ。つまり解像度・分解能の観点からは、これまでとは比較にならない詳細な、情報密度の高い記録である。さらに3D写真計測、および一部のレーザーキャナーでは、フルカラー画像を、高密度点群の各点を三角形ないし四角形の格子 (メッシュ、ポリゴ

ン)としてつないで「面付け」した3Dモデル(サーフェイス・モデルまたはソリッド・モデル)にテクスチャとして貼り付けることが可能である。

その分、データ量は従来の計測記録と比較して膨大なものとなるし、計測や処理にそれなりのリソースが必要となる。しかしながら、近年のコンピューター関連技術の発展により、計測・処理ともに、パーソナル・コンピューターでも十分可能となってきた。これが3Dデータ利用の普及を強く後押ししていることは間違いない。

2. 3D計測記録の有効性

3D計測の機器・手法やその応用については、日本語で参照できる情報が蓄積されている(金田ほか2010、金田2014, 2017, 2019、栃木県立博物館2014、城倉ほか編2016a, b, 2017、文化財方法論研究会2016, 2017, 2018, 2019、城倉編2017、中園編2017、太郎良2017、平川2017、横山ほか2017、青木2018、青木ほか2018、植田2019、横山2018、考古形態測定学研究会2019a, b, dなど)。金田(2014, 2019)は、3Dデータと他の手法による記録と比較した上で、「形状」「大きさ」「質感」「記録の密度」において優れていると指摘している。これらはすべて、上述の高密度点群記録にもとづくものである。

対象別に、もう少し具体的に見てみよう。

地形や遺構計測では、特徴点の計測に加えて、あるライン上で断面・エレベーションを記録し、あるいは一定間隔で標高値を記録(レベリング)してきた。より面的な情報が必要な場合は、等高線の記録も行なわれてきた。しかしこれら補完的な記録を加えても、従来の方法では、現地で計測を行った点の記録しか残らない。事後的に、異なる場所やライン上の形状の取得や、異なる基準面や投影面への図化を行なうことは困難である。

しかし3Dデータでは、一回の計測、または一つのデータセット、モデルによって事後でも実施可能である。テクスチャの記録もあれば、遺構検出・完掘面や土層断面の正射投影(オルソ)画像も作成

できる(轟2019)。発掘調査現場での計測から、図面作成、報告書の編集作業まで、一貫してデジタル化した工程を確立している調査組織もある(水戸部2019)。また面的な計測データはDEM(数値標高モデル)を作成できるので、等高線図だけでなく傾斜度などの計算・表示も可能になる(寺村2014、城倉・青笹2015など)。

遺物の計測のうち、石器などでは複数面の正射投影展開図を作成する際に、展開面各面ごとの計測と記録・描画が行なわれ、また断面図が作図されてきた(田中2004)。3Dデータならば、一回の計測で取得したデータセットから90°単位、さらには任意の方向への投影展開が可能である。しかも展開図(画像)は同一データから座標変換により作成されるため、繰り返し計測を行う従来の手法より計測精度が高いことは言うまでもない。断面も、点群密度(解像度)が許す限り何方向でも、何面でも取得可能である(野口ほか2015, 2017, 2019など)。

土器の場合、標準的には一面の正射投影図と断面図が作成されるが、3Dデータでは任意の方向への投影展開が可能だけでなく、円筒投影、円錐(扇形)投影も容易である。縦横の断面も連続的に取得可能である。また表面状態については拓本(湿拓)が併用されることが多いが、3Dデータは拓本と同等の記録・図化(可視化)を作成できる。しかも拓本とは異なり、計測数値を取得可能なデータとして、である。また、カラー・テクスチャのある3Dデータ(モデル)は、土器の表面及び内面の状態の連続的な可視化、投影・展開が可能であり、製作痕跡や使用痕跡を理解するためにも有効である(野口・斎藤2018)。

このように一回の計測結果、ないしは一つのデータセットが、様々な目的に利用可能な情報基盤あるいはコアデータ⁴⁾として扱えることが、3D計測データの最大の有効性である。

3. 3Dデータ利活用の展開

3Dデータの活用事例はきわめて多岐にわた

る。現状を概観するには、前掲の栃木県立博物館(2014)、城倉編(2016)、城倉ほか編(2016)、文化財方法論研究会編(2016, 2017, 2018, 2019)、中園編(2017)、青木(2018)、金田(2019)などが参考になる。

導入の当初は大型の遺構や建造物、彫像等への応用が先行していた感がある(池内・大石2010など)。複雑かつ大規模な対象物を短時間で計測記録できる利点を活用したものである。また航空LiDARによる密林地帯などでの遺跡・建造物の所在確認は中央アメリカの考古学調査などで大きな成果を出している(Chase *et al.* 2012、猪俣ほか2017など)。日本でも、古墳墳丘や山城などを航空LiDARによる計測成果を赤色立体図で可視化した成果は大きな注目を集めている(西藤2016など)。陸上で使用される計測機器・手法の利用が困難な水中考古学では、早くから3D写真計測が導入され応用されている(Green *et al.* 2002、McCarthy *et al.* eds. 2019、高田ほか2018など)。

日本国内では、機器・技術の一般化、普及とともに「ありふれた遺物」への応用が進み(太郎良2017)、埋蔵文化財調査の現場へも導入されつつある(金田2017, 2019など)。博物館収蔵資料の記録・計測とウェブ公開も海外では広く一般化している(平川2017)。日本国内での実施例はまだ多くないが、大手前大学史学研究所⁵⁾、大阪歴史博物館⁶⁾、東大阪市教育委員会文化財課(仲林2019a)⁷⁾、奈良県広陵町教育委員会文化財保存課⁸⁾などが、3Dモデルの公開共有プラットフォーム・サービスであるSketchfab(<https://sketchfab.com>)を利用している。奈良文化財研究所では現生骨格標本(ヒトおよび哺乳動物)の3Dデータベースを公開している⁹⁾。データの公開は行なわれていないが、既報告資料の再整理・報告に際し3D計測を実施する事例も増えつつある(城倉2017、城倉編2017、野口・斎藤2018など)。

また視覚的な訴求力が強いことから、博物館展示への利用・応用も進んでいる。自前で3D写真計測を行ったデータを、展示室においてタブレット端末

でインタラクティブ表示したり、土器づくりなどの体験学習の際に参考として提示するなどの取り組みがなされている(高橋・橋口2019)。VR利用は、没入的臨場感を得られる点で普及に効果的である。一般見学者の立ち入りが困難な遺跡の発掘調査現地説明会でVRを利用するというアイデアは慧眼である(永見2018b)。現地へのアプローチが困難な方への代替的な見学手段の提供にもつながるかもしれない。さらに、CGと組み合わせたインタラクティブなVR博物館の構築も進められている(仲林2019b)。

計測機器や手法が一般化し、比較的廉価な機器・ソフトなどが普及したことにより、機関としてではなく個人レベルでの取り組みも増えている。上掲のSketchfabで「古墳」を検索すると、墳丘、石室、出土遺物など約160件のモデルがヒットするが¹¹⁾、その大半は個人のアカウントによるものである。「九州文化財計測支援集団(CMAQ)」は、有志の専門家・研究者により3D計測の技術習得や計測記録の支援を行なっている(永見2017, 2018a、木村・宮本2019)。さらに専門家・研究者以外による計測・記録の実施と共有公開も進みつつある(岩村2019a, b)¹⁰⁾。

自然災害による文化財の被害への対応も、地震や水害などの多い日本において需要の多い分野である。とくに2016年熊本地震では、熊本城、井寺古墳、通潤橋など、国史跡・重要文化財をはじめ多数の文化財が被災した。それらの被害状況の把握や修復・復元にも3Dデータが活用されている(石松2018、大津山2018、橋口2018, 2019、嘉村2018、神谷ほか2018、木村・宮本2019など)。

4. 3Dデータ利用に関する懸念と課題

高度な知識・技術や経験を有する専門家や研究機関だけでなく、非専門家を含む個人レベルまで取り組みの裾野が広がったことにより、計測・記録の事例・対象が大幅に増加しているのが、3Dデータの利活用をめぐる2019年時点の現状である。データの蓄積とともに、さらに多様な取り組み、応用が進む

ことが期待される。

しかし見通しは必ずしも楽観的ではない。データの利用、その前提としての公開、共有において懸念や障壁が見受けられる。それらは大きく、技術的側面と、社会的・制度的受容の側面とに分けられる。そして技術的側面については、さらに、機器・技術の導入にあたっての課題と、データの取り扱い・マネジメントに関する課題がある。

4-1 導入にあたっての課題

導入にあたっての課題は、金銭的成本が最も大きいだろう。一般化・普及化が進んでいるとは言え、機器やソフトウェアの価格が導入にあたっての障壁となる場合が少なくない。とは言え、運用により得られる利得との比較考量により導入に踏み切っているところもある。具体的な事例・情報の共有が進めば、導入への敷居は下がるかもしれない。

表1には、参考までに現時点での機器・手法の比較を示した。レーザースキャナー1は、計測可能距離の小さい光切断法またはパターン投影法の機器を、同2は計測可能距離が比較的大きい位相差法・TOF法の機器を指す。

最新の機器・ソフトウェアはいずれもUI（ユーザーインターフェース）に優れていて、操作の習熟は大きな負担ではない。ただし3D写真計測では、良い結果（モデル）の前提となる写真撮影について習熟を要する。屋外計測は、直射日光下で十分な計測が行なえるかについての目安である。計測に要する時間は、TOF法のレーザースキャナーでややかかるほか、3D写真計測では撮影する画像数と対象の大きさに拠り変わる。価格には、解析処理用のコンピューターを含めていない。当然、高価格で高スペックのPCを導入できれば、処理時間を減らすことができる。一方、十分なスペックのPCを準備で

きない場合、処理を完了させることができない可能性もある。なお、価格はあくまで目安である。

導入にあたっては、金銭的成本だけでなく、教育・訓練コストを懸念している場合も少なくないようである。とくに埋蔵文化財調査の現場においては、現状では、就職前に基礎的な教育や実地訓練を受ける機会はきわめて乏しい。とくに調査件数が多い場合など、すぐにでも実地運用できなければ導入は難しいと判断されていることもあるだろう。奈良文化財研究所における埋蔵文化財担当者研修など、適宜、教育・訓練を受けられるような場が設けられる必要がある。前述の九州文化財計測支援集団は、有志が協働して学習する機会を設けている。筆者も、考古形態測定学研究会として「考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン」を開催し、情報提供や実習の場を設けている¹¹⁾。いくつかの大学では、発掘調査実習などで3D計測が取り入れられているが、将来的には、専攻課程における正課の授業で取り上げられることが期待される。

4-2 データの取り扱い・マネジメントに関する課題

すでに導入を進めているところでは、データの保存・管理、および公表の形式と手段をどうすべきかという判断をめぐる問題群が浮上している。

4-2-1 どこに保存すべきか

前述のとおり計測点が従来の計測記録より遥かに多い3Dデータは、データサイズも大きくなる。最大長50mm程度の剥片石器を光切断法のレーザースキャナーにより0.1mmピッチの解像度で計測した場合、カラー・テクスチャを含むデータサイズは数十～数百MBとなる。対象のサイズが大きく、かつ解像度が高ければ、データサイズも大きくなる。3D写真計測では、点群生成の元となる画像を含めると、データサイズはすぐにGBに達する。光ディスク

表1 おもな3D計測機器・手法の比較

機器・技術	操作	屋外計測	計測時間	処理時間	カラー	価格
スマホによるSLAM	簡単	△	短	短	△	<10万円
3D写真計測	簡単～要熟練	◎	短～長	短～長	◎	<10万円～数百万円
レーザースキャナー1	簡単	△	短	短～長	△～○	数十万～数千万円
レーザースキャナー2	簡単	◎	短～中	短～長	△～○	数百万～数千万円

では効率的に保存できないどころか、1モデルすら保存できない場合もあるだろう。大容量HDD、SSDでの保存が前提となる。

なお、こうした規模のデータを多数保存しておくことが可能なデータ・サーバーを保有・運用している調査研究機関は少ないのではないと思われる。保有していても、考古学・文化財データにのみ大きな容量を割り当てることはできないだろう。現状では、個別的な記憶装置への保存が行なわれており、十分なバックアップ体制が取られている事例は少ないと思われる。保存・管理にかかるコストは、3Dデータが抱える課題である。

4-2-2 どこに公表すべきか

成果の公表については、現状では「発掘調査報告書」がまず要求される形式・媒体となるため、印刷できる状態、すなわち2Dに投影変換した画像が中心とならざるを得ない。しかしこれでは、3Dデータ本来の価値を発揮することはできない。

印刷物に準じる形式での公表方法としては、3D-PDFがある。前述の奈良文化財研究所による骨格標本3Dデータベースは3D-PDFにより公開されている。利点は、Adobe® ReaderなどのPDFビューワーでインタラクティブに閲覧できることである。テキストや他の図表、画像とともに文書内に埋め込み配置することも可能である。電子ジャーナルの論文中に3Dオブジェクトを埋め込んだ事例として、Eggers-Kaas *et al.* (2019) を挙げておく。なお同論文は18ページで約64MBあり、同程度のページ数のフルカラー画像を含む一般的な電子ジャーナル論文のデータサイズの十倍近い。そして何よりも、3D-PDFはデータを再利用可能な形で取り出すことができない。

印刷物の縛りを解くならば、3Dデータそのものの公開・共有が可能である。前述のSketchfabは、点群データから、テクスチャを含む3Dモデルまでをウェブ上で公開・共有できるプラットフォーム・サービスで、データのダウンロードも設定できる。有償ライセンスより機能の制約があるが、無料で

の利用も可能である。ただしアップロードできるデータサイズの上限がある¹²⁾。なお点群のみであれば、ウェブブラウザ上で表示させるためのツール(Potree)を利用できる¹³⁾。ただし、運用可能なウェブ・サーバーが必須となる。

Wikimedia Commonsでも.stl形式(後述)のデータをアップロードしインタラクティブ表示させることが可能である¹⁴⁾。1ファイルあたりのデータサイズの上限は4GBである。これを利用した石造物3Dアーカイブ・プロジェクトも始動している¹⁵⁾。

インタラクティブ表示なしで、データそのものを公開・共有するのであれば、各種のプラットフォームが利用可能である。Githubはバージョン管理システムとしてのGitを使用したソフトウェア開発プラットフォームで、プロジェクト単位でリポジトリを作成でき、データの公開・共有にも利用できる。1ファイルあたりのデータサイズの上限は100MBである(<https://github.com>)。

OSF (Open Science Framework) は学術論文のためのデータや発表資料などを公開するプラットフォームで、プロジェクト単位でページを作成でき1ファイルあたりのデータサイズの上限は4GBである¹⁶⁾。現時点では.obj形式のみプロジェクトページ内でインタラクティブ表示可能であるが、テクスチャ表示はサポートされていない。なお前掲Eggers-Kaas *et al.* (2019) は所収データをOSFで公開している¹⁷⁾。

現状では、多くの調査研究機関では、3Dデータを公開できるだけの領域を、ウェブ・サーバー上に確保できないのではないと思われる。一方で、とくに行政機関の場合は、外部のプラットフォーム・サービスにデータを保存し、公開することに躊躇するのではないだろうか。しかし現状では、外部のプラットフォームを利用することが最善のようにも思われる。この点に関しては、東大阪市教育委員会の事例が参考になる(仲林2019a)。

あるいは、ウェブ上でのデータの公開・共有・流通の利便性を失うとしても、光ディスクなどの物理

媒体で頒布するという判断もあり得るだろう。この場合は、ユーザー側がCloudCompare¹⁸⁾、Meshlab¹⁹⁾などの無償のオープンソース・ソフトウェアまたは何らかの有償ソフトウェアを用意して、各自で表示させたり、編集利用することになる。

4-2-3 どのように保存・公表すべきか

現時点で、3Dデータの統一的な標準形式はない。点群およびメッシュの保存・流通には、事実上の標準形式として.obj、.ply、.stlなどが利用されている。これらは無償のオープンソース・ソフトウェアから、有償の商用ソフトウェアに至るまで、ほとんどの3Dデータの表示・編集ソフトで利用可能である。obj、.plyはいずれもテキストを保持可能である²⁰⁾。なお最近、Microsoft[®] Office[®]のアプリケーション群や、Photoshop[®]をはじめとするAdobe社製のグラフィック・ソフトウェアなどでも.objを開けるようになってきているが、フル3Dでのブラウズはできないようである。

.stlはテキストを含まず、おもに3Dプリンタの出力などに用いられる。いずれもASCII形式とバイナリ形式を選択でき、前者は人間にも読解可能な数値・記号として保存されるため、テキスト・エディタでも読み込み、解析することができる。ただしバイナリ形式の方がデータサイズは圧縮される。またテキストを含まない分だけ.stl形式の方がデータサイズは小さい。

レーザースキャナー、LiDAR等で取得される点群のみのデータは、.xyz (ASCII)、.las (バイナリ)でも保存される。これらの形式は3Dビューワー・編集ソフト以外でも、3D-CADソフトウェアなどで利用できる。

3D-PDFは、前述の通り3Dデータ、モデルのインタラクティブな表示が可能である。拡張子は一般的なPDF文書と共通である。PDFへの3Dモデルの配置・埋め込みは、Adobe[®] Acrobat[®]を使用する場合は、あらかじめデータを.u3d形式に変換しておく必要がある。変化は、前述のMeshlabなどで可能である。またAdobe[®] Acrobat[®]を使用した場合、3Dモ

デルのコントロール・パネルを配置することも可能である。

なお、有償の商用ソフトウェアの独自のファイル形式（ネイティブ・ファイル形式）は、他のソフトウェアで開いたり利用することができない。将来的な維持・保守管理のためには、事実上の標準形式である.obj、.ply、.stlで、かつ可読性の高いASCII形式での保存が望ましく、公開・共有もそれに準じるべきではないかと思われる²¹⁾。

4-3 社会的・制度的受容をめぐる課題

技術的な課題とは別に、3Dデータの利用にあたっては、その受容をめぐる問題群が横たわっている。それらの多くは、これまでに経験したことのないものへの不安であり、経験の蓄積とともに解決されるものと思われるが、一方で公的な指針等の制度的な保証も必要ではないかと考える。

4-3-1 「デジタル」への懸念

たとえば『発掘調査のてびき』（文化庁文化財部記念物課2010）では、データの総合化、ネットワーク利用による情報発信、劣化しない複製が可能なことなどの利便性（集落遺跡発掘編：248-249など）が指摘される一方で、データを補完する上での媒体やデータ形式の安定性、維持可能性、さらに保管組織・体制の将来性（同前：249、262、整理・報告書編：186など）が繰り返し指摘されている。

「現状では、デジタルデータのみでの保存は危険性が高く、紙に出力するなどしたバックアップも、あわせて保持する必要がある」（整理・報告書編：185）という指摘は、デジタルデータの保管、とくに技術変化などへの対処には紙、フィルム、安定した金属など維持が容易な媒体（carriers）に人間可読な形式（human readable form）に変換しておくという提案（National Library of Australia 2003: 115）に照応したものと言えるだろう。

しかし3Dデータは、従来の記録類とは比較にならない高密度、大容量のデータである。それを紙等の媒体に人間可読形式（＝ASCII形式またはテキスト）で記録・保管することは、コストが高むと同時

に再利用性を著しく低下させることになる。デジタルデータは、デジタルデータのままで長期的に維持できるような保存・管理方法と体制を検討し、確立する方が費用-便益計算上、有利となる。

なお長期保存性において紙の方が優越することは確かだが、デジタルデータの場合は、劣化しない複製が可能な特徴を生かして、多数の複製を作ることによって生残性を高めるといった戦略が可能である。大規模災害時にオリジナルが毀損、消滅することがあり得る以上、複製を分散保管することには、オリジナル（およびその継承）の長期保存性に匹敵する利点があると言えるだろう。

4-3-2 複製・「真正性」・知的財産権

また劣化しない複製が可能であることについて、改変が可能であるとか、真正性の担保が難しくなるという議論もある（文化庁文化財第二課埋蔵文化財部門 2019）。しかし現時点でも、デジタルデータについてはハッシュ関数を用いた改ざんの検証や、ブロックチェーン技術による変更履歴（バージョン履歴）の記録が可能であり、過度に改変の危険性を案じる必要はないと思われる。もっともシンプルに、公的に認証された原データを照合用に保存・管理しておくだけでも、改変の有無の確認は可能である²²⁾。

関連して、3D データは情報量が多く、実測図や写真などと比べて慎重に扱うべきだという見解もある。しかしこれもまた、何に対して「慎重に」なるべきなのかがいま一つ不明である。たとえば3D プリンタで本物と瓜二つの複製が製作されるのではないかというような言説もあるが、これは3D データと3D プリンタを過剰に評価しているとしか言いようがない。もちろん、コストを度外視すればより精密なデータを作成することも、それを出力することも可能であるが、それが実現するリスクは十分すぎるほど低いと評価できるだろう（野口2017も参照）。

もう一つ、3D データをめぐる著作権、知的財産権の扱いが不明瞭であることへの懸念もある。しかし専門家による議論（知的財産戦略本部検証・評価・企画委員会次世代知財システム検討委員会2016、数

藤2019など）を踏まえ、先行する運用事例（仲林2019a）を参照することで、公開・共有するための基盤を整備することができるだろう。

とは言え、3D データの利用拡大に対する懸念や不安は、日本に固有の現象でもないようである。ヨーロッパでの博物館等資料管理者へのアンケート調査によると、3D データの取得と利用については、従来の計測や写真撮影以上に、再利用時の許可申請や第三者への供与の禁止などについて厳しく制限する傾向が見られるという（Hist and Smith 2017）。

しかしこれらは、法的・制度的、あるいは学術的な根拠があつての対応ではない。上述したような様々な懸念に対して、参照すべき先例がなく、公的な指針等も示されていないことによる不安感に由来すると考えられる。何らかの対処が望まれる。

4-3-3 「実測」とは何であるのか

最後に、しばしば耳にする指摘についても触れておきたい。研究者が自ら資料を計測・図化する伝統をもつ日本考古学では、「実測」とは、単に対象の〈かたち〉等を測り、写し記録するだけでなく、研究者の観察により得られる情報が盛り込まれたものであるべきだという考え方が有力である。

これに対して、3D データは、計測から可視化・図化までの過程が、ほぼ機械化・自動化されている。レーザースキャナーではどの位置・角度から計測するか、3D 写真計測ではどこからどのような写真を撮るかについて計測者の判断が介在するが、しかしそれらはあくまで「計測」に関する行為である。従来の「実測」に含まれていた「観察」の過程が失われているという主張がなされることがある。

一方で3D データは、計測記録としては基本的に従来の方法よりも精度が高い²³⁾。そこで、計測者（実測者）の違いに起因する揺らぎ、誤差が少ない3D データに対して、観察結果を情報として付加すれば良いのではないだろうか。つまり手順が変わるだけで、最終成果は同等にすることが可能だということである。もちろん表示形式は、最適なものを選択すれば良い。重要なのは手順や形式ではなく、「実測者

が観察を通して対象物を吟味する時間こそが実測の本質」(植田2019)という前提である。

先に見た通り、3Dデータは一回の計測、または一つのデータセットから展開図や断面図などを作成することができる。このため作図にかかる時間や手戻りを減じることができる。結果として「観察を通して対象物を吟味する時間」が作り出される。つまり計測から出力までを先に行ない、それに対して観察結果の情報を付加するように手順を変更すれば良いのである(図1)。

「実測」をしないと「観察」をしなくなるという発想は、測りながら観察するという身体動作が半ば非自覚的に訓練されている状態ゆえに生じるものなのではないか。本当に測りながらしか観察はできないのか。計測を機械化・自動化したことによって観察がなされない、または疎かになることがあるとしたら、それは計測方法の変更ではなく、変更に伴って作業工程を組み直さないことが原因なのではないか。そもそも従来の方法でも、全ての実測・図化を専門家としての調査員が実施するか、最低でもすべてチェックしているのか。諸条件を考慮した上で、より良い方法・対応を選択することが望まれるだろう。

なお従来の方法によるデータ・成果との接続、互換性という別の観点からの指摘もある。これまで蓄積された資産を無にするような選択はもちろんあり得ないだろう。3Dデータから従来の方法と同じ、ないしは接続可能な図化を行なうことは容易なので、3Dデータを保持したまま、必要に応じて出力の形態を変えることで十分対応可能である。

5 まとめ

ここまで見てきたように、3D計測とそのデータは、技術的にまだ十分に安定していない部分がある。この点で、導入されてから長く、ノウハウが蓄積されている技術に劣る部分があることは否めない。一方で、それを補って余りある利得が得られる場合もある。どちらかが優位であるとか、一方に統一す

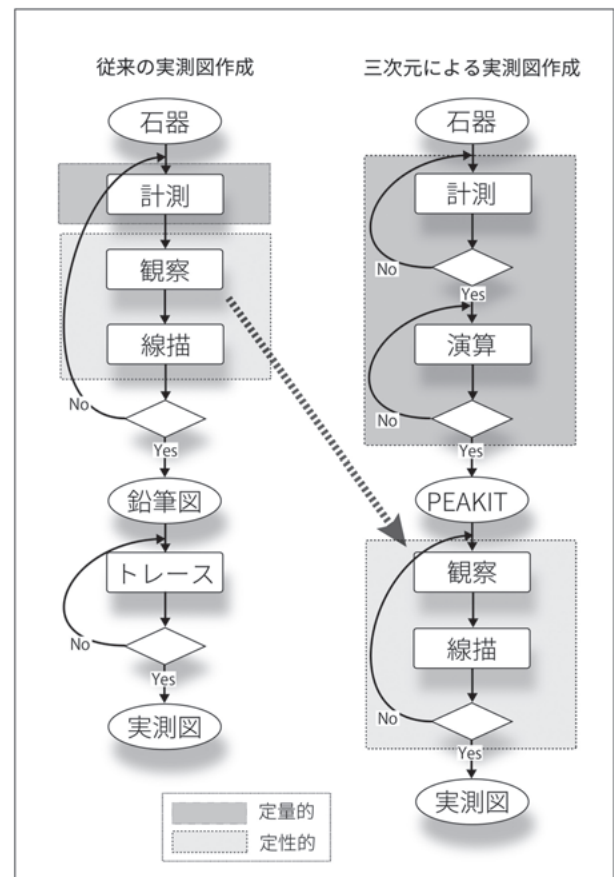


図1 3D計測を導入前後の実測図化の手順(横山2018: 図9)

べきだということではなく、それぞれの状況に応じて判断すべきだと考える。

実際に導入されている現場では、やはり必要性が最大の動機であるように見受けられる。逆に言えば、課題を上回る必要性を見いだせないのであれば、敢えて導入する必要はないのだろう。とは言え、とくに埋蔵文化財保護の現場では、自身・自組織で導入・運用する場合だけでなく、たとえば調査支援や委託先が使用する場合もあり得る以上、ある程度の知識と、できるならば経験を持っておくことは、今後、ますます必要になってくるのではないかと思われる。先行して導入したところでは、積極的に情報を発信・共有し、相互に補い合って、より良い調査・記録の体制を構築できるようにするべきであろう。

【註】

- 1) 日本工業規格 JIS Z 8103 : 2019「計測用語 Glossary of terms used in measurement」3.1-101に「計測」は「特定の目的をもって、測定の方法及び手段を考究し、実施し、その結果を用いて所期の目的を達成させること。」と定義されている。
- 2) たとえば 360° 計測の TOF 中距離レーザースキャナーで解像度 0.009° の場合 120m の距離で計測ピッチ約 0.3mm = 333.333 点/cm²、光切断法またはパターン投影法のレーザースキャナーで計測ピッチ 0.05mm の場合 4,000,000 点/cm²。さらに解像度の高い（計測ピッチの密な）機器もある。3D 写真計測は、原則としてノンスケールで点群を生成し事後的にスケールを付与するため、単位面積あたりの点群密度（解像度）は、撮影距離・倍率に依拠する。近接撮影により顕微鏡レベルの解像度を得ることも可能である。
- 3) ここでは一般的な理解・受容によるものとして「」を付しておく。計測・測定に関する正確さ・精度・誤差については注 1 前掲 JIZ Z8103 : 2019 を参照。
- 4) (株) ラングによるコンセプト (<http://www.lang-co.jp/technology/technology.html>)。
- 5) <https://sketchfab.com/shigaku>
- 6) <https://sketchfab.com/mushis3D>
- 7) https://sketchfab.com/higashiosaka_bunkazai
- 8) https://sketchfab.com/koryo_bunkazaihozonka
- 9) <https://www.nabunken.go.jp/research/environmental/gaiyo.html>
- 10) 岩村氏の計測データのうち許可を得ているものは Sketchfab 上で公開・共有されている。<https://sketchfab.com/nonakasabu/collections>
- 11) 「考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン」イベント・ページ <https://3dlm.peatix.com/>
- 12) 2019 年 12 月時点で、1 モデルあたりのデータサイズの上限は、無料の Basic ライセンスは 50MB、有償の Pro ライセンスは 200MB、Business モデルは 500MB となっている。
- 13) <https://github.com/potree/potree/releases>。参考として、九州大学堀 賀貴研究室によるイタリア・ヘルクレウム遺跡 (<http://history.arch.kyushu-u.ac.jp/potree/workspace/Ercolano2015.html>)、同オステリア遺跡 (<http://history.arch.kyushu-u.ac.jp/potree/workspace/OstiaForum.html>)。
- 14) <https://blog.wikimedia.org/2018/02/20/three-dimensional-models/>
- 15) 篠田浩輔・小池 隆「石造物 3D アーカイブ」<https://stonework-3d-archive.github.io/>
- 16) 北條大樹「オープンサイエンスフレームワークについて」<https://osf.io/gceur/>。なお OSF には論文査読のために査読者に対して匿名でデータ等を公開する機能も付いている。北條大樹「OSF (Open Science Framework) で、オープンな心理学研究を目指して」<http://dastatis.hatenablog.com/entry/2018/07/24/191857>
- 17) <https://osf.io/z4cgu/>
- 18) <https://www.danielgm.net/cc/>
- 19) <http://www.meshlab.net/>
- 20) ただしテクスチャのデータは、別途画像データ (jpg 等) として保存しなければならない。obj の場合は、テクスチャ・ファイルの参照や、そのほか表示 (レンダリング) の設定に関するマテリアル参照ファイル (mtl) も必要となる。
- 21) このほか XML ベースの .x3d、JSON による .glTF (GL Transmission Format) などがウェブブラウザ上で 3D をグラフィックス表示するために用いられている。
- 22) 3D プリンタによる出力物に対しても、肉眼では見えないタグを添付する方法が提案されており、識別符号等を埋め込むことも可能になるとと思われる (「3D オブジェクトに見えないタグをつける方法: AirCode」<http://auror.design/3dtag-aircode/>)
- 23) 計測の精度は、機器等の較正や計測条件に拠るが、基本的に人間の手作業が介在するほど低くなる。なお正確さは、基準点等の外部参照に拠る。

【引用文献】

青木 敬・朝倉一貴・植田 真・横山 真 2018「討論 計測技術の進展と考古学」『國史学』226: 99-115

- 青木 敬 2018「考古学における三次元計測技術の導入と活用：古墳時代・古代における用例を中心に」『國史学』226: 1-31
- 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
- 石松 直 2018「被災古墳における復旧作業としての SfM-MVS の利用について」『文化財の壺』6: 60-61
- 猪俣 健・青山和夫・F. ピンソン・J. ルイス・ランチョス・原口 強・那須浩郎・米延仁志 2017「マヤ文明のセイバル遺跡と周辺部の航空レーザ測量と考古学調査」『古代アメリカ』20: 123-134
- 岩村孝平 2019a「スマートフォンを使用した横穴式石室の3次元計測」『文化財の壺』7: 32
- 岩村孝平 2019b「スマホで横穴式石室を測りまくる」『第2回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』、pp.10-16、<http://hdl.handle.net/11177/7132>
- 植田 真 2018「遺跡調査における計測技術の変遷」『國史学』226: 33-76
- 大津山恭子 2018「重要文化財『通潤橋』保存修理工事（平成28年熊本地震災害復旧）における3次元計測の利用について」『日本考古学協会第84回総会研究発表要旨』
- 加藤晋平・鶴丸俊明 1980『図録石器の基礎知識2 先土器』柏書房
- 金田明大 2014「測量機材の進化は発掘に何をもたらしたか」『考古学研究60の論点』考古学研究会
- 金田明大 2017「遺跡・遺構の3次元計測」『季刊考古学』140: 46-49
- 金田明大 2019「3次元技術等によるデジタル技術の導入」『奈良文化財研究所研究報告21：デジタル技術による文化財情報の記録と活用』pp.13-20
- 金田明大・川口武彦・三井 猛・木本拳周 2010『文化財のための3次元計測』岩田書院
- 神谷圭祐・菊本 統・橋本涼太・桑島流音・小山倫史 2018「2016年熊本地震による熊本城石垣の変状の分析」『自然災害科学』37 特別号: 1-16、https://www.jsnds.org/ssk/ssk_37_s_001.pdf
- 木村龍生・宮本利邦 2019「埋蔵文化財行政におけるデジタル情報の活用－九州・熊本における取り組み事例－」『日本考古学協会第85回総会研究発表要旨』、pp.160-161
- 考古形態測定学研究会 2019a『第1回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』<http://doi.org/10.24484/sitereports.62731>
- 考古形態測定学研究会 2019b『第2回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』<http://doi.org/10.24484/sitereports.63271>
- 考古形態測定学研究会 2019c『第4回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』
- 考古形態測定学研究会 2019d『第5回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』
- 西藤清秀 2016「赤色立体地図を用いたの大和」『考古学は科学か = Archaeology: is it science? : 田中良之先生追悼論文集』中国書店
- 西藤清秀 2017「パルミラでの3次元計測プロジェクト」『季刊考古学』140: 86-88
- 城倉正祥 2017『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
- 城倉正祥編 2017『殿塚・姫塚古墳の研究－人物埴輪の3次元計測調査報告書－』六一書房
- 城倉正祥・青笹基史 2015「千葉県栄町龍角寺50号墳のデジタル3次元測量」『WASEDA RILAS Journal』3: 213-238 (<https://www.waseda.jp/flas/rilas/news/2015/10/01/918/>)
- 城倉正祥・ナワビ矢麻・伝田郁夫・渡辺玲・小林和樹・石井友葉・根本 佑編 2016a『山室姫塚古墳の研究－デジタル3次元測量・GPR 調査報告書－』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所、<http://hdl.handle.net/2065/48887>
- 城倉正祥・平原信崇・渡辺 玲編 2016b『シンポジウム予稿集 3D 考古学の挑戦 考古遺物・遺構の3次元計測における研究の現状と課題』早稲田大学総合人文科学研究センター
- 城倉正祥・青木 弘・伝田郁夫編 2017『デジタル技術を用いた古墳の非破壊調査研究－墳丘のデジタル三

- 次元測量・GPR、横穴式石室・横穴墓の三次元計測を中心にー』早稲田大学東アジア都城・シルクロード考古学研究所 調査研究報告、<http://hdl.handle.net/2065/00056499>
- 数藤雅彦 2019「発掘調査報告書のウェブ公開と文化財の3D データに関する著作権の諸問題」『奈良文化財研究所研究報告 21：デジタル技術による文化財情報の記録と利活用』pp.91-95
- 高田祐一 2020「文化財デジタルデータ長期保存のためのファイル形式」『奈良文化財研究所研究報告第24冊ーデジタル技術による文化財情報の記録と利活用2ー』
- 高田祐一・金田明大・山口欧志 2018「廉価型水中ソナーと SfM-MVS による大坂城石垣石材の海中残石分布調査」『文化財の壺』7: 28-31
- 高橋 健・橋口 豊 2019「横浜市歴史博物館におけ3D計測データの活用事例」『第1回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』、pp.8-11
- 田中英司 2004『石器実測法 情報を描く技術』雄山閣
- 太郎良真妃 2017「ありふれた遺物の記録と応用」『季刊考古学』140: 38-41
- 知的財産戦略本部検証・評価・企画委員会次世代知財システム検討委員会 2016『次世代知財システム検討委員会報告書ーデジタル・ネットワーク化に対応する次世代知財システム構築に向けてー』https://www.kantei.go.jp/jp/singi/titeki2/tyousakai/kensho_hyoka_kikaku/2016/jisedai_tizai/hokokusho.pdf
- 寺村裕史 2014『景観考古学の方法と実践』同成社
- 栃木県立博物館 2014『県内文化財の三次元計測』栃木県立博物館研究報告書
- 轟 直行 2019「埋蔵文化財調査における写真計測(SfM/MVS)の活用ー初級者が思ったこと・感じたことー」『第1回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』、pp.3-8、<http://hdl.handle.net/11177/7013>
- 中園 聡 2017『季刊考古学 140 特集・3D 技術と考古学』雄山閣
- 仲林篤史 2019a「埋蔵文化財・史跡整備におけ3Dの活用と公開について」『第1回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』、pp.15-29、<http://hdl.handle.net/11177/7015>
- 仲林篤史 2019b「3D計測とモデリングによる文化財の展示・活用ーVR博物館の事例ー」『第4回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』、pp.18-24
- 永見秀徳 2017「九州文化財計測支援団の活動」『文化財の壺』5: 40-41
- 永見秀徳 2018a「相互扶助組織としての九州文化財計測支援団」『文化財の壺』6: 54-55
- 永見秀徳 2018b「現地説明会のカッコイイ前説」『文化財の壺』6: 56-57
- 野口 淳 2017「手軽さと精確さと使いやすさと：三次元で測ってからどうするの?」『文化財の壺』5: 42-43
- 野口 淳 2019「石器の3D計測、成果の公開・共有を目指して」『第1回考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン予稿集』、pp.9-14、<http://hdl.handle.net/11177/7014>
- 野口 淳・斎藤あや 2018「東京都大田区久ヶ原遺跡採集弥生土器2例ー3D計測による博物館収蔵標式資料の再記載ー」『大田区立郷土博物館紀要』22: 72-85
- 野口 淳・横山 真・千葉 史 2015「後期旧石器時代初頭石斧の3次元形態分析ー東京都武蔵台遺跡出土資料についてー」『日本旧石器学会第13回研究発表・シンポジウム予稿集』、pp. -
- 野口 淳・千葉 史・横山 真・神田和彦 2017「秋田県における後期旧石器時代前半期の石斧(斧形石器)の再検討」『秋田考古学』61: 1-16
- 野口 淳・横山 真・千葉 史 2019「考古学資料の3次元計測、応用と可能性(2)ー府中市武蔵台遺跡出土後期旧石器時代石斧(その2)ー」『府中市郷土の森博物館紀要』32: 1-12
- 奈良県立橿原考古学研究所編 2006『古鏡総覧』学生社
- 奈良文化財研究所 2010『埋蔵文化財ニュース139 レーザースキャナーによる三次元計測』
- 橋口剛士 2018「井寺古墳の復旧・整備についての取り組みと今後の課題」『日本考古学協会第84回総会研

究発表要旨』

- 橋口剛士 2019「熊本県嘉島町井寺古墳の発掘調査と復旧へ向けての課題」『日本考古学協会第85回総会研究発表要旨』、pp.168-169
- 平川ひろみ 2017「普及する三次元記録とその応用」『季刊考古学』140: 64-67
- 文化財方法論研究会編 2017『文化財の壺』5
- 文化財方法論研究会編 2018『文化財の壺』6
- 文化財方法論研究会編 2019『文化財の壺』7
- 文化庁文化財部記念物課 2010『発掘調査のてびき』同成社
- 文化庁文化財第二課埋蔵文化財部門 2019「埋蔵文化財保護行政におけるデジタル技術の導入について」『奈良文化財研究所研究報告21: デジタル技術による文化財情報の記録と利活用』pp.1-6
- 水戸部秀樹 2019「発掘調査～報告書刊行のワークフローと実践－山形県埋蔵文化財センターにおける事例－」『日本考古学協会第85回総会研究発表要旨』、pp.158-159
- 横山 真 2018「三次元技術を考古資料の記録に用いることの意義」『國史學』226: 77-97
- 横山 真・千葉 史 2017「PEAKITによる考古遺物の視覚表現」『季刊考古学』140: 26-29
- 横山 真・千葉 史・今野晃市・村木祐太 2017「考古遺物のための三次元計測機器開発」『季刊考古学』140: 30-33
- 嘉村哲也 2018「平成28年熊本地震による特別史跡熊本城跡の石垣崩落状況解析」『日本考古学協会第84回総会研究発表要旨』
- 渡邊 玲・山田綾乃・田畑幸嗣編 2017『3D考古学の再挑戦－遺跡・遺構の非破壊調査研究－』早稲田大学総合研究機構
- Chase, A. F., D. Z. Chase, C. T. Fisher, S. J. Leisz and J. F. Weishampel 2012 Geospatial revolution and remote sensing LiDAR in Mesoamerican archaeology. *PNAS*, 109: 12916-12921. <https://doi.org/10.1073/pnas.1205198109>
- Eggers-Kaas, T., J. B. Pedersen, C. S. Hoggard, F. Sauer, J. Hilgert and F. Riede 2019 A Technological and Typological Analysis of Lithic Material from Skovmosen I, Denmark. *Danish Journal of Archaeology*, 8: 1-18. <http://doi.org/10.7146/dja.v8i0.112232>
- Green, J., S. Matthews, T. Turanlic 2002 Underwater archaeological surveying using PhotoModeler, VirtualMapper: different applications for different problems. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 31: 283-292. <https://doi.org/10.1006/ijna.2002.1041>
- Hist, C. and S.E. Smith 2017 3D vs. 2D: Investigating current opinions and guidelines regarding the ownership and use of 3D data compared to photographic and written data. *MORPH2017: a conference on the archaeological application of morphometrics*. 4-5 MAY 2017, Aarhus University.
- McCarthy, J. K., J. Benjamin, T. Winton and W. van Duivenvoorde (eds.) 2019 *3D Recording and Interpretation for Maritime Archaeology*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-03635-5>
- National Library of Australia 2003 *Guidelines for the preservation of digital heritage*. UNESCO. <http://www.unesco.org/new/en/communication-and-information/resources/publications-and-communication-materials/publications/full-list/guidelines-for-the-preservation-of-digital-heritage/>

※このほか、日本文化財科学会、日本情報考古学会で3D計測・データ処理・利用に関する研究発表が多く行われている。両学会の発表要旨集・予稿集も参照のこと