

石器の 3D 計測、成果の公開・共有を目指して

野口 淳

(NPO 南アジア文化遺産センター／奈良文化財研究所客員研究員)

はじめに

フォトグラメトリと呼ばれる新しい写真計測の技術の普及とともに、考古学・文化財関連分野における 3D 計測が身近なものとなっている。日常の業務や研究に、すでに導入し、実践している人も少なくないだろう。また、遺構・遺物の計測図化などを委託した場合、納品される成果物が従来どおりの 2D の「線画」であっても、「原図」は 3D 計測の成果である場合も少なくないだろう。しかし、意図している／意図していないに関わらず、3D 計測データがあっても、2D 図面の原図、あるいはオルソ画像としての提示以外の使用方法に見当がつかず、3D の成果を十分に活用し切れていないということが多々生じているのではないか？ または、活用できないのだからと導入に躊躇している場合が少なくないのではないだろうか？ ここでは、報告者が取り組んでいる石器の 3D 計測データの使用方法について参考として提起するとともに、利用を促進するための公開・共有方法について検討したい。

石器の 3D 計測データの利点とは

報告者は、日本学術振興会科学研究費基盤(C)により「3D 石器形態研究の確立による日本列島後期旧石器時代の生活・技術・文化の解明」を進めている (<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-17K03232/>)。これまでに数百点の 3D 計測データを取得しており、そこから石器形態に関する客観的な定量化指標を抽出することが研究の目的である。

石器形態研究に 3D 計測データを利用する利点は、多岐にわたるが、研究目的以外の利用法も考慮したときには、とくに以下の 2 点を挙げておきたい。

1. 1 回の計測で全体形状を記録できる
2. 投影面が固定されない
3. そこから必要な情報を繰り返し抽出できる

1・2 は、だからこそ 3D なのではないかと当たり前のように思われるかもしれない。しかし、たとえば従来型の実測図作成の手順では、正面、側面などは、相互の対応関係を図りつつも別個に計測される。対象の形状によっては、投影展開時の設置が安定せず「つじつま合わせ」に苦労することも少なくない。また投影面に斜交したり、投影面間にまたがる距離や角度を計測取得することは不可能である。作業手順（ワークフロー）を考えると、まず代表的な 1 面（多くの場合、設置した時にもっとも安定する方向）を計測・記録・描画し、そこへの対応とあらたな測り込みで直交する別の面を計測・記録・描画する。複数の面を同時並行で作業する場合もあるだろうし、順を追って計測～描画した結果、ズレが大きくなった場合はやり直すこともあるかもしれない。また、図上で計測できない距離や角度については、あらかじめ別途計測・記録しておかなければならない。しかしながら、どこをどのように計測したのかを明示できないので、再現性を持った計測数値を取得することは困難である。

これに対して、3D 計測データは、後から繰り返し何度でも、異なる向き・角度での描画・展開が可能で

ある。形状情報はすべて位置座標で表されるので、距離や角度の計測が、どことどこの間で行われたのかを特定して記録することもできる。デジタル・データなので、精確な複製も容易である。つまり一度計測すると、繰り返し、多方面に利用できるのである。なおここでは、石器について述べていくが、他の考古学資料やその他の文化財についても基本原理は共通するということが指摘しておきたい。

3D 計測データ利用のワークフロー1：規格化・標準化

具体的な作業手順を考えよう。3D 計測の機器・手法は複数あるが、目的に対して必要な解像度が得られるのであれば、基本的に、計測手段・データ取得の方法の別は問わない。なお解像度については、必要以上に追求するとデータサイズが膨大になり、その後の取り回しに苦勞することになる。参考として図示した事例では、卓上型のレーザースキャナ（NextEngine）を利用している。カタログ上の計測ピッチは Macro モードで 0.127mm であり、例示資料の実測結果は 149.85 点/mm²（モデル構成頂点数／表面積）であった。

得られた計測データを利用するにあたって重要なのは、計測の手段よりも、データの規格化・標準化である。一定の基準で提供されるデータは、相互に比較可能であり、また第三者による検証確認が容易な、透明性

（transparency）、再現性（reproducibility）の担保されたものとなる。ここでは従来の成果との接続も意識して、石器研究において一般的な基準を採用する。具体的には、長さ=y、幅=x、厚さ=z として座標軸を定義し、「左下隅」を原点とした座標系を採用する（図1）。基準軸としての長さ方向の向き・傾きは、加工された石器の場合は最大長、剥離物（剥片）の場合は剥離軸を基準としつつ、手動で設定する。誤差が大きいのではないかという懸念もあるだろうが、この座標系は絶対的なものではなく、第三者が利用する際に共通の基準を提供することが目的なので、向き・傾きを修正したいときは、オリジナルの座標系に対する変化量を指定すれば良い。これにより、最大長、最大幅、最大厚は、それぞれ y、x、z 各軸の最大値に一致する。図1に青線で描画される直方体は、対象資料に外接する枠線矩形＝バウンディング・ボックスである。

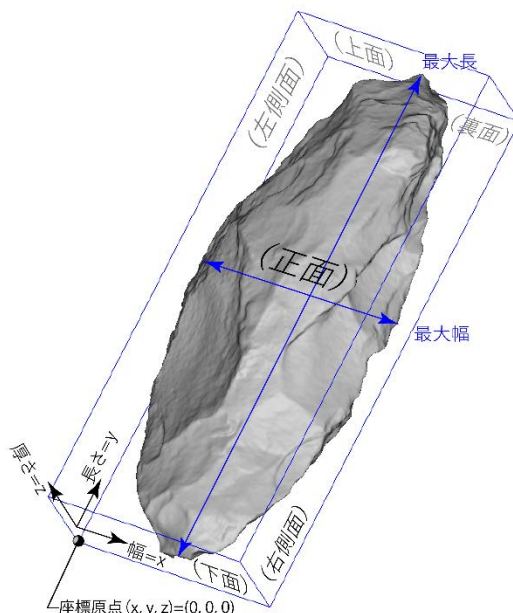


図1 座標系の設定

座標系と原点を指定すると、どのような利点があるのか？実際の石器資料にノギスなどを当てて距離や角度を計測する場合を考えてみよう。計測の際は、目見当で、あるいは特徴的な部位を目印として、計測器具を当てる。しかし正確に同じ場所を計測しなおすことは難しい。目印が乏しい箇所については、事実上不可能と言ってもよいかもしれない。しかしいったん座標系と原点を規定すると、計測値には計測部位の座標を付与することができるので、精確に繰り返し数値を取得することができる。これにより、石器の向き・傾きの認定に大きなズレがあったとしても、どこを計測したのかが明示されるので、取得される数値は一定する。

また正射投影展開図を作成するにあたって、投影方向・角度が明示的に共有される。仮に石器の向き・傾きの認定に大きなズレがあった場合でも、示された座標系、原点に対する xyz 各軸の回転角度を提示することで、事が足りる。あらたに計測しなおす必要は生じない。

これが、先に確認した 3D 計測データを利用することの利点の第一である。

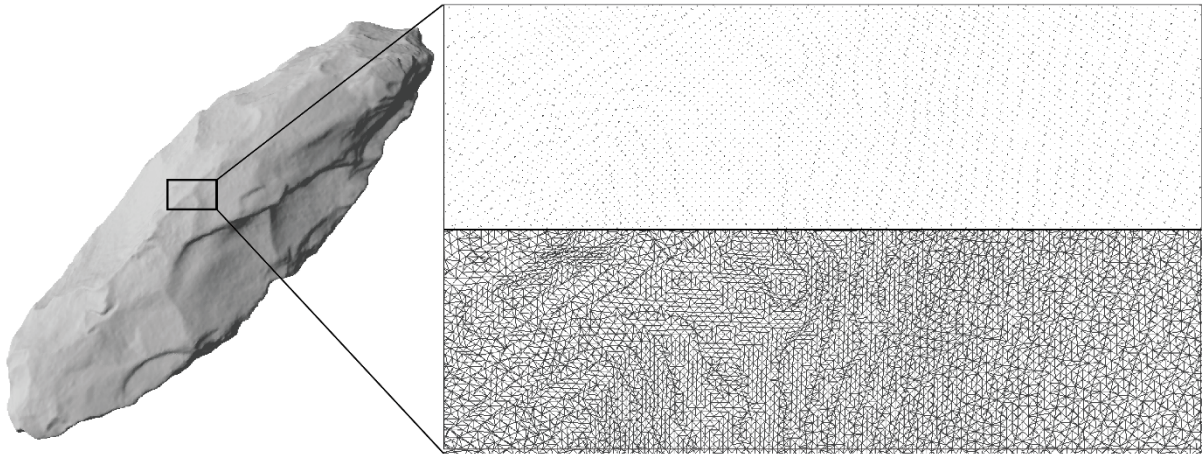


図2 3D 計測データの実体（上：点群、下：メッシュ）

3D 計測データ利用のワークフロー2：解析処理

石器形態や技術などを分析するための数値属性や、形態測定学的アプローチについては異なる場で議論しているので参照していただくとして（野口 2018、2019 など）、ここでは、図化報告に関連した内容を取り上げる。

先に指摘したような、従来型の 2D 線画の下図としてだけでなく、3D 計測データならではの多様な表現力をもった図示が可能である。3D 計測データは、計測された点の集合（点群）としてだけでなく、それらを頂点として結合した三角形網が構成する面の集合（メッシュ）としても表される（図 2）。そして、この面ごとに反射や陰影を描画計算し表示（シェーディング）することで、写真撮影の際の照明の向きや台数を変更するのと同じ効果を得られる。オープンソース・ソフトウェアの Meshlab (<http://www.meshlab.net/>) などにより、リアルタイムで照明効果を変更させながら表示することも可能である。

図 3 は、同一の 3D 計測データに対して、Meshlab を利用して照明効果を変更した画像を作成、さらに異なる照明効果の複数の画像を Adobe Photoshop 上で重ね合わせ表示したものである。右から、真上×真下×左 45°、真上×真下×左 90°、真上×左 45°×右 135°、左 90°×右 90°、真上×真下×左 90°×右 90° の照明効果による画像を「差の絶対値」（不透明度 100%）で重ね合わせた結果となっている。それぞれに強調される部分や度合いが異なる。実際に利用する際には、何をどのように表示したいか目標を定めて調整実施することもできるし、さまざまな表示結果から従来確認が難しかったり見落とししたりしていた情報を得ることもできるだろう。Meshlab にプラグイン実装されている輝度調整（Radiance scaling）、同じくオープンソース・ソフトウェアの CloudCompare (<http://cloudcompare.org/>) に実装されているアイドーム・照明効果（EDL: Eye Dome Lighting）フィルタなど、3D モデルの反射や透過を自由に変更・調整する手法は多数ある。

このほかに石器の表面形状を、正射投影面に対する高さ情報からなる DSM（Digital Surface Model）または DEM（Digital Elevation Model）として捉え、地形解析に用いられる様々な示標による解析を実施することも可能である。比較的単純な段彩図などであれば CloudCompare で描画できるし、CloudCompare からラスタ化、Geotiff に相当する画像データとして書き出し、GIS ソフトで解析することも可能である。この手法により地上開度、地下開度、距離（高さ）段彩、陰影（レリーフ）などを重ね合わせ処理する PEAKIT は、従来の実測図において考古学者が注目してきた特徴とよく一致する強調表示を実現している点で、石器 3D 計測データの解析処理にはきわめて有効な手法である（横山・千葉 2017）。

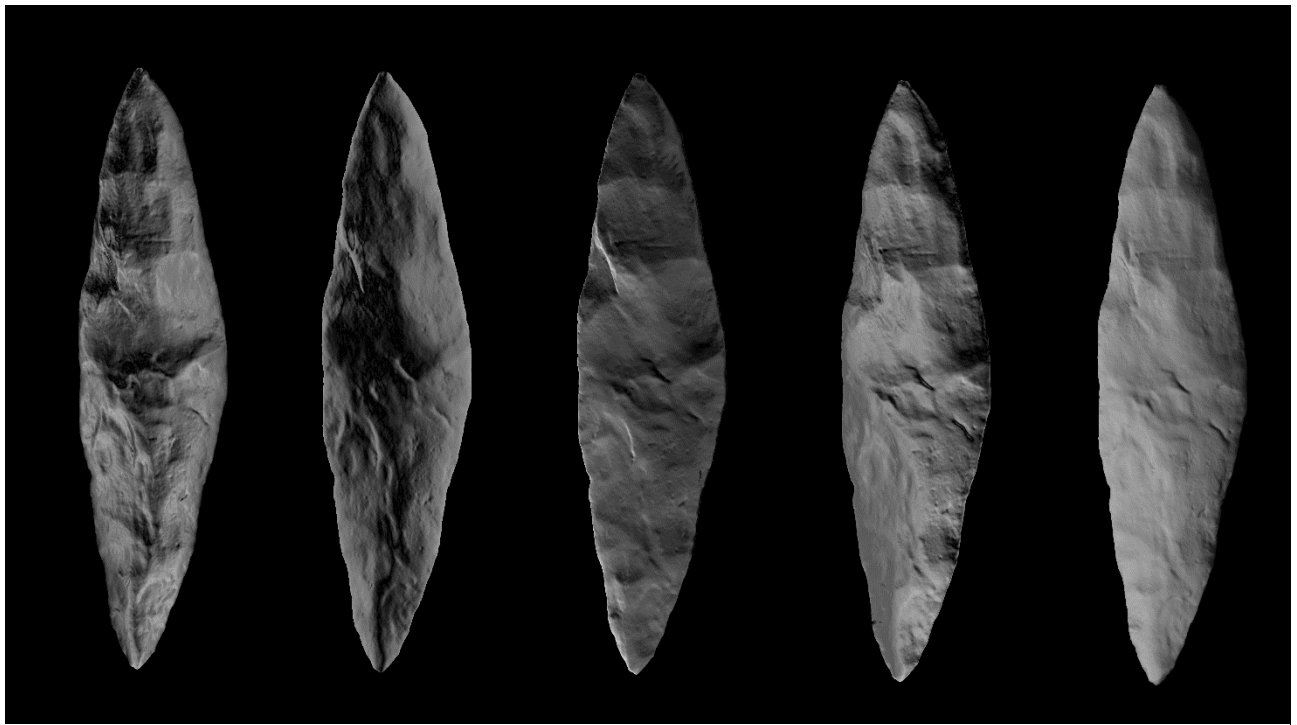


図3 照明効果を利用した画像解析処理の一例

もちろん、石器 3D 計測データの解析は画像処理的な手法だけでない。全体形状のデータを保持しているので、さまざまな計測値を容易に取得できる。連続断面の描画は、3D 計測データのもっとも得意とするところの一つである。縦・横断面だけでなく、任意の角度・方向からの断面も作図できる。そして何より、三角定規、ディバイダ、マコ（マーコ）など、いかなる道具を用いた直接接点計測より、精確（precise）にして正確（accurate）である。連続断面図の作図は、前掲の CloudCompare を利用することで可能である。結果は、CAD ソフトや Adobe Illustrator など利用可能な標準互換 CAD データ形式である DXF 形式でも書き出し可能であり、たとえば正射投影展開図と組み合わせて編集作図することも容易である。

このほかにも、図化報告に利用可能な解析処理はまだあるだろうし、さらに開発追加されるだろう。重要なのは、異なる解析処理に対しても、共通する一つのデータを用いることができることである。前項のように規格化・標準化されたデータであれば、繰り返し、あるいは第三者が実施しても、同じ示標を用いる限り再現性が保障される。そして新たな方法が開発されたときにも、それまでに蓄積されたデータに対して訴求して適用実施することも容易である。

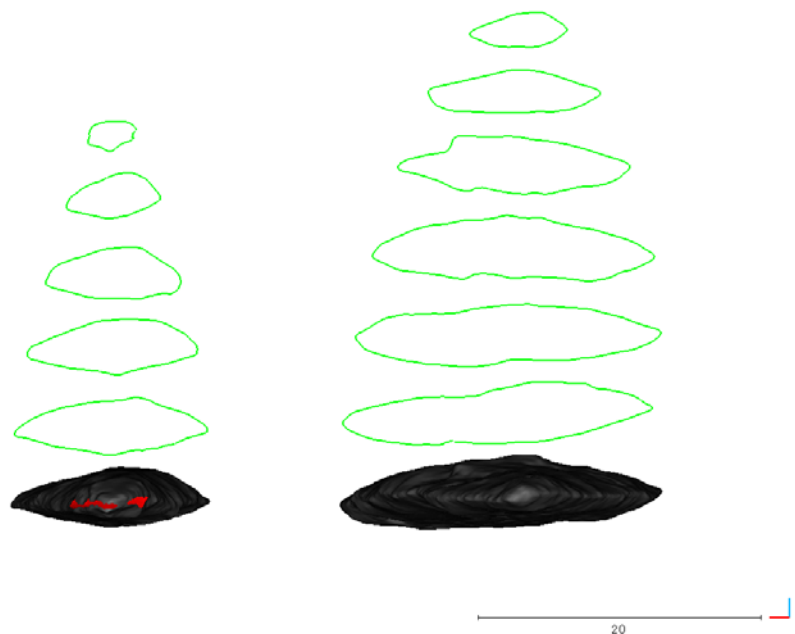


図4 CloudCompare による連続断面の作図

3D 計測データ利用のワークフロー3：公開・共有

以上、石器 3D 計測データの利用方法について、図化報告を中心に紹介してきた。これらはすでに実装されており、一般的に普及している PC でも実施できる。繰り返し指摘した通り、同一のデータを用いる限り再現性も保障される。しかしながら、現状においてもっともハードルが高いと思われるのが「同一のデータを用いる限り」という部分である。例示の計測データのサイズは、OBJ 形式で数十 MB～100MB 以上である。インターネットを通じての公開・共有には通信環境の壁が立ちはだかる。高速・大容量の通信環境が整備されていなければ、配布提供は難しい。Sketchfab (<https://sketchfab.com/>) では、ダウンロード可能なかたちで 3D 計測データを公開できるが、無料アカウントの場合のデータサイズの上限は 50MB である（有

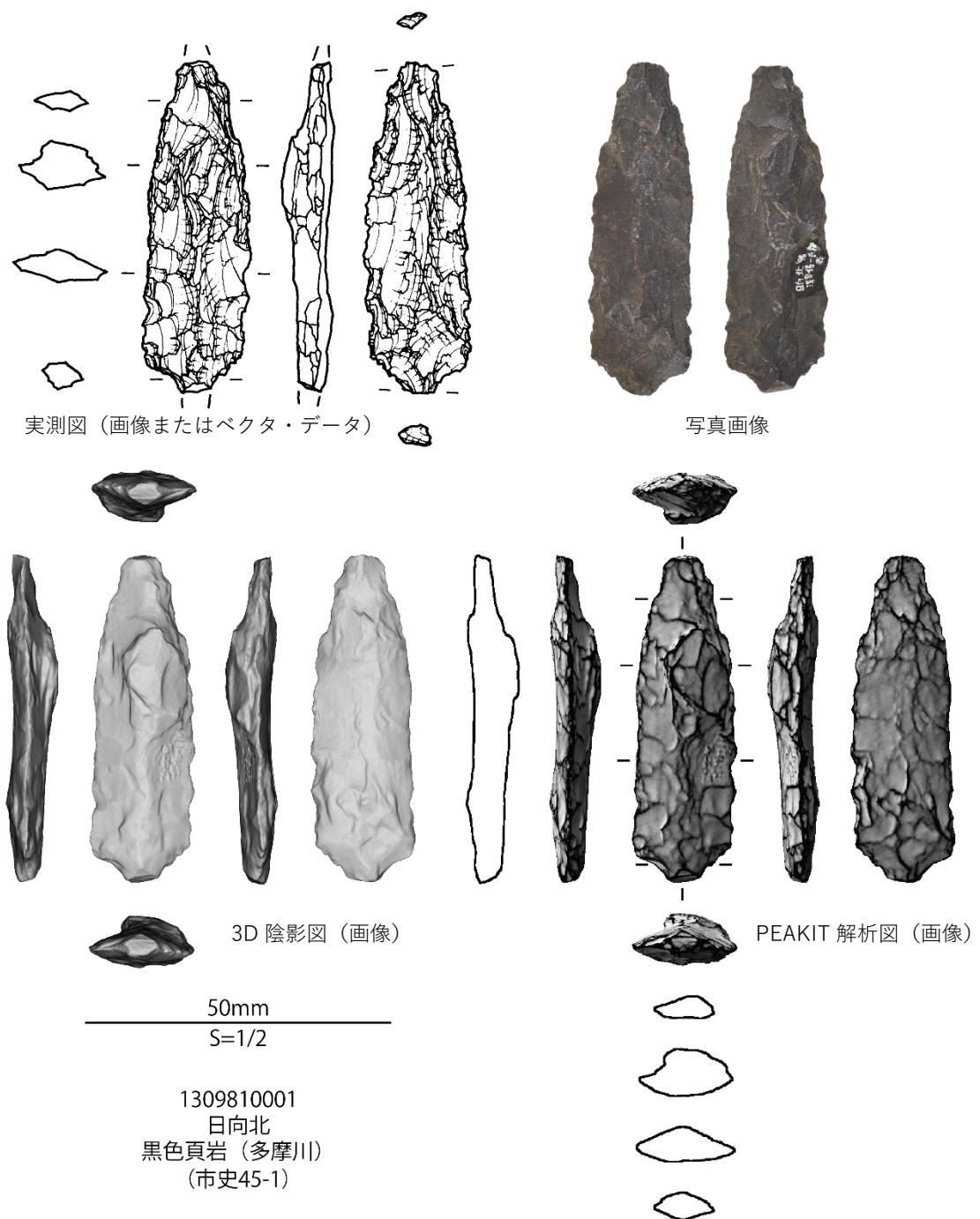


図5 PDF形式による報告・公開の一例(案)

料の Pro アカウントでは 200MB、Premium および Business アカウントでは 500MB までのデータをアップロードできる)。まだ、自由に、あるいは少ない負担で、データを公開・共有できる環境を誰もが享受できる状況には至っていない。しかし解決は時間の問題かもしれない。

また 3D 計測データそのものを扱うことのハードルの高さもあるだろう。前項までに見てきた計測や解析処理は専門家に任せて、例示したような結果、成果を閲覧できれば良いという需要も少なくないことが予測される。その際、モノクロ（グレースケール）印刷だけでは、せっかくの成果を表現し切れないかもしれない。何よりも、本来デジタル・データとして取得・作成されるものを、追加のコスト（編集・印刷等）をかけて印刷物としてのみ提供するというところにどのような意味があるのだろうか？

現在、科研の成果公開も兼ねて検討しているのは、解析処理の結果・成果を複数の形式で公開・共有する方法である。その際、現在、考古学・埋蔵文化財関係ではもっとも普及しつつあるプラットフォームとして『全国遺跡報告総覧』（<https://sitereports.nabunken.go.jp/ja>）を利用することができれば、より効果的ではないかと考えている。具体的には、『総覧』に掲載可能な PDF 形式で、図・画像を収録した冊子を編集作成する。ただし印刷のコストをかけないため電子版のみとし、収録資料を所蔵・管理する自治体ないし機関（埋蔵文化財センター、博物館など）から『総覧』に公開してもらう。発掘調査報告書ではないので、「正本」としての印刷物を作成する必要はないだろう。なお電子版（PDF 版）のみの公開とする場合、従来の冊子体のような「版面」の制約を受けない。石器の場合、すべてを原寸（S=1/1）で掲載することも可能である。印刷のためだけに縮小し、実質的に解像度を下げる必要はない。

画像、さらに 3D 計測データについて、愛知県埋蔵文化財センター（あいち埋文「考古学アーカイブ」：<http://www.maibun.com/KihonDate/>）のように、機関のウェブサイトにはアーカイブまたはリポジトリが設置され公開されることは、ひとつの目標である。しかし自治体・機関の規模などによっては困難であることも予想される。『総覧』に、一覧・計測表などとあわせた追加・補足的なデータの公開機能を拡張し、そこに図・画像や 3D 計測データも含められるようになれば、報告書の書誌および本文の検索閲覧機能とセットで利用できて利便性が増すだろう。印刷物には収録し切れない原データや補足資料をデジタル版としてウェブ上で公開することは、Nature、Science などをはじめとする海外の主要な科学論文誌ですでに一般化している。印刷物としての報告書が抱える様々な問題や制約を考えるならば、印刷された冊子が果たすべき機能・役割と、そこから切り離されて公開・共有されるべき部分とを議論し、あらためて整理することが、今後の考古学・文化財データの利活用に向けての基礎となるのではないだろうか。

掲載図出典

図 1～5 に示した石器 3D 計測データは、東村山市ふるさと歴史館が所蔵するものであり、同館の許可を得て掲載したものである。図 5 右下 PEAKIT 解析図は、(株) ラングが作成したものである。

引用文献

野口 淳 2018 「石器の三次元計測と三次元形態研究 2」『文化財の壺』No.5、文化財方法論研究会

野口 淳 2019 「石器形態情報の要約方法の三次元計測と三次元形態研究—3D 計測データ解析のために—」『日本情報考古学会講演論文集』Vol.22

野口 淳・渡邊 玲 2018 「石器形態研究の新地平」『考古学ジャーナル』708

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