

文化財3次元データ概論2022

野口 淳（金沢大学古代文明・文化資源学研究所客員研究員）

An Introduction to Cultural Heritage 3D: 2022 edition

Noguchi Atsushi (ISACCR, Kanazawa University)

- ・文化財3Dデータ／Cultural Heritage 3D・仮想情報空間／Virtual information spaces
- ・デジタルシフト／Digital shift・ボーンデジタル／Born-digital data
- ・GIGAスクール／GIGA School Program

1. 概要

文化財分野における3D計測とデータの概要について2022年10月時点までの動向をまとめる。基礎的な事項および2019年までの動向については前稿を参照のこと（野口2020a）。

なお本稿は2022年7月26日に開催された奈良文化財研究所文化財担当者専門研修「文化財デジタルアーカイブ課程」における講習「文化財3次元データ概論」をまとめなおしたものである。

2. 文化財3次元データとは何か

文化財「3次元データ」とは、言うまでもなく本来、立体形状を有する対象を3次元で記録するものである。データの基本構造は、点群（ポイントクラウド）と呼ばれる対象表面を高密度に計測して取得

された点の座標および付加情報（色等）である。

計測の解像度、すなわち点群の密度は計測手法や用途・目的により異なるが、一般的に数万～数十万点を超える。特徴点を計測し線分で結合することで骨組みを示すフレームモデルとは区別される（図1）¹⁾。情報量の多さ、情報密度の高さは、従来の文化財関連の計測・記録・図化とは圧倒的に異なる（野口2020a）。

また記録取得・生成の時点から一貫してデジタルデータであること、すなわちボーンデジタルであることも特徴である。計測記録から解析処理、出力まで、デジタイズ処理を行なうことなく首尾一貫した機械（＝コンピューター）処理を行なえる。劣化のない複製が可能のため、並列処理や分散保管も容易である。またインターネットを介しての通信、オンラインでの公開、共有にも適している。

一方で文化財3次元データは、原則として実体を

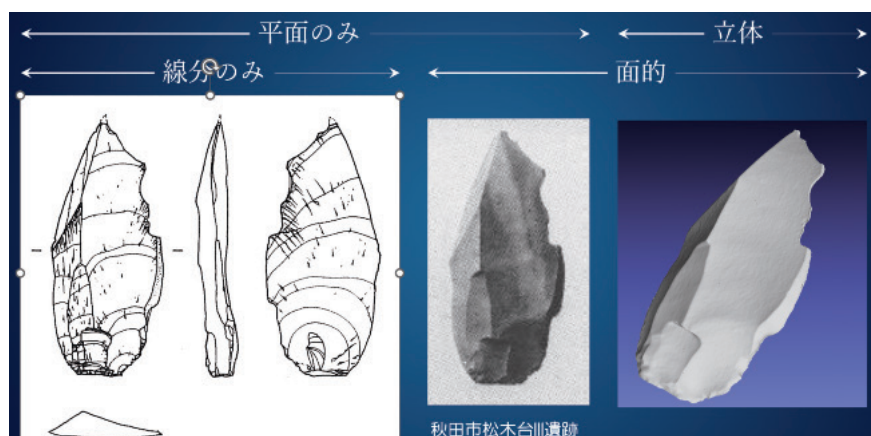


図1 2次元データ（図化）と3次元データの違い

持つ文化財資料の計測記録をベースとする。創作的な作品とは異なる。しかし両者は明確に区分できるとは限らない。実物資料においても、欠損部分の補修・復元が行なわれるように、文化財 3D データにおいても、補完や復元は行なわれる。両者の差は本質的なものではなく、程度の差による量的なものと考えるべきである。

3. 仮想情報空間への写像としての文化財 3次元データ

このようなデジタルデータとしての文化財 3次元データは、物理的な現実空間に実体を有する文化財の、仮想情報空間への写像と考えることができる(野口 2022a)。物理空間における実体は唯一無二であり、同時に一カ所にしか存在し得ず、一定の空間範囲・容積を排他的に占有する。対して、仮想情報空間にある 3次元データは同時に複数の場所でアクセスし利用することが可能であると同時に、物理空間では「どこにも存在しない」とも言える(図2)。

3次元データは空間・距離の障壁を超えて遠隔地からのアクセスを可能にする。展示室や収蔵庫のキャパシティを気にすることなく、保管し、閲覧利用に供することができる。さらに進んで、固定・専用の展示空間・施設を持たなくても、仮想情報空間において「ミュージアム」を構築・展開することも可能になる。博物館施設を持たない自治体によるデジタル博物館の先駆的な取り組みとして、千葉県大網白里市の事例がある(武田 2020, 2021)³⁾。

もちろん、どちらか一方があれば事足りるということではない。とくに文化財 3次元データは、実在する資料の計測記録をベースとするという点で、実物資料が主、3次元データは従の関係にある⁴⁾。しかし後者は、前者では果たし得ない、広汎なアクセシビリティ、利用可能性を担保できる。

これについて路上博物館の森健人は、実物資料が展示ケースなどに収められていることにより、観覧者の直接の接触を阻む「障害」になっていることを指摘する(森 2019)。特定の場所「だけ」にしか存在しないことによるアクセスの困難さとあわせて、おもに実物資料「だけ」を扱ってきた従来の博物館等施設にとっては当然の前提だった認識が、文化財 3次元データの普及により克服可能な課題として見直される機会を得たと言えるだろう。

一方で、文化財 3次元データはあくまで実物資料の計測記録をベースとすることが基本原則であり、データとしてのみ存在するものではない。従って両者は相互補完的な関係でもある。

4. デジタルシフトと文化財 3次元データ

新型コロナウイルス感染症のまん延に伴い、博物館等の施設が休館や利用制限の影響を受ける中、実物資料とその展示を核とする従来の利活用は大きな課題に直面し、デジタル、オンラインへの移行が急速に進展した(田良島 2020)。そしてデジタルアーカイブ、デジタルミュージアムのコンテンツとして、3次元モデル・データの利用も進んでいる。



図2 実物資料と3次元データの関係²⁾

博物館等で広く導入されているデジタルアーカイブプラットフォーム (LB. Museum SaaS⁵⁾、ADEAC⁶⁾ など) は 3D モデルのブラウジングが可能である。Sketchfab⁷⁾ に公式アカウントを持ち、3次元モデル・データを公開する自治体・文化機関も増えている (加藤 2021, 木村 2021 など)⁸⁾。

岐阜県飛騨市の飛騨みやがわ考古民俗館は、運営上の制約から年間約 30 日⁹⁾ しか開館しない、展示資料へのアクセス困難な地方小規模博物館の一例である。ここでは 2020 年度より「石棒クラブ」として Sketchfab 上で館蔵資料の 3 次元モデル・データを公開¹⁰⁾ しているが (三好 2021, 2022a, b)、最も多い資料で 1 万 8 千 9 百件もの閲覧数が記録されている (図 3)¹¹⁾。これは実際の来館者数を遥かに上回る数字であり、前節で指摘したアクセス性の向上を体現している (三好 2022a, b)。

仮想情報空間への写像としての 3 次元データは、実物資料と相互補完しつつ、利用可能性、利活用における利便性において実物資料単体より大きな効果を上げ得ることが明らかである。

5. GIGA スクールと文化財 3 次元データ

新型コロナウイルス感染症のまん延に伴い進展したもう一つの大きな変化が、学校の児童生徒に 1 人 1 台のインターネット通信が可能な端末が配備される GIGA スクール構想の実現¹²⁾ である。

コンピューターが、専用教室に配置され学校・教

員に管理され利用の機会も限定されていた共有の設備から、個人単位で利用できる道具へと移行したことが、学校教育現場に与える影響はきわめて大きい (豊福 2022)。オンラインで利用可能な文化財関連情報を活用した取り組みも早速進められている (川崎 2022, 佐々木 2022, 宮澤 2022)。

オンラインで公開されている文化財 3 次元モデル・データも当然、その対象となる。前述の大網白里市や飛騨市では、ADEAC、Sketchfab にアップロードされたモデルと実物資料の併用による授業を実践している (武田 2020, 三好 2022a)¹³⁾。また大学教員によるワークショップの取り組みでの実践例も報告されている (中村 2022)。

実物資料は 1 点しかなく、大人数が同時に見学することは困難だが、3 次元モデルは各自が端末上で自由に、好きなだけ観察することができる。3 次元モデルによる事前学習は、実物資料の見学学習の効果・効率を高めることができる。実物資料をケースから出せない、あるいは複数用意できない場合は、1 人あたりの実観察時間はきわめて短くなる。劣化のない複製が可能なデジタルデータとして提供される文化財 3 次元モデルは、そうした制約を受けない。

また実物資料との併用だけでなく、教科書・副読本の写真では視点や拡大率が固定されているものを、自由に観察できることで学習意欲と理解度を高めることも可能である。デジタルアーカイブや 3 次元モデル共有公開プラットフォームを使用していな



図3 飛騨みやがわ考古民俗館、最多閲覧数の3Dデータ・モデル

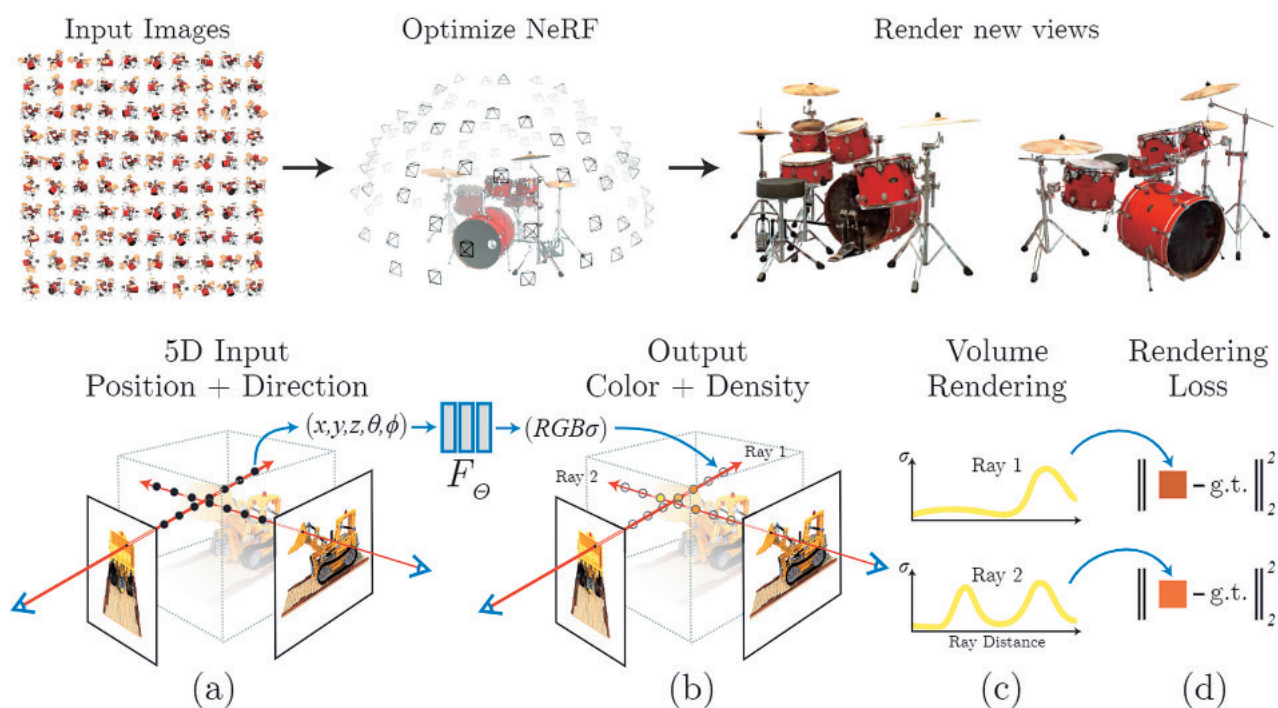


図4 NeRFによる3Dシーンの再構成（上段）およびデータ入力・処理・出力の模式図（下段）（Mildenhall et al. 2020: figs. 1-2）

い場合でも、webGL等によりウェブページ上でブラウザ可能な形で公開することもできるし、データリポジトリの形式でダウンロード利用を前提とすることも可能である¹⁴⁾。通信環境が整っていない場合や、オンライン公開が困難な場合は、オフラインでの複製共有でも問題はない。

6. 計測・取得機器と技術の進展

LiDAR¹⁵⁾ スキャンと、SfM-MVS法¹⁶⁾ による3次元写真計測（3次元フォトグラメトリ）が、文化財分野における3次元計測・データ計測の2本柱である。

LiDARスキャンは、計測場所（屋外／屋内）、対象の規模や範囲（中長距離／近接）などにより専門的な機器に分化しており、1台で汎用的に使えるものではない。導入に必要なコストも大きい一方で、操作性や効率性（短時間・広範囲の一括スキャン等）の改善が著しい。

とくに屋外・中長距離用計測では、従来、地上据置型（TLS: Terrestrial LiDAR Scanner）が主流であったが、機器の小型化とネットワーク型 RTK-

GNSS測位¹⁷⁾、SLAM／VSLAM技術¹⁸⁾により、移動しながらの即時的なスキャンが可能になったことで、無人航空機（UAV／ドローン）搭載型¹⁹⁾や手持ち・可搬型の機種が普及しつつある。手持ち型スキャナーは計測範囲や精度の点で TLS より劣るものの、見通しが効かない、高低差があるような場所であっても頻回な据替をせずに連続的にスキャンできる利点がある。

屋内・近接計測では、小型で廉価な機種の開発と市場投入が相次いでおり、今後、急速に普及する可能性がある。

3次元写真計測は、商業ソフトが安定した成果を提供するようになっており、一般への普及段階に入ったと言える²⁰⁾。従来の個別の遺物・遺構・建造物単位の記録を超えて、環境空間・景観全体を記録する「広域・環境フォトグラメトリ」も実践されており、文化財分野におけるポテンシャルは大きい²¹⁾。

同時に、3次元立体画像を構築するあらたな技術として NeRF（Neural Radiance Field）も注目されている。ニューラルネットワークによる視点合成

により空間上の各点の放射輝度 (radiance) と体積密度 (volume density) を計算出力するものであり (Mildenhall et al. 2020)²²⁾、「計測」データとして扱えるものなのかどうか、さらに検討が必要である (図4)。一方で、コンピューターやスマートフォンで利用できるアプリも登場しており²³⁾、視覚的な再現性の高い手法として急速に普及する可能性もあるだろう。

7. 文化財3次元データのフォーマット

データのアーカイブ、長期保管に関しては、シンプルで人間可読性も担保される、ASCII 形式の OBJ ファイルでの保存が推奨される。一方で、利活用においては、3次元データ本体 (拡張子.obj)、マテリアル参照 (拡張子.mtl)、テクスチャ画像 (.jpg 等の画像形式データ) など少なくとも3つのファイルを一体的に扱わなければならない、3次元データやコンピューターのデータファイルの取り扱いに不慣れな場合の取り扱いに難がある。またファイルサイズ自体が大きくなってしまうという課題もある (仲林2021)。

このため利活用においては、WindowsPC では GLB ファイル²⁴⁾、Mac-OS または iOS 端末では USDZ ファイル²⁵⁾ の利用を勧める。いずれも単一のファイルでテクスチャも表示可能である。GLB ファイルは Windows10 以降、標準でプリインストールされている 3D ビューアーで表示可能なため、あらたなソフト・アプリをインストールする必要もない。USDZ ファイルも Safari で表示可能である²⁶⁾。

なお GIGA スクール端末として利用されることが多い Chromebook については、サードパーティー製の 3D ビューワーアプリを Chrome に追加することで GLB ファイルや OBJ ファイルを表示することが可能である。

また 3次元データ・モデルをよりインタラクティブな利用方法として 3D アニメーションの活用も注目される。ゲームやエンターテインメント要素としてだけでなく、破片となった土器の復元²⁷⁾、入れ子になった出土状況から個別資料を分けて提示²⁸⁾ するなど、静的なモデルの提示より理解を深める効果

を狙ったものがある。さらにモーションキャプチャにより伝統舞踊の身体動作、足取りを記録して 3次元モデルで再現した例もある²⁹⁾。モデル自体は創作的なものであり、本稿での文化財 3次元計測データの定義からは外れるものだが、動的な無形文化財、あるいは機械的に作動する有形文化財の動態の記録方法として、視点が固定される動画以上の情報量を保持し得る点で注目すべきであろう。

こうしたアニメーション付き 3D モデル・データは、FBX や GLB などの対応するファイル形式を選択する必要がある。一方でモデルに付加される動作・アニメーションが文化財の記録として本質的でない場合は、利活用における一時的データとして扱うのか、アーカイブの対象として長期保存すべきものなのかを評価、判断する必要があるだろう。

8. モバイルスキャンと文化財3次元データ

前述の中長距離の手持ち型スキャナーのうち、2022 年 11 月時点で実用に供されているものは高価である。それに対して、2020 年に Apple 社製タブレット iPad pro に LiDAR センサーが搭載されたことで、より廉価なモバイル端末による 3次元計測 (モバイルスキャン) が可能になった (上田2022、モバイルスキャン協会:2023)³⁰⁾。また、LiDAR スキャンだけでなく 3次元写真計測のアプリも複数提供されており³¹⁾、データ出力まで完全無料のものもあることから急速に普及が進んでいる。

モバイルスキャンの計測範囲は最大 5m で、解像度 (点群密度・メッシュサイズ) や精細度の点でも中長距離手持ち型スキャナーや 3次元写真計測に見劣りする面もある。一方で計測機器としてのモバイル端末が小型・軽量であることから、開口部の小さい横穴式石室や横穴墓などで機動的に運用できる利点もある (野口ほか:2023)。また計測方法にもよるが、取得データは等高線図や断面図を作成するのに十分なものである (野口2022c)。LiDAR スキャン専用機材と異なり、通信端末としても利用でき、またカメラの性能も良いため、多用途に使用でき、機

器の待機時間が少ない点も長所と言える。

導入コストも低いモバイルスキャンを、小規模・小範囲だが数の多い計測に振り向ける一方、調査区全体など大規模・広範囲の計測には専用機材を用いるという使い分けによって、発掘調査現場等における迅速かつ効率的な3次元計測が可能になる（野口2022c）。

また何よりも、端末自体が日常的に使用されているもので、アプリのUIも操作性に優れているため、短時間に習熟できるという点も大きな魅力である。実際に長野市立更北中学校ものつくり部理科班では、モバイルスキャンと3次元写真計測を併用して長野市埋蔵文化財センター・長野市立博物館が所蔵する考古学・民俗学資料の3次元計測とデジタル博物館化を目指す試みを開始している（図5）³²⁾。



図5 中学生による取り組みを報じる長野市民新聞の紙面（長野市民新聞の許可により掲載）

9. 3Dウェブ地図・GISと文化財3次元データ

地図・GIS分野でも3D化が進行している。Google Earth³³⁾ のような3D地球儀または3Dウェブ地図・GISをウェブブラウザ上で実装できる技術が普及している。オープンソースのCesiumでは、3次元

データを3Dウェブ地図・GISでの表示に最適化した3DTilesに変換するシステムと、それをウェブブラウザ上で利用者が操作できるようにするプラットフォームが提供されている³⁴⁾。

国土開発や都市計画の分野では、デジタルツインの文脈から3D都市モデルの整備が進められている。国土交通省PLATEAUや、東京都デジタルツインがその代表例である³⁵⁾。静岡県によるVirtual Shizuokaでは、全県の現地計測による3次元点群データを作成・公開している³⁶⁾。

遺跡・遺構・建造物等の不動産文化財は地物として地図・GISでも取り扱われる。したがって文化財3次元データも、3Dウェブ地図・GISで取り扱う対象となる。2022年10月に公開された、産業技術総合研究所（産総研）と奈良文化財研究所（奈文研）による全国文化財デジタルツインプラットフォーム³⁷⁾は、産総研の3D-DBviewerをプラットフォームとして奈文研の文化財総覧 webGIS³⁸⁾ のデータを3Dでレンダリングし、ブラウズできるようにするとともに、不動産文化財の3次元点群やメッシュデータを3Dウェブ地図上に表示、さらに属性情報等も閲覧できるシステムである（中村：2023）。

なお全国文化財デジタルツインプラットフォームに収録掲載されている文化財3次元データは、UAV-LiDARスキャン、TLS、手持ち型スキャナー、3次元写真計測など多様な機器・手法により取得されたものである。その中にはモバイルスキャンによるデータも含まれるが、広範囲をカバーするがやや粗い手持ち型スキャナーによる3次元点群データに対して、個別遺構の詳細はモバイルスキャンが記録することでそれぞれの利点を活かした分担が可能である（図6）。

ところでPLATEAUや東京都デジタルツインなどの3D都市モデルが現在から未来を見据えたものであるとすると、文化財デジタルツインは、土地・地域の過去から現在に至る来歴を蓄積されたデータから可視化するものとなる³⁹⁾。これは文化財3次元データが、文化財単独としての意義・価値だけでなく、現代社会の諸課題の解決に広く利用され



図6 国分寺市役所新庁舎建設地点（国分寺市2022）の地下遺構（全国文化財デジタルツインプラットフォーム） 調査区全体：手持ち型スキャナー（Leica BLK2GO）、縄文時代陥し穴等：モバイルスキャン（iPhone13pro+Scaniverse）

るポテンシャルを持つことを意味する。これは文化財の保護と、そのための調査、記録の遂行の意義を拡張し、社会にとってその重要性をより強く認識してもらうための一助となるはずである。

10. データベースとしての文化財3次元データ

建築業界ではBIM（Building Information Modeling）が急速に普及している。単なる3次元での設計・モデリングということにとどまらず、全体や個別の部材の形状に属性情報が付加され一体的に管理され、分析可能なモデルである。これを文化財に適用するHBIM（Historic BIMまたはHeritage BIM、BIM for Heritageとも）が注目されている（Arayici et al. eds. 2017, Pocobelli et al. 2018など）⁴⁰⁾。国内においても検討・適用が進められている。

ここではHBIMについて詳しく解説することはできないが、属性情報を保持する3次元モデル・データが配置され、より大きな、あるいは全体的なモデルを構造するというコンセプトに注目しておきたい。これまでの文化財3次元モデル・データは、サイズやデータ量の大小、形状の複雑さなどに関わらず、おもにそれぞれが独立した・または完結したものとして扱われてきたと言えるだろう。

しかしそれらは同時に、完形土器を構成する破片、石器接合資料を構成する剥片や石核、遺構・建造物を構成する部位・部材でもあり得る。さらに接合復元された遺物や集合的な遺構は、遺跡全体の構成要素の一部でもある。個々の遺物・遺構の3次元データが、時空間上の位置（座標）と相互の関係を与えられる時、その総体は過去の人類・社会の生活行動痕跡の連鎖、またはその調査記録を3次元的に、さらに層位や年代等の時間軸を与えられる時には4次元的に復元し得る記録・情報となる。それは単なる概念にとどまらず、仮想情報空間上に、相対的または絶対的な位置を占める仮想実体（virtual substance/ entity）である。

具体的には、前掲の全国文化財デジタルツインプラットフォームにおいて、遺跡や調査区の全体の中に、より詳細な遺構の3次元モデルなどが配置されており、それぞれに属性情報が与えられている状態が相当する。個別の3次元モデルとそのデータは独立したものとして図化、解析することができると同時に、その位置情報により相互に、また遺跡・調査区のデータと固有の関係をもち、全体を構成する。ここに、出土位置座標を持つ遺物3次元データが配置されると、発掘状態から、整理・分析を経て復元

された過去の状態までも3次元的に可視化することが可能になるだろう。

当面は、全国文化財デジタルツインプラットフォームにおいて各データに対し、PLATEAUなどのデジタルツイン都市モデルで採用されているCityGML⁴¹⁾に準拠するフォーマットで構造化された属性データを付与することが課題である。その上で、GISやBIMソフト・アプリケーションのように、文化財3次元データを統合的に扱うことが可能なシステム・アプリケーションの開発も検討すべきであろう。

11. みんなでつくる文化財3次元データ

2022年2月に行なわれた「みんキャブ」は、3Dウェブ地図プラットフォーム「toMap」に、参加者が自分自身でスキャンした地物等の3次元データを登録、公開できるイベントだった⁴²⁾。そこでは、筆者を含め、少なくない文化財3次元データが公開された。また解体中の集合住宅や、何気ない街角の路地など、「いまその時」にしか見られない、記録することができない场景も多く登録、公開された。言うまでもなく、「今」の記録は、将来、「過去」の記録となる。モバイルスキャンの普及により誰もが身近なものや情景を3次元計測で記録できるようになると、「今」がデジタルアーカイブとして蓄積されるようになる。

これまで、文化財の計測・記録は専門家・研究者が担うべきものであり、一般市民はその成果を受け取るという一方向なあり方が前提とされてきた。デジタルカメラと、それを備えた携帯電話、スマートフォンの普及は、一般市民による文化財の写真・動画記録の敷居を大幅に下げた。さらにブログ、SNSといった公開の場の広がりにより発信も「誰でも」できるようになっている。博物館展示室における撮影やSNS投稿をめぐる軋轢は、そうした流れの延長線上に生じた過渡期的なものだが、専門家・機関と一般市民の双方がともに発信する流れはとどまることはないと思われる（今井2022）。

モバイルスキャンの登場、および3次元写真計測の普及は、そうした流れの中に文化財3次元データが組み込まれていくことを加速させるだろう。3D計測の専門家だが文化財の専門家・研究者ではない立場からのアクセス障壁についてはつとに指摘されてきたところでもある（野口2020b）。文化財そのものを毀損したり、法令等にもとづく権利を侵害するような行為が制限ないし禁止されることは言うまでもないが、そうした制限・禁止が、3次元計測の実施者の身分・立場や属性によって決定されたり、あるいは法令等の根拠がないままに「文化財であるから」と制限を行なうようなことはあってはならない。

文化財に限らず3次元データに関する著作権等についてはまだ定まっていない部分もあるため、実務専門家の見解を参照しつつ、未解決の課題については個別に検討する必要がある（数藤2019, 関2022, 奈良文化財研究所企画調整部文化財情報研究室2022などを参照）。一方で文化財としての意義とそれを最大化するための理念的前提、すなわち文化財に関するデータ・情報を「公共財」として認識し扱うこと（福島2019）を常に意識する必要がある。

そして何よりも、一方向的に受け取るのではなく、自ら記録する・データや情報を作り出すことに関わることによって、一般市民に文化財への認知や愛着が増し行動変容をもたらすこと、それにより専門家だけでは果たし得なかった意義や価値が創出され得ることに注目する必要がある（中尾2022, 野口印刷中）。

文化財3Dデータに関しては、おもに3次元写真計測による、大学における博物館実習での取り組みとその効果や（中村2022）、一般市民を含めての「3D合宿」の参加者への効果（三好2022）などが報告されている。

前述のとおり、モバイルスキャンの普及はそうした取り組みへの潜在参加者層を拡張する方向に作用する。飛騨市みやがわ考古民俗館における3D合宿⁴³⁾では、小学1年生（当時）がモバイルスキャンで縄文土器の3次元データを作成し、それを3Dプリンタで出力する体験を絵日記に描いている（図7）。

長野市立博物館で3次元計測に取り組む中学生も含めて、彼女ら・彼らが社会人になる10年後、15年後に、この経験がどのように作用するのか、その時の社会や技術はどのようなになっているのか。文化財3次元データの今を考え試行することは、オープンサイエンスへの潮流（Marwick2019）を見据えて文化財の未来を切り開くことにほかならないだろう。

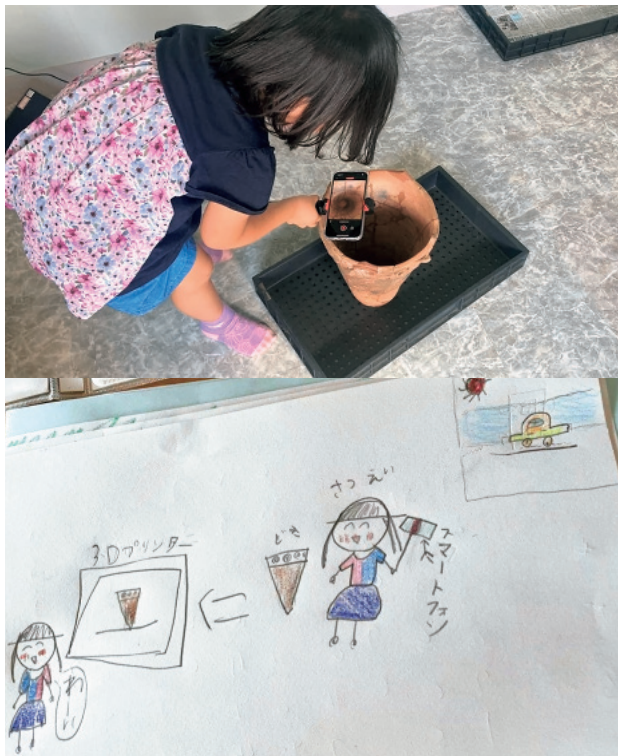


図7 3D 合宿で縄文土器（飛騨みやがわ考古民俗館所蔵）をモバイルスキャンする小学生と体験を描いた絵日記（提供・佐々木宏展さん）

【註】

- 1) 線画（line drawing）としての従来の「実測図」は計測特徴点を結ぶ線分で囲まれた範囲を「面」と見なす含意の下で利用されてきたが、実際には点・線分以外の場所の記録としての情報価値はnullである。写真の場合、面の情報を有するが2次元である。文化財3次元データは面の情報を有し、かつ3次元である。
実測図・写真出典：秋田県埋蔵文化財センター1985、3次元計測データ：筆者
- 2) 仏像頭部：伝パキスタン・カラワーン出土、イスラマバード博物館所蔵資料（野口2017参照）

背景地図：<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:BlankMap-World.svg>（パブリックドメイン）

- 3) 大網白里市デジタル博物館 <https://trc-adeac.trc.co.jp/WJ11C0/WJJS02U/1223905100>（2022年11月6日閲覧）
- 4) 実物資料の計測記録をベースとするという点で創作物としての3DCGとは区別される。
- 5) 早稲田システム開発「クラウド型収蔵品管理システム I.B.MUSEUM SaaS」<http://www.waseda.co.jp/products/saas>（2022年11月6日閲覧）
- 6) TRC-ADEAC 株式会社「ADEAC」<https://trc-adeac.trc.co.jp/>（2022年11月6日閲覧）
- 7) Sketchfab, Inc. が開発・運用する 3D モデルの公開共有プラットフォーム。大英博物館をはじめ世界中の博物館等の文化財データも多数公開されている。<https://sketchfab.com/>（2022年11月6日閲覧）
- 8) このほか名古屋大学考古学では3Dデータのリポジトリ・閲覧のシステム・アプリ Culpticon を開発している。<https://culpticon.jp/>（2022年11月21日閲覧）。
- 9) 2022 年度 は 27 日 <https://www.city.hida.gifu.jp/soshiki/32/40166.html>（2022年11月6日閲覧）
- 10) <https://sketchfab.com/sekibo.club>（2022年11月8日閲覧）
- 11) 石棒クラブ「石棒（宮川村教育委員会1996『堂ノ前遺跡』第74図）（飛騨みやがわ考古民俗館）」<https://sketchfab.com/3d-models/199674-64b4fa034a8d4a3fb39a68a894889502>（2022年11月8日閲覧）
- 12) 文部科学省「GIGA スクール構想の実現へ」https://www.mext.go.jp/content/20200625-mxt_syoto01-000003278_1.pdf（2022年11月8日閲覧）
- 13) 大網白里市「小学校と生涯学習課の連携について（文化財・デジタル博物館の活用）」<https://www.city.oamishirasato.lg.jp/0000011530.html>（2022年11月8日閲覧）
Facebook「飛騨市の文化財」https://www.facebook.com/story.php?story_fbid=1207633279678510&id=309239896184524, https://www.facebook.com/permalink.php?story_fbid=1235229466918891&

- id=309239896184524 (2022年11月8日閲覧)
- 14) 一例として、美の国あきたネット「「あきたの縄文」出土品3Dモデル」 <https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/65651> (2022年11月6日閲覧)
 - 15) Light Detection and Ranging または Laser Imaging Detection Ranging の略。後者の場合は LIDAR と表記されることもある。近赤外線から可視光領域(紫外線を用いる場合もある)の指向性と収束性の高い光線(レーザー)を照射し、その反射で対象との距離や状態を計測する技術。
 - 16) Structure-from-Motion: 複数の画像からコンピュータービジョン技術によりカメラ(撮影)位置を復元する技術と、Multi View Stereo: 多視点ステレオ法により3次元形状を復元構築する写真計測法(早川ほか2016, 内山ほか2018などを参照)。
 - 17) リアルタイムキネマティック全球衛星航法システム: Real Time Kinematic- Global Navigation Satellite System。基準点情報を観測点に送信しリアルタイムで解析を行なうことで高精度に観測点の位置情報を決定する技術。ネットワーク型 RTK-GNSS では携帯電話通信網などを利用して基準点情報を送信することで、基準点からの距離が遠い観測地点でも高精度な測位を可能にする。
 - 18) 自己位置推定・環境マッピング: Simlutaneous Localization And Mapping。移動体が搭載センサーにより周囲の状況をセンシング・マッピングしながらリアルタイムに自己位置を推定する技術。身近な例としてロボット型掃除機がある。VSLAM (Visual SLAM) はカメラからの画像情報(深度情報を含む場合もある)を用いるもの。
 - 19) 本研究報告所載、野口ほか(2023)を参照。
 - 20) All3DP “The Best Photogrammetry Software of 2022 (Many are Free)” では2022年前半段階の実用化された「ソフト・アプリを総合的に検討、レビューを行なっている。」 <https://all3dp.com/1/best-photogrammetry-software/> (2022年11月22日閲覧)
 - 21) STUDIO DUCKBILL「広域・環境フォトグラメトリ」 https://www.studi duckbill.jp/environment_photogrammetry/ (2022年11月8日閲覧)
 - 22) YouTube DUCKBILL Photogrammetry [4K] 群馬県立自然史博物館フォトグラメトリ (Gunma Museum Of NaturalHistory Photogrammetry) <https://youtu.be/c-RAh4lhZr0> (2022年11月21日閲覧)
 - 23) AI-SCHOLAR「GANとどう違う? 君は画像生成モデル NeRFを知っているか」(2022年6月6日) <https://ai-scholar.tech/articles/nerf/nerf> (2022年11月8日閲覧)
 - 24) iOS端末向けとしてLumaAIが提供されている(2022年11月正式リリース、無償) <https://lumalabs.ai/> (2022年11月21日閲覧)
 - 25) glTF ファイルのバイナリ形式。単一のファイルにテクスチャも含めることができ、またアニメーションの保存も可能。圧縮効率にも優れている。
 - 26) USD ファイルの zip アーカイブ形式。単一のファイルにテクスチャを含めることができ、アニメーションなどの保存も可能。SafariでAR表示もできる。
 - 27) 前掲の美の国あきたネット「「あきたの縄文」出土品3Dモデル」はGLB(ウェブページ上の表記はglTF)、USDZファイルとしてデータを提供している(註13)
 - 28) noe-3d.at “Becher” <https://sketchfab.com/3d-models/becher-1301a57bba0d4877a9e46863954b7be0> (2022年11月21日閲覧)
 - 29) LWL-Archaeologie “008 Verzierte Gefäße / Decorated Vessels” <https://sketchfab.com/3d-models/008-verzierte-gefae-decorated-vessels-0bfbdac6a4d9431bb585e33a7a39e4c2> (2022年11月21日閲覧)
 - 30) Graphics & Extended Reality Lab “Virtual Dance Museum: Maleviziotikos [Greece]” <https://sketchfab.com/3d-models/virtual-dance-museum-maleviziotikos-greece-fc04a9cd4b8844a08e943d2314468374> (2022年11月21日閲覧)
 - 31) 中国科大数媒系—表演捕捉與動畫科技研究室「新莊地藏庵頭前庄官將首：三步贊」 <https://sketchfab.com/3d-models/af6e7a72497047cb8705a3e9d457f72a> (2022年12月8日閲覧)
 - 32) モバイルスキャン協会 <https://mobilescan.jp/> (2022

年11月8日閱覽)

- 31) iwama「【初心者向け】iPhone 3D スキャンパーフェクトガイド」 <https://note.com/iwamah1/n/n48a549845ae3> (2022年11月8日閲覧)
 - 32) 「生徒がデジタル博物館 更北中生 市埋文収蔵の2点データ化」長野市民新聞11月12日1面
(ウェブ版「11月の記事」に概要あり：https://www.news-nagano.com/news2022_11.html) (2022年12月2日閲覧)
 - 33) <https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>
 - 34) Cesium: The Platform for 3D Geospatial <https://cesium.com/>
GIS 実習オープン教材「Cesium 入門」 https://gis-oer.github.io/gitbook/book/materials/web_gis/Cesium/Cesium.html
 - 35) 国土交通省 PLATEAU by MILT <https://www.mlit.go.jp/plateau/> (2022年11月8日閲覧)
東京都 デジタルツイン実現プロジェクト <https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/> (2022年11月8日閲覧)
東京都 デジタルツイン 3D ビューア (β版) https://3dview.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/?_gl=1*1cy4r0l*_ga*MzA4NjI5NTZkuMTY1NjI5NTQ2OQ..*_ga_R074JDNDN9*MTY2ODI2MzM5NC4zOC4wLjE2NjgyNjMzMjQuNjAuMC4w&_ga=2.94182237.1118284427.1668263325-664115628.1668263325 (2022年11月8日閲覧)
 - 36) Shizuoka Point Cloud DB (現在は G 空間情報センターにホストされている) <https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/shizuoka-point-cloud-db> (2022年11月8日閲覧)
 - 37) 3DDBviewer: 全国文化財情報デジタルツインプラットフォーム https://gsrt.digiarc.aist.go.jp/nabunken_aist/index.html (2022年11月8日閲覧)
産総研「全国文化財情報デジタルツインプラットフォームの構築－デジタル技術で埋蔵文化財を記録・可視化し、歴史を未来へつなげる－」(2022年10月18日) https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/
 - なぶんけんブログ「全国文化財情報デジタルツインプラットフォームの構築」 <https://www.nabunken.go.jp/nabunkenblog/2022/10/3ddb.html> (2022年10月18日)
 - 38) 文化財総覧 webGIS <https://heritagemap.nabunken.go.jp/> (2022年11月8日閲覧)
 - 39) 野口 淳「文化財デジタルツインで都市の過去と現在をつなぐ」東京都デジタルツイン楽屋トーク(2022年8月5日) <https://info.tokyo-digitaltwin.metro.tokyo.lg.jp/kanrenziguyou/> (2022年11月8日閲覧)
 - 40) ICCROM Official Channel “Heritage Building Information Modeling : A tool for conservation, management and recovery” <https://www.youtube.com/live/S5WygPv0dck?feature=share> (2022年11月21日閲覧)
 - 41) Open Geospatial Consortium “CityGML” <https://www.ogc.org/standards/citygml> (2022年11月21日閲覧)
 - 42) 2022年12月1日～2023年1月15日の日程で第2回が開催されている。<https://2022.minc.app/> (2022年12月5日閲覧)
 - 43) ヒダスケ!「ヒダスケ初合宿!石棒クラブ文化財の3Dデータ化をお手伝い」<https://hidasuke.com/2021112728report/>、「3Dデータで飛騨の文化財を世界に発信!」https://hidasuke.com/sekibouclub_3dgassyuku2022/ (2022年12月5日閲覧)
- ### 【引用文献】
- Arayici, Y., J. Counsell, L. Mahdjoubi, G. Nagy, S. Hawas, K. Dweidar (eds.) 2017 *Heritage Building Information Modelling*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315628011>
- Marwick, B./高田祐一・野口 淳・P. Yanase 訳 2019「考古学における研究成果公開の動向－データ管理・方法の透明性・再現性－」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用2』奈良文化財研究所研究報告24: 1-13 <http://doi.org/10.24484/sitereports.69974>

【引用文献】

- Arayici, Y., J. Counsell, L. Mahdjoubi, G. Nagy, S. Hawas, K. Dweidar (eds.) 2017 *Heritage Building Information Modelling*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315628011>
- Marwick, B./高田祐一・野口 淳・P. Yanase 訳 2019「考古学における研究成果公開の動向 - データ管理・方法の透明性・再現性 -」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用2』奈良文化財研究所研究報告24: 1-13 <http://doi.org/10.24484/sitereports.69974>

- Mildenhall, B., P. P. Srinivasan, M. Tancik, J. T., Barron, R. Ramamoorthi and R. Ng 2020 NeRF: Representing Scenes as Neural Radiance Fields for View Synthesis. *arXiv*: 2003.08934. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2003.08934>
- Pocobelli, D.P., J. Boehm, P. Bryan, J. Still and J. Grau-Bové 2018 BIM for heritage science: a review. *Heritage Science*, 6: 30 <https://doi.org/10.1186/s40494-018-0191-4>
- 秋田県埋蔵文化財センター 1985『七曲臨空港工業団地造成工事に伴う埋蔵文化財発掘調査報告書』秋田県文化財調査報告書 125 <http://doi.org/10.24484/sitereports.11934>
- 今井邦彦 2022「文化財報道と SNS 博物館の「撮影解禁」を取材して」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 4』奈良文化財研究所研究報告 33: 47-50 <https://sitereports.nabunken.go.jp/ja/article/63523>
- 上田智章 2022「特許で読み解く動作の仕組み」『Interface』2023年1月号: 101-116 CQ出版社 ISSN0387-9569
- 内山庄一郎・井上公・鈴木比奈子 2018「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 <https://doi.org/10.24732/nied.00001225>
- 加藤俊吾 2021「ミュージアムにおける 3D モデルの公開－大阪歴史博物館の場合－」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 3』奈良文化財研究所研究報告 27: 104-109 <http://doi.org/10.24484/sitereports.90271-15060>
- 川崎志乃 2022「児童生徒を対象とした遺跡情報システム (GIS) の活用」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 4』奈良文化財研究所研究報告 33: 164-166 <http://doi.org/10.24484/sitereports.115736-63538>
- 木村龍生 2021「熊本県での文化財三次元データ活用の事例」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 3』奈良文化財研究所研究報告 27: 110-115 <http://doi.org/10.24484/sitereports.90271-15061>
- 国分寺市 2022『国分寺市新庁舎建設に伴う発掘調査現場見学会』資料 <http://doi.org/10.24484/sitereports.129507>
- 佐々木宏展 2022「発掘現場と GIGA スクール構想 学習者中心の ICT 活用は埋蔵文化財にどのような変化をもたらすか？」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 4』奈良文化財研究所研究報告 33: 141-155 <http://doi.org/10.24484/sitereports.115736-63536>
- 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」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 2』奈良文化財研究所研究報告 21: 91-95 <http://hdl.handle.net/11177/6889>
- 関 真也 2022『XR・メタバースの知財財務』中央経済社 ISBN 9784502435713
- 武田剛朗 2020「デジタルミュージアムと地方史研究の関係性：大網白里市デジタル博物館の事例より」『地方史研究』70 (5) : 86-90 <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520572359993188224>
- 武田剛朗 2021「大網白里市デジタル博物館」『中央史学』44: 125-130 <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520290884601566976>
- 田良島哲 2020「行かない／行けない人のためのデジタルミュージアムと、それを支えるデジタルアーカイブ」『アーツスケープ』2020年07月01日号 https://artscape.jp/study/digital-achive/10162857_1958.html
- 豊福晋平 2022「学習者中心主義からみる教育 DX の新局面」『2030 年代のデジタル学習論：教育 DX の構想と実践』智場：intelplace, #124 特集号：9-18 国際大学グローバル・コミュニケーション・センター ISBN 9784904305188
- 中尾智行 2022「博物館のデジタル化：公共化と価値共創」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 4』奈良文化財研究所研究報告 33: 41-46 <http://doi.org/10.24484/sitereports.115736-63522>
- 仲林篤史 2021「公開を目的とした 3D モデルのデータ量削減方法」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 3』奈良文化財研究所研究報告 27:120-129 <http://doi.org/10.24484/sitereports.90271-15063>
- 中村耕作 2022「大学による考古資料の 3D データ化と公開・活用」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用 4』奈良文化財研究所研究報告 33: 22-28

- <http://doi.org/10.24484/sitereports.115736-63520>
- 中村良介 (2023) 「デジタルツイン構築技術の文化財への応用」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5』奈良文化財研究所研究報告
- 奈良文化財研究所企画調整部文化財情報研究室 2022 『文化財と著作権』奈良文化財研究所研究報告 34 <http://doi.org/10.24484/sitereports.115734>
- 野口 淳 2017 「文化遺産の三次元記録への取組みと課題－パキスタンの事例－」『季刊考古学』140: 68-71 ISBN: 9784639024965
- 野口 淳 2020a 「三次元データの可能性－活用と課題－」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用2』奈良文化財研究所研究報告 24: 59-70 <https://doi.org/10.24484/sitereports.69974-11964>
- 野口 淳 2022a 「文化機関における3次元計測・記録データの管理・公開の意義と課題」『カレントアウェアネス』351: 18-22 <https://doi.org/10.11501/12199170>
- 野口 淳 2020b 「考古学・文化財資料とデータの公開・利用を考える－社会的価値の増大を目指して－」『考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン online#05 考古学・文化財資料とデータの公開・利用を考える予稿集』3-11 <http://doi.org/10.24484/sitereports.88607-688>
- 野口 淳 2022b 「考古学・埋蔵文化財情報のオープン化」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用4』奈良文化財研究所研究報告 33: 1-13 <http://doi.org/10.24484/sitereports.115736-63517>
- 野口 淳 2022c 「考古学／文化財への応用」『Interface』2023年1月号: 26-30 CQ出版社 ISSN0387-9569
- 野口 淳 (2023) 「身近な最新技術で文化遺産保護を広める：誰もが取り組める計測記録を目指して」『第31回文化遺産国際協力コンソーシアム研究会 技術から見た国際協力のかたち』報告書 文化遺産国際協力コンソーシアム
- 野口 淳・中島将太・高木翼郎 (2023) 「モバイルスキャンによる迅速な遺構計測と埋蔵文化財調査への効果－東京都小金井市平代坂横穴墓の事例－」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5』奈良文化財研究所研究報告
- 野口 淳・中村良介・金澤 舞 (2023) 「UAV-LiDAR による遺跡・地形計測の仕様と実施」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5』奈良文化財研究所研究報告
- 早川裕弐・小花和宏之・斎藤仁・内山庄一郎 2016 「SfM多視点ステレオ写真測量の地形学的応用」『地形』37: 321-343 <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520009407093089152> (<https://sites.google.com/site/japangeomorphologicalunion/tjguarchive/36-38>)
- 福島幸宏 2019 「文化財情報を真の公共財とするために」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用2』奈良文化財研究所研究報告 24: 118-121 <http://doi.org/10.24484/sitereports.69974-11971>
- 宮澤優子 2022 「学校図書館×GIGA スクール×地域文化財資料」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用4』奈良文化財研究所研究報告 33: 156-163 <http://doi.org/10.24484/sitereports.115736-63537>
- 三好清超 2021 「人口減少が著しい飛騨市で文化財データ公開を進める意義」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用3』奈良文化財研究所研究報告 27: 116-119 <http://doi.org/10.24484/sitereports.90271-15062>
- 三好清超 2022a 「関係人口と共働した文化財と博物館資料の活用－飛騨市モデルの報告－」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用4』奈良文化財研究所研究報告 33: 29-40 <http://doi.org/10.24484/sitereports.115736-63521>
- 三好清超 2022b 「関係人口とともに埋蔵文化財を楽しむ飛騨市・石棒クラブの取組」『月刊文化財』710: 13-19 <https://cir.nii.ac.jp/crid/1520575444014840448>
- モバイルスキャン協会 (2023) 「モバイル端末によるデジタルアーカイブ手法と利活用」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5』奈良文化財研究所研究報告
- 森健人 2019 『フォトグラメトリによる博物館動物標本の三次元モデル化及び公開方法の模索的研究』2018年度研究成果報告書 <https://kaken.nii.ac.jp/ja/report/KAKENHI-PROJECT-17K12967/17K12967seika/>