

紀要

37

- 草津市・北谷古墳群L地点出土埴輪について
 — 湖南地域出土埴輪資料の基礎的検討 — 辻川 哲朗 (1)
- 横穴式石室の構築原理を考える
 — 研究ノート：岩橋型石室を題材として — 堀 真人 (15)
- 福林寺12号墳の墳丘測量調査報告 宮村 誠二 (28)
- 近江出土の渡来銭貨 (2) 小島 孝修 (33)
- 近江における中世備前焼の基礎集成 山口 誠司 (49)
- 長浜市八雲書院資料調査報告〈瓦編3〉 福井 知樹 (57)
- 三次元データを歩く
 — 三次元データの利活用を目指して — 福井 知樹 (73)

三次元データを歩く

—三次元データの利活用を目指して—

福井知樹

目次

1. はじめに
2. 三次元データの構築
3. 三次元データを歩く
4. おわりに—今後の課題と展望—

— 論文要旨 —

近年、文化財分野での三次元データを利用した調査・研究が進んできている。調査・研究だけではなく、三次元データを用いた VR（Virtual Reality：仮想現実）や AR（Augmented Reality：拡張現実）、MR（Mixed Reality：複合現実）といった活用の中で使用されることが増えている。これらを含む総称を xR（Extended Reality / Cross Reality）といい、様々な実例が増えてきている。

本稿では、三次元計測で得た三次元データをゲームエンジンである「Unity」を利用して、新たなアプリケーションの作成を行った際の試行錯誤のまとめである。本稿では、Unity のテンプレートアセットである「Third Person Character Controller」と「First Person Character Controller」を使って、三人称視点と一人称視点でプレイできるデータを構築した。三人称視点のものは、平地の三次元データを利用して、「宝探し」的エンターテインメントを含ませたものを作成し、一人称視点のものは、横穴式石室の三次元データを、探検風に見ることができるものを作成した。

作成をはじめ、作成した三次元データの質やプログラミング言語を使用するハードルの高さ、物語性の構築などの諸問題を解決する必要があるものの、オリジナルキャラクターのモデリングを行って、オリジナリティーのあるコンテンツを作成できることや構築するデータによっては、無限大の可能性を秘めていることを認識した。また、公開の方法によっては、一般の方がより身近に埋蔵文化財に触れることができる機会を創出することができる考えた。

——— キーワード

三次元計測 Unity 三次元データの利活用

1. はじめに

近年、文化財分野での三次元データ（以下、3D データ）を利用した調査・研究が進んできている。調査・研究以外でも VR（Virtual Reality：仮想現実）や AR（Augmented Reality：拡張現実）、MR（Mixed Reality：複合現実）といった活用の場で使用されることが増えている。

実際、Sketchfab のような 3D データ公開サイトを利用してデータを公開している自治体等も数多くある。ほかに、史跡整備に伴う VR の整備（仲林 2018）や VR を用いた現地説明会での遺物出土状況の公開と玄室への進入（永見 2018）、発掘調査で見つかった遺構を基に CG で復元した集落などを、VR で閲覧をできるようにすること（井上・長澤 2021）など、活用の幅は多様性に富んでいる。拙稿「遺物三次元計測の実験的試行」（山田・福井 2023、以下、前稿）においても、作成した 3D データを Adobe Aero を用いて AR 化している。

一方で、図化作業のために作成された遺構 3D データ等の活用例は少ない。活用例で近いものでは、「Minecraft」を使って検出した遺構を復元し、擬似的な発掘ができるようにしている例がある（山口 2023）。

本稿は以上を踏まえ、同僚の瀬口眞司氏からの令和 6 年（2024）度にリニューアルで大きく様相の変わる滋賀県立安土城考古博物館第一常設展示室の三次元計測をできないかという相談を発端として、展示室内の復元模型の三次元計測とそのデータの活用に向けた準備の試行錯誤のまとめである。

2. 三次元データの構築

3D データは、Agisoft Metashape Professional（Ver.2.0.4、以下、Metashape）を用いたフォトグラメトリ技術で構築した。使用機器などは前稿を参照していただきたいが、PC のみは以下の仕様のデスクトップ PC に変更した。OS: Windows 11 Pro 64bit、CPU: Intel core i7 13700F、GPU: NVIDIA GeForce RTX 4070、メモリ: 32GB（16GB × 2、DDR4-3200）（1）。

今回実験的に用いたのは、約 1,400㎡の平地と甲賀市甲賀町岩室に所在する周知の埋蔵文化財包蔵地である塚穴古墳群の横穴式石室（1 号墳）である。写真については、JPEG で撮影した画像を用い、平地については 981 枚、石室は 240 枚撮影した。解析は「写真のアラインメント」、「メッシュ構築」、「テクスチャー構築」のみである。スケール設定については、座標釘用のマーカーと三寸釘を使用し、磁北を基準とする任意座標空間を構築した（写真 1）。メッシュに関しては、メッシュ量を「低」で構築している。これは、書き出す 3D データの容量を削減するために、面の量を減らすことを目的としているためである。メッシュ量を「高」で構築すると、精細な 3D データができるが、容量が大きくなり、使用するにも動作が不安定になるため、

少ないメッシュ量で構築した。なお、3D データは fbx 形式で書き出した。

また、遺物の三次元計測については、前稿で作成したものと改めて計測したものがある。解析方法については、時間短縮化のため、前稿から変更しているが、ここでは割愛する。なお、遺物は fbx 形式と ply 形式で書き出している。

3. 三次元データを歩く

(1) Unity とは

Unity とは 2005 年にデンマークの Over The Edge Entertainment（現 Unity Technologies）によって公開されたゲームエンジンである。Unity は数多くのプラットフォームに対応しており、Windows/Mac などの OS や iOS/ Android のようなスマートフォン、PS4/PS5/ Nintendo Switch などの家庭用ゲーム機で動作させることが可能である（北村 2022）。また、比較的簡単にプロジェクトを製作することができ、ゲーム製作ツールではあるものの、多様な分野での利用例がある。

例えば、国土交通省が主導して推進している「Project PLATEAU（都市の 3D データの設備・オープンデータ化プロジェクト）」では、都市計画・まちづくりなどのシミュレーションなどのプロジェクトが、Unity で行われていることが紹介されている。このほか、自動車産業、医療、建築業、宇宙産業といった様々な分野で、Unity が活用されている。冒頭に記した事例の中にも、Unity を用いて VR・AR を製作しているものがある。今後さらに多くの分野で利用が進むのではないだろうか。

(2) 三人称視点で歩く

三人称視点は、プレイヤーである自分自身の分身のキャラクターを周囲から見ながら操作する状態のことを指す。プレイヤーが画面上にいたので、スケール感がわかりやすい、視野が広がるなどのメリットがある。一方で、常にキャラクターが映っているので、没入感や臨場感があまりなかったり、そもそもキャラクターがいることによって視界が遮られたりするデメリットがある。ロールプレイングゲームやアクションゲームなどで用いられる視点である。

平地の 3D データを Unity のテンプレートアセットにある「Third Person Character Controller」を用いて作成した（図 1）。テンプレートを開いて、3D データを配置し、データに Mesh Collider を設定すれば、画面上で 3D データを歩く設定は終わる。ただ歩けるだけではすぐに飽きるため、遊び要素を含ませていった。

そのため遊び要素として「宝探し」的な設定をした。3D データ内に遺物の 3D モデルを配置して、クリックすれば拾得出来る設定にした。拾得だけではわかりにくいいため、画面右上に「（遺物名）を手に入れた」という文字を 2 秒間表示させた。それとともに、画面中央に遺物の 3D

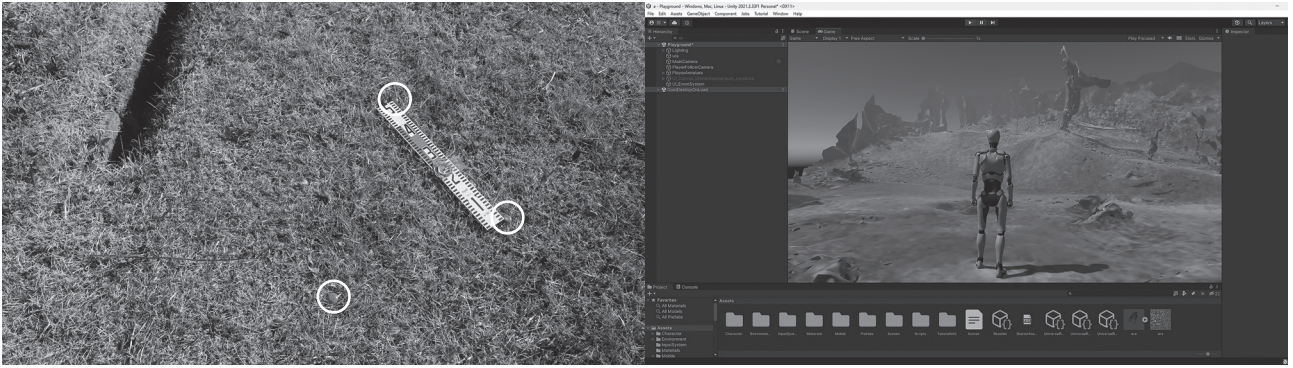


写真 1 座標用釘例

図 1 Unity の画面とテンプレート

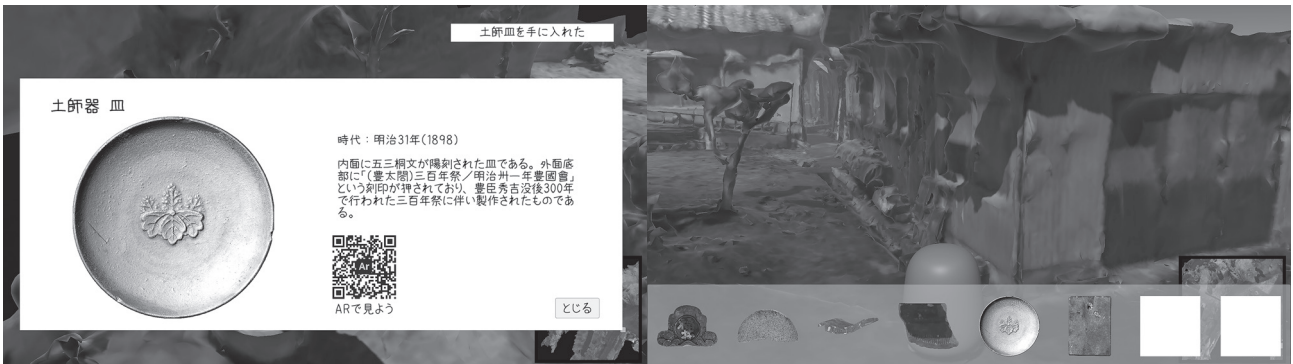


図 2 遺物入手時の表示

図 3 アイテムインベントリ



図 4 アイテム説明欄

図 5 ミニマップ位置（右下）と拡大（中央）

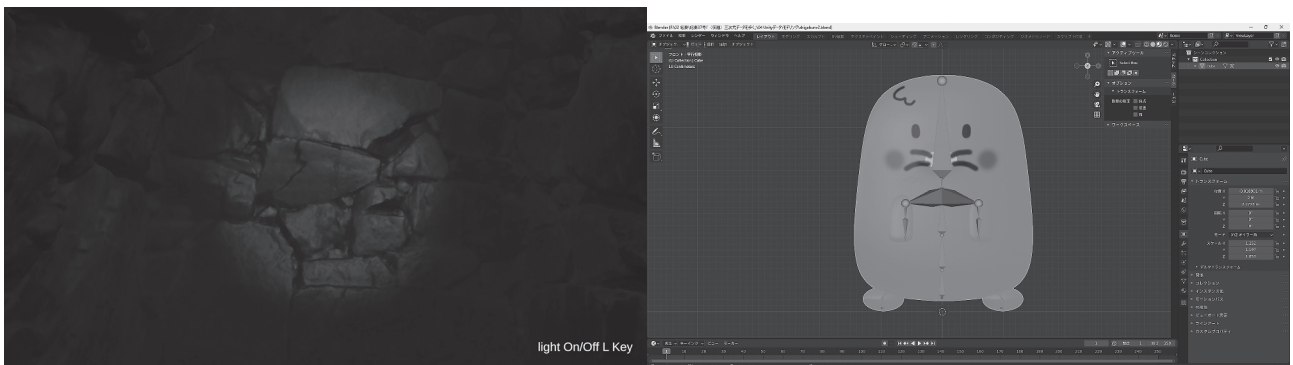


図 6 一人称視点と石室内部の懐中電灯風表示

図 7 Blender でのモデリング

モデルを回転させた映像と説明などを表示させ、これは「とじる」ボタンでウィンドウを閉じる設定とした（図2）。この表示には二次元コードを出しているが、これをスマートフォンで読み込めば、前稿で作成したARを表示できるコードになっている。また、遺物入手後は、アイテムインベントリに画像が追加されるようにした（図3）。

配置している遺物は、アイテム説明欄を別に作り、確認できるようにしてある（図4）。理想とすれば、アイテム説明欄で3Dデータを自由に回転させて閲覧できる設定を構築したいところだが、上手くいかなかったため、画像に止めている。画像に関しては、GigaMesh (V.231215) でサーフェス画像もしくはテクスチャー画像を作成し、3Dデータを回転させた動画はWindows搭載のペイント3Dで作成した。

配置している遺物は原寸としたため、見つけにくいものもある。見つからなければストレスになるので、画面右下にミニマップを表示し、遺物の位置と自分の位置がリアルタイムで表示されるようにした（図5）。この遺物の位置情報は拾得すると消えるようになっている。

これらの設定にはスクリプトが必要である。スクリプトはmicrosoft社の「Visual Studio 2022」を使用して設定した。設定したスクリプトには、常に動作するもの（ミニマップなど）、特定の動作時に動作するもの（表示など）、特定のキーを押すことで動作するもの（説明欄の表示など）などのパターンがある。

そのほか、BGMやSEといった音楽を実装しているが、これらは、商用・非商用問わず利用できる音楽素材をダウンロードして使用した。また、Unityの文章作成機能である「Text Mesh Pro (TMPPro)」は、初期設定のままでは日本語字体は使用できないため、こちらも商用・非商用問わず利用できるフリーフォントをインストールして、Unity内で使用できるように設定した（2）。

（3）一人称視点で歩く

一人称視点は、映し出される画面が自分の視線となり、自分の分身が画面上に現れない状態を指す。ただし、首より下が映ることがある。臨場感や没入感にあふれるというメリットがある。一方で、視界が狭かったり、距離感がつかみにくかったり、画面が揺れやすいので画面酔いしやすかったりするデメリットがある。ホラーゲームや運転シミュレーションゲームなどで用いられている視点である。

石室内部の探検をテーマに、Unityのテンプレートアセットにある「First Person Character Controller」を用いて作成した。こちらは、三人称視点のものと異なり、単純に石室内を懐中電灯風のライトで照らして観察できる状態にした（図6）。太陽光のような全体を照らす光を設定すると、墳丘部を三次元計測していないことで、メッシュを貫通して石室内部で不自然な光の当たり方をしたため、

懐中電灯風の光以外は現れないようにした。墳丘部を含めて古墳全体を計測していれば、墳丘や周辺は明るく、石室内部は、羨道入口部分には光が当たり、それより奥の部分は光が当たらず暗くなり、自然な光の当たり方をするだろう。

懐中電灯風のライトについては、レンジ（機能する範囲）をある程度現実的な距離に設定し、光が強く当たる範囲やぼやける範囲などの微調整をした。また、懐中電灯の点灯・消灯を可能にし、右下に点灯・消灯の方法について常時表示するようにした。なお、こちらはゲームパッドにも対応させており、どちらでも使用が可能である。懐中電灯風のライトは、現状光だけが表示されるが、懐中電灯のモデリングを行ってそこから光を出すように設定をすれば、よりリアリティは増すと思われる。

また、三人称視点のものは人と3Dモデルのスケールを変更していないが、一人称視点のものは実際の2倍とした。それは、羨道部分の天井が低く、実際に入る際にしゃがむ必要があるものの、その設定ができなかったため、石室のスケールをMetashapeでの3Dデータ構築時に2倍に設定したことで、そのまま入ることができるようにした。

こちらはミニマップや「宝探し」的な要素は作成していない。面積が狭いので、煩雑になるためである。

このほか、3Dデータがあることから、オルソ展開図を作成して、閲覧することも可能である。オルソ画像は、Metashapeでそれぞれの面の「オルソモザイクの構築」を行い、地理情報システムの「QGIS (Ver.3.34)」を使って、S=1:20スケールのものを作成し、Adobe illustratorで展開図となるよう配置したものを画面上で開けるようにした。画面上で展開するだけのため、スケールバーの設定さえしておけば問題はないので、必ずしもS=1:20である必要はない。

（4）そのほか

データは設定後に、Windows機器で動作するアプリケーションとして完成させた。そのため、WindowsPCであればどの機器でもプレイできるようになっている（3）。それぞれの構築したデータをアプリケーションとして作成するだけでは、突然始まってしまうので、タイトル画面を設定し、画面遷移でプレイできるようにした。また、塚穴古墳群の説明や使用した音源やフォントのダウンロード元などのクレジットを表示するための画面を作成して、画面遷移によって閲覧できるようにした。

Windowsアプリケーションとして構築する際に、様々な設定ができる。通常、特に設定をせずに構築すると、アプリケーションのアイコンがUnityのマークになり、起動時のスプラッシュスクリーン（プログラムの立ち上げ画面）は「MADE WITH Unity」という文字が表示される（4）が、このカスタマイズも可能である。アイコンは正方形の画像

を設定することができるので、自由に選択ができる。また、スプラッシュスクリーンは「MADE WITH Unity」の上下に画像を出すか、前後に画像を出すことができる。そのため、アイコンとスプラッシュスクリーンにロゴなどを用いれば、オリジナルなものができる。なお、今回は特に設定しなかった。

4. おわりに—今後の課題と展望—

今回は、試験的に作成した容量の小さい3Dデータを使用した。平面のものは3Dデータの見た目が粗いという欠点がある。メッシュ量が少ないことは否定できないが、ある程度精細な3Dデータの作成が必要であり、写真撮影の方法から工夫が必要である。一方で、メッシュ量が多い3Dデータでは、Unity上でMesh Colliderの設定をしても地面としての認識をせず、すり抜けてしまう。そのため、メッシュ量（＝データ容量）の上限を知る必要がある。

また、本文中にも記したが、構築したいものの上手くないこと「目指したいこと」と「出来ること」のギャップがある。そういったギャップを埋めることでよりよいコンテンツの作成が出来ると思われる。

プログラム言語であるC#を使って、スクリプトを作成する必要があるが、仕組みと作り方を学ぶ必要があって、一朝一夕に行えるものではない。一方で、昨今ではインターネット上に情報が多数あるので、こういった機能が必要かを精査すれば、スクリプトのベースは見つかるだろう。今回であれば、脱出ゲームの作り方を参考にスクリプトを作成したものも多くある（5）。しかし、あくまで「ベース」であって、そのまま使用できるわけでもないの、アレンジを加えて作成する必要がある。

そして、コンテンツとしての根幹にも関わるが、今回は明確な「ゴール」の設定ができていないという問題がある。ゴール設定がないため、達成を感じ得ないものになっていることは否めない。行き当たりばったりで作成していたため、当然のことではあるが、プロットや物語などを作成する必要がある。ゴールとして、例えば、アイテムを入手したときに、割り振った一文字が表示されるようにする。そして、すべての文字を集めて並び替えると単語もしくは問題文になるような設定にして、解答欄に入力するような形にする方法もある。ただ、拾えるアイテム（遺物）数が単語では少なく、問題文の作成では多くなってしまう。初めから虫食い状態の問題文にし、アイテムを集めることで、問題文が埋まる形式でもいいのかもしれない。その設定にすると、アイテムインベントリ＝問題文になり、アイテム説明欄に拾得したアイテムが増えていく設定すれば問題なさそうである。

今回、三人称視点で使用した「Third Person Character Controllor」は、テンプレートがロボット風キャラクターだが、オリジナルキャラクターの設定も可能である。それ

は、まず正面、側面（と上面・下面）の図を用意し、Blenderを使用してキャラクターのモデリングを行い、骨組み（アーマチュア）の設定をすれば可能である。実験的に、当協会のキャラクターである「しがぶんちゃん」で作成した（図7）。ただ、Unityに導入しても平行移動に近く、また胴体が捻れたため、調整が必要なものの、オリジナルのものを導入することは容易い。

また、3Dデータの構築さえすれば多くのことに応用が出来る。本稿は安土城考古博物館の模型のデータを構築するための準備段階として行った試験的な方法をまとめたに過ぎないが、可能性は無限大だろう。例えば、発掘調査で見つかった遺構のデータがあれば、現地説明会の副次的な資料にも使えるのではないだろうか。簡易的なものであれば、LiDAR（Light Detection And Rangingの略称、光による検知と測距）搭載のiOS機器とソフトウェア（6）を使用してレーザースキャンを行った3Dデータを作成して、テンプレートに当てはめれば、簡単に作成はできる。

今回はWindows向けのアプリケーションとして作成したが、ブラウザ上で動作するように設定することもできる。すなわち、マルチプラットフォームで構築できるUnityの特徴を活かして、ホームページ上での体験である。Unityの「Build Settings」で「WebGL」を選択すると、ブラウザ上で動作できるデータの構築ができる。そして、それをホームページ内に埋め込めば、そのページを開くことでプレイすることができる。対象となるブラウザは、Google Chrome、Mozilla Firefox、Apple Safari、Microsoft Edge、iOS用Apple Safari、Android用Google Chromeとなっている（Unityホームページより）ことから、多くのブラウザに対応しており、利用者にとっては今回作成したようなアプリケーションをダウンロードすることに比べ、ハードルが低くなると思われる。

3Dデータを調査に利用すること自体がまだ黎明期であり、調査だけではなくその先の活用にも利用されることが今後増えると思われる。活用方法によっては、一般の方がより身近に埋蔵文化財に触れる機会を創出することもできそう。そういった活用の中では、本稿のような利用方法も増えてくるのではないだろうか。

【謝辞】

冒頭に記した通り、瀬口眞司氏から受けた相談でこの試みが始まった。元々は展示室全体をできないかという相談だったが、現実的ではなかったので、復元模型を三次元計測する方針になった。瀬口氏にはただ三次元計測をするだけではなく、データ内を疑似的に歩けるようにするという、ある種荒唐無稽な提案をしたが、提案に乗っていただき、また、多くのアドバイスをいただいた。記して感謝申し上げます。

そのほか、しがぶんちゃんのモデリングには作者の岩崎里水氏（琵琶湖文化館）に、テストプレイ等では小島孝修氏や山口誠司氏

にアドバイスをいただいた。また、3D データの活用については滋賀県立大学人間文化学部の山田梨紗子氏にご教示いただいた。併せてお礼申し上げます。

註

- (1) 途中で 64GB (Crucial, 32GB × 2, DDR4-3200) を増設し、96GB にしている。
- (2) BGM は「魔王魂 (<https://maou.audio/>)」や「甘茶の音楽工房 (<https://amachamusic.chagasi.com/>)」、「ニコニ・コモンズ (<https://commons.nicovideo.jp/>)」などの web サイトから、フォントは「Google Fonts (<https://fonts.google.com/>)」や「フォントフリー (<https://fontfree.me/>)」などの web サイトからダウンロードした。
- (3) 今回作成したデータは筆者の Google ドライブ (<https://drive.google.com/drive/folders/1U4fnGQK-qJWgJS0GdXfUaEuPjquDsmQ?usp=sharing>) で公開しているので、興味があればお試しいただきたい。なお、仕様が一部変更になっている場合がある。
- (4) 無料版の「Personal」などでは「MADE WITH Unity」は必ず表示されるが、有料版の「Pro」などではなくすることができる。なお、2024 年提供予定のバージョンからは Personal であってもその要件が取り下げられるという。
- (5) 「[Unity] 脱出ゲームの作り方 (<https://cbagames.jp/2023/01/17/unityescaperoom1/>)」や「Unity で 3D 脱出ゲームを作る方法まとめ (<https://katosanlaboratory.jp/unity3descap />)」などの Web サイトを参考にした。
- (6) 機器は iPad pro/iPhone pro、ソフトウェアは Niantic の「Scaniverse」や Laan Labs の「3D Scanner App」などがある。

文献一覧（著者名・機関名 50 音順、刊行年順）

- 井上道哉・長澤可也（2021）「綾瀬市埋蔵文化財の VR、AR コンテンツ化による地域活性化」『湘南工科大学紀要』第 55 巻 1 号
湘南工科大学紀要委員会
- 北村愛実（2020）『確かな力が身につく C # 『超』入門 第 2 版』SB クリエイティブ
- 北村愛実（2022）『Unity の教科書 Unity2022 完全対応版』SB クリエイティブ
- 甲賀市史編さん委員会編（2007）『甲賀市史 第一巻 古代の甲賀』滋賀県（2022）『令和 3 年度 滋賀県遺跡地図』
- 島海幸一（2022）『フォトグラメトリの教科書』合同会社技術の泉出版
- 仲林篤史（2018）「史跡整備における三次元データの活用」『文化財の壺』Vol.6 文化財方法論研究会
- 永見秀徳（2018）「現地説明会のカッコイイ前説」『文化財の壺』Vol.6 文化財方法論研究会
- 水戸部秀樹（2023）「新技術の利用事例② 山形県での取り組みーフォトグラメトリを活用した調査」『月刊文化財 ◆発掘調査の新技術』719 号 文化庁監修
- 山口欧志（2023）「国内におけるフォトグラメトリの応用」『月刊文化財 ◆発掘調査の新技術』719 号 文化庁監修
- 山田梨紗子・福井知樹（2023）「遺物三次元計測の実験的試行」『紀要』第 36 号 公益財団法人滋賀県文化財保護協会

挿図典拠

- 写真 1 筆者撮影
図 1～7 筆者作成

（ふくい ともき：調査課 技師）

ANNUAL BULLETIN
of
Shiga Prefectural Association for Cultural Heritage
Vol.37 2024.3

私たちは文化財をとおして
ゆたかな滋賀づくりに貢献します。



公益財団法人滋賀県文化財保護協会
Shiga Prefectural Association for Cultural Heritages