

LiDAR 搭載のモバイル端末を活用した三次元計測について

濱 崎 範 子

1. はじめに

発掘調査における遺構及び出土遺物の記録や歴史的建造物、民具などの文化財の調査保存については、これまで写真や実測図などの二次元の記録がその中心であった。現在においてもこれらの記録が果たす役割が非常に大きいことは言うまでもない。

一方で地形を活かして造られる山城や石垣、古墳の石室と言った立体的な構造物の記録が求められる発掘現場において、前述の記録だけではなく三次元測量が有効であるということも事実である。しかし、従来の三次元計測では使用する専用機器が高額であり、また専門業者による測量経費は決して安価なものとは言えない。そのため、予算が限られる場面によっては導入することが難しい部分もあった。

しかし近年、Smf/MVS による写真計測（フォトグラメトリ）が容易になったことで、文化財の記録保存における三次元計測が急速に進みつつある。例えば、独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所（以下「奈良文化財研究所」）では一部ではあるが三次元計測

された瓦の三次元モデルのデータベースが公開されているほか、和歌山県内においては和歌山県立紀伊風土記の丘が特別史跡岩橋千塚古墳群の古墳の三次元計測及びそのデータ公開を進めている⁽¹⁾。

このような一連の流れに加え、2020 年以降、従来の小型 LiDAR スキャンより更に小型化した LiDAR が、携帯性に優れた Apple 社のモバイル端末（iPhone 12 pro 以降の一部機種やタブレット）に搭載されるようになった。これらモバイル端末を用いた三次元計測は考古学や文化財への応用が期待されている⁽²⁾。

本稿は筆者が受講した令和 4 年度奈良文化財研究所主催「文化財デジタルアーカイブ課程」の内容を一部踏まえ、具体的な事例として自身の所有するモバイル端末（iPhone 13 pro）を使用して行った三次元計測とそのデータの編集について紹介し、埋蔵文化財や文化財の記録保存にどのように活用できるのか考えていきたい。

2. 三次元データとは何か

一般的な三次元データとは何を指すのか、端的に述べれば「対象の表面の XYZ 座標を高密度に計測したものと定義することが出来る⁽³⁾。三次元データであれば全方向から形状や高さ、角度の情報を提供することが可能であり、通常の実測図面等の二次元データに比べて視認性、再現度が高い。

この三次元データを記録するためには、前述した据え置き型の LiDAR による測量、Smf/MVS による写真計測などの様々な方法がある。LiDAR とは「Light Detection And Ranging」の略称で、「装置本体からレーザー光を照射し、その反射光を観測することで対象物までの距離や形状を観測する装置、または技術」を指す⁽⁴⁾。古くは地質学や気象学、天文学で使用されており、身近なところでは自律移動ロボットや自動運転車

での応用などがあげられている。

モバイル端末に搭載された小型 LiDAR は特に携帯性・操作性が高く、計測時に専門的知識や経験を必要としない。また、古墳の石室内や周囲に樹木が多い場所といった、据え置き型では計測の死角が発生しやすい場所においては据え置き型よりも時間をかけずに計測することが可能とされている。

計測した三次元データは、PC などを經由せず、モバイル端末内で情報処理でき、専用アプリ内で ply や obj 形式など互換性の高い形式でデータを書き出すことができる。書き出されたデータは CloudCompare⁽⁵⁾などの三次元点群編集ソフトウェアを利用することで不要なデータを除去し、また計測された基準点の位置を合わせる調整を経て汎用性の高いデータを作ること

ができる。

なお、モバイル端末を活用した三次元計測の具体的な手順についてはモバイルスキャン協会⁽⁶⁾が計測の注意

点等をまとめたマニュアルや主要アプリの機能比較表などを公開しているため、そちらも参照されたい。

3. モバイル端末を使用した遺構の三次元データ計測

日本全国において令和2年度だけで発掘調査は8千件を超えており、うち95%以上が開発行為に伴うものである⁽⁷⁾。筆者の所属する(公財)和歌山県文化財センター(以下、「当センター」)においても多くは自治体による公共工事を主とした開発行為に伴う発掘調査を主として受託しており、発掘調査においては出土遺物と共に調査区や遺構の実測図、写真が主な調査の記録となる。それらは整理作業を経て発掘調査報告書という形で広く埋蔵文化財の保存活用に利用されるが、掲載される情報が専門的・限定的であることは否定できない。

筆者が受講した「文化財デジタルアーカイブ課程」では、講義の中で据え置き型のLiDARや写真計測、モバイル端末に搭載されたLiDARを使った三次元計測の実演や具体的な事例の紹介があった。このことが当センターの発掘現場における記録保存の方法の一つとしてモバイル端末を活用した三次元計測が可能か模索するきっかけとなった。

筆者は令和4年度当センターが受託した発掘調査業務のうち、和歌山県日高郡美浜町吉原に所在する吉原遺跡の発掘調査現場において検出された方形周溝墓をモバイル端末によって三次元計測する機会に恵まれた。この方形周溝墓を選んだのは計測範囲の中に4級基準点が複数存在しており、計測後のデータ編集においてこの基準点を使用してデータの調整や精度確認が可能であると考えたためである。

遺構の計測は令和4年12月3日に行い、筆者の所有するiPhone13 proで行った。計測時は周囲に掘削された他の遺構があり、また、海岸砂丘上に立地する遺跡の性質上、足場の安定しない砂質土上で計測するため、安定性と安全性を考え自撮り棒の先端にモバイル端末を固定し、計測者の視野を広げた状態で行った。

計測にはScaniverseという無料アプリを使用した。選定の理由はモバイルスキャン協会が令和4年9月16日に更新したiPhone 3D スキャンアプリの中で紹

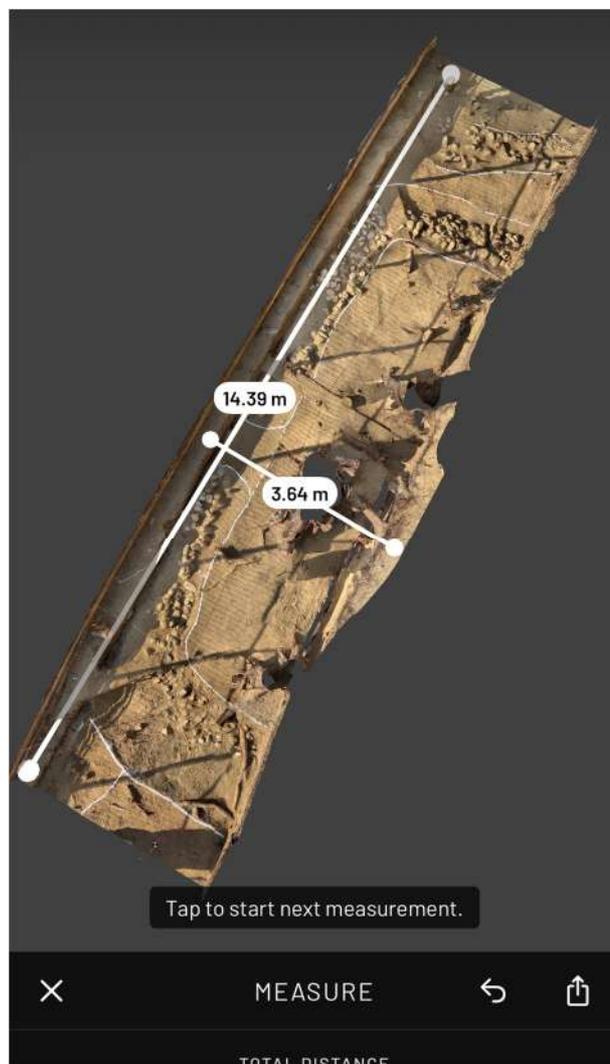


写真1 吉原遺跡の方形周溝墓3 D

介されているアプリのうち、出力形式がメッシュ・点群の幅広い形式に対応していること、フォトグラメトリがアプリ内のローカルな環境で処理できること、無料のスキャンアプリの中では初心者にも扱いやすいアプリとされていたことによる。なお、このScaniverseはLiDARが非搭載のiPhoneでの使用も可能であるが、精度としてはLiDAR搭載機に劣る。

計測した面積は長さ14.39m、幅3.64mの約52㎡程度である(写真1)。モバイルスキャン協会が推奨する計測面積である幅5m、長さ10mよりやや広い⁽⁸⁾。

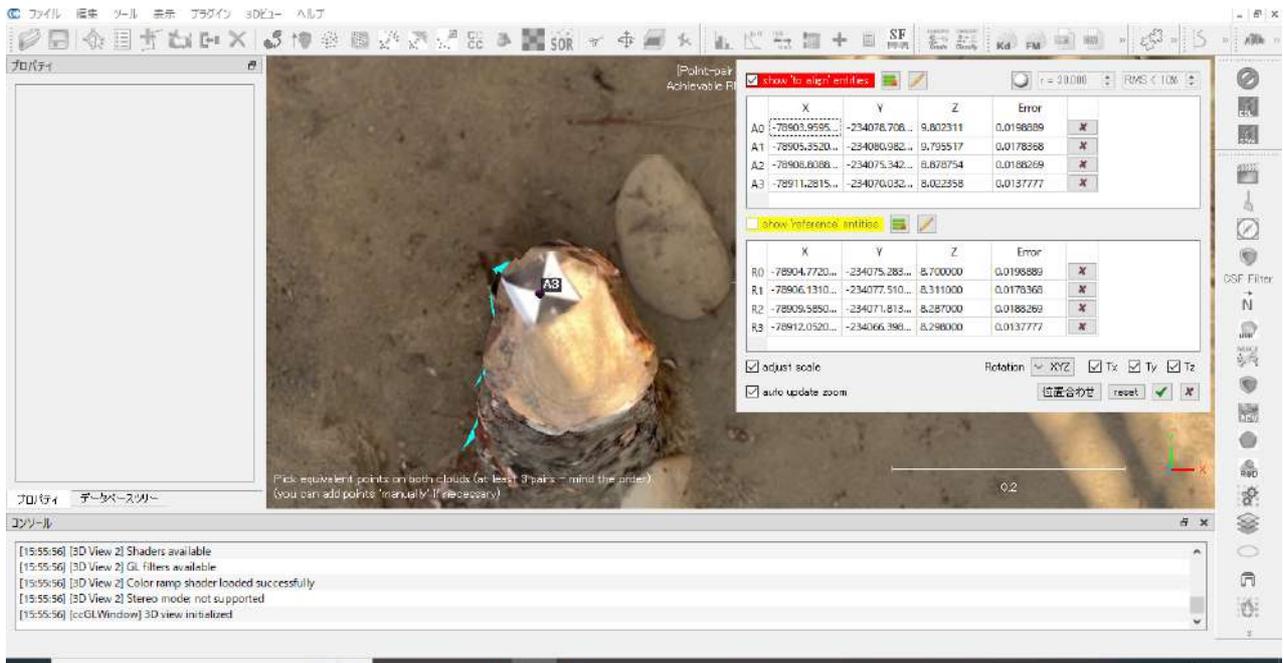


写真2 計測したデータの座標調整

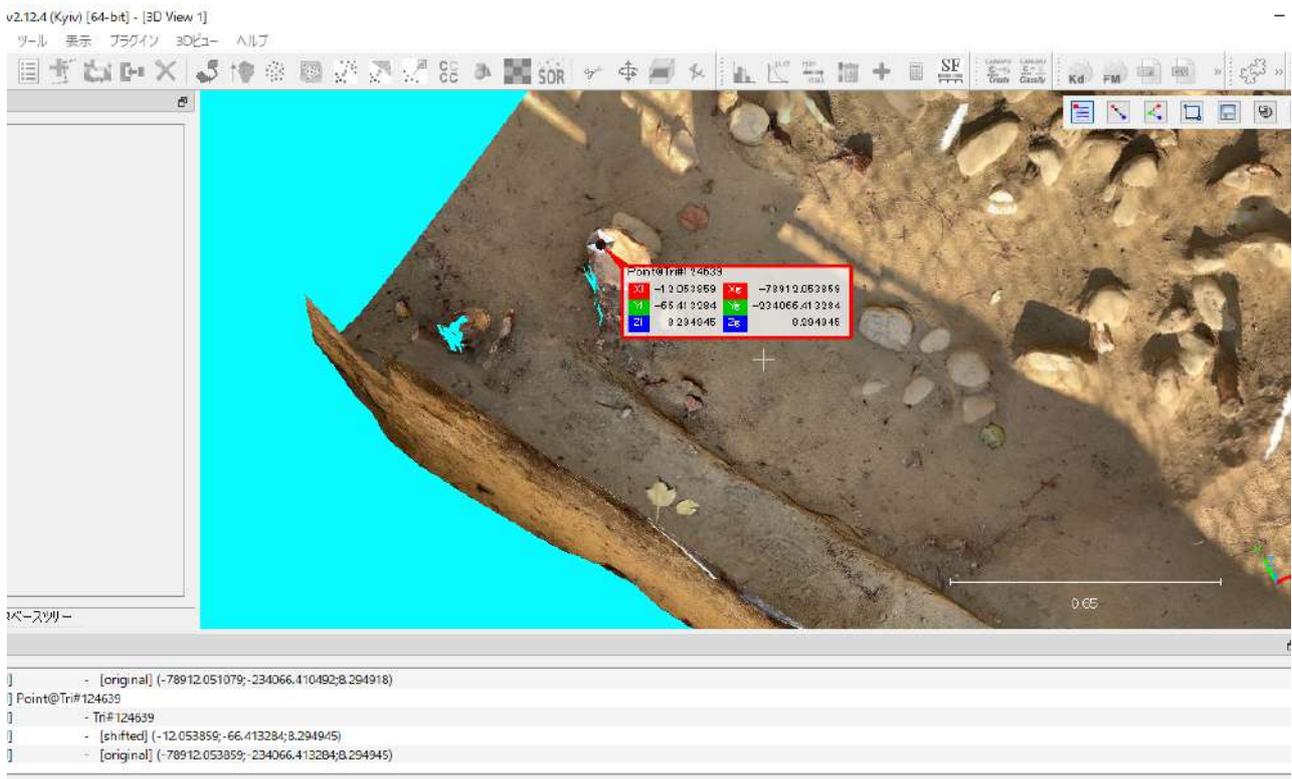


写真3 座標調整後（任意のポイントの座標が表示される）

計測時のアプリ設定は「Large Object/Area」を指定し、計測後の処理は「Detail」で行った。計測とローカル処理にかかった時間は記録していないが約 10 分程度と記憶している。計測した後、データを現地で確認し、アプリ内の操作で不必要な範囲のデータをあらかじめ

削除して obj 形式で書き出した後、CloudCompare をインストールしたパソコンで計測したデータを編集した(写真2)。

まず計測データ内の基準点に世界測地系の座標値を調整する作業を実施した。Scaniverse で計測した三次

元データが示すXYZ値はアプリが自動設定したものであり、世界測地系の座標でない。このため、現地に設定された4級基準点の座標値を活用して入力し、座標値を調整した。この際 LiDAR や写真測量技術を使った測量では線形代数の右手座標系が使用されているため、XとY値が逆転する現象が起きることに注意が必要である。この作業により計測した三次元データに世界測地系の座標が調整され、方形周溝墓の溝や石の座標や標高をピンポイントで表示することが可能になった(写真3)。更に座標の調整により、CloudCompare内におけるスケールも改めて設定されるため、スケールの入った画像を書き出すこと、任意の場所で断面図を作成しtiffやjpeg形式で書き出すことも可能となった。

一方で、今回の作業で計測した三次元データ内の基準点と計測範囲の4級基準点との誤差は0.013~0.019mであった。据え置き型のLiDARやSmf/MVSによる写真計測ほどの精度は保証できないことが分かる。しかし、通常発掘現場で記録する実測図や写真に比べて視認性・再現性の高いデータを作成することが可能であり、報告書作成時における補足資料とする以外にも、デジタルデータとして公開するなどし、広く情報を公開することも可能である⁹⁾。

また、発掘調査現場においては、面積の広い調査区全体をモバイル端末で三次元計測することは精度の点からも推奨できず、座標の調整には複数の基準点が複数必要となるなどの課題もあるものの、崩落の危険性がある井戸など、状況によっては実測者の安全確保が



写真4 有田川町奥の宝篋印塔3Dデータ

難しい立体的な遺構を記録する際、モバイル端末を活用した3次元計測は発掘現場における迅速な記録作業の助けとなると考えられる。

4. モバイル端末を使用した埋蔵文化財以外の三次元計測

埋蔵文化財以外においてもLiDARの搭載されたモバイル端末の活用方法として石造物や民具の計測が挙げられる¹⁰⁾。地藏仏や五輪塔、石塔などの構造物は基本的には屋外にあって経年劣化を免れられない。これらは地域の歴史を考える上で貴重な資料である一方、場所によっては大量の石造物や構造物が存在しているケースもあり、文化財に指定されているもの以外は記録類が十分ではないものも多い。また、過去の市史や町史編纂事業において図面や写真で記録されたものの、資料の引継ぎなどが不十分で記録が散逸しているケー

スも想定される他、地震や台風といった自然災害によって破損することも考えられるため、可能な限り詳細な記録保存が必要である。だが、実測図の作成や写真撮影には一定の経験や技術が必要であり、記録作業には時間もかかるという問題点がある。また、小規模な自治体では専門職員を配備することそのものが難しいという問題もある。これらの問題点を解消する方法として、LiDARが搭載されたモバイル端末の活用はこれまでも提示されてきた¹¹⁾。

筆者は令和4年11月3日に和歌山県有田郡有田川

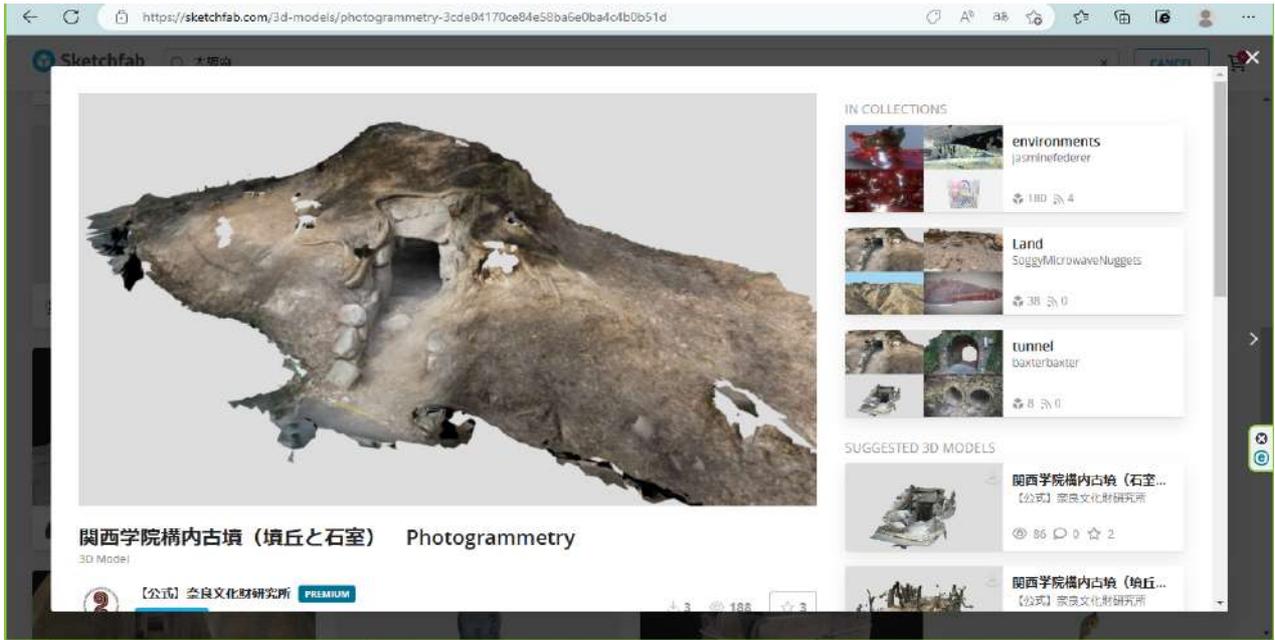


写真5 Sketchfab で公開されている3次元データ（奈良文化財研究所投稿 関西学院大学構内古墳）

町奥に所在する奥の宝篋印塔をモバイル端末で計測した(写真4)。所要時間は記録していないが約5分程度で、初めての三次元計測であったこともあり、スケールとなるものを同時に計測していなかったため資料としては十分ではないのだが、特別な経験や知識がなくとも視認性の高い三次元データを残すことができた。また、モバイル端末であれば短時間で複数の資料を記

録することも可能になることが分かった。

計測時においてはメジャーやスタッフ等スケールとなるものを一緒に計測する必要があることを踏まえつつ、遺構と同様に計測した三次元データをCloudCompareで編集することで、現地でなくても石造物の断面図や立面図を作成も可能になる。

5. 計測した三次元データの利活用について

これまで述べてきた三次元データは3Dpdfなど汎用性の高いファイル形式に変換したり、obj形式であれば現在windowsに標準搭載されている3Dビューワーで確認することもできる。また、専用のソフトをインストールしなくても、web上で三次元データを閲覧することのできるSketchfab⁽¹²⁾などの無料サービスもあり、計測した三次元データを投稿することで広く共有することできる(写真5)。

図面や写真に比べて視認性・再現性の高いこれら三次元データは、今後、小中学校の地域学習や生涯学習等への活用が期待できるだろう。ただし、データの共有や公開には知的財産権等の問題も生じる恐れがあり、所属組織によってあらかじめ「何を目的としてデータを公開するのか」といったガイドラインや規約を準備する必要がある⁽¹³⁾。

繰り返しとなるが、モバイル端末に搭載されたLiDARによる計測データは、精度としては写真計測や据え置き型LiDAR等による三次元計測には及ばない。しかし、低予算かつ短時間で対象の三次元データを計測できるメリットを活かす方法を積極的に考えていくことで、様々な部分で作業の効率化や迅速化を図ることが出来る。

少子高齢化を迎えた現在社会においては、今後文化財に十分な人的リソースを振り分けることが困難な状況となる可能性もある。モバイル端末に搭載されたLiDARをはじめ、進歩するデジタル技術を活用し、地域の文化財の記録を残し、それらを活用していく方法について、文化財に携わる我々職員は検討していく必要があるだろう。

【 注 】

- (1) 「文化財デジタルアーカイブ課程」(令和4年度独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所主催) 金澤舞氏による「和歌山県立紀伊風土記の丘におけるデジタルアーカイブとその活用」資料及び金澤舞 2023「和歌山県立紀伊風土記の丘におけるデジタル・アーカイブとその活用」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5－ LiDAR・3D データ・デジタルアーカイブ・SNS・GIS・知的財産権－』奈良文化財研究所研究報告第37冊 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所による。
奈良文化財研究所収蔵品データベース (URL : <https://jmaps.ne.jp/nabunken/index.html>) 内で軒瓦三次元計測データベースが公開されている。
- (2) 野口淳 2022 参照
- (3) 「文化財デジタルアーカイブ課程」(令和4年度奈良文化財研究所主催) 野口淳氏による「文化財3次元データ概論」資料による。
- (4) 土井伸洋 2022 参照
- (5) Daniel Girardeau-Montaut により開発された点群データ編集ソフト。オープンソース化されており、公式サイトからダウンロードが可能。
- (6) モバイルスキャン協会 (URL : <https://mobilescan.jp/>)
- (7) 文化庁文化財第二課『埋蔵文化財関係統計資料－令和3年度－』2022年3月による。
- (8) 「モバイル端末スキャンマニュアル」モバイルスキャン協会 2022年6月 (モバイルスキャン協会 HP でダウンロード可能)
- (9) 野口淳 2022 参照
- (10) 野口淳 2022 参照
現在、3D DB Viewer (URL : https://gsrt.digiarc.aist.go.jp/nabunken_aist/index.html) においても様々な遺跡や遺構の三次元データが閲覧できる。
- (11) 野口淳 2022 参照
- (12) Sketchfab (URL : <https://sketchfab.com/>) 文化財に関するものは独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所アカウントで投稿された古墳の三次元データ等が公開されている。
- (13) 「文化財デジタルアーカイブ課程」(令和4年度奈良文化財研究所主催) 野口淳氏による「文化財3次元データ概論」資料による。
三次元データに関わらず、近年デジタルアーカイブとして様々な文化財の画像が公開されているが、それに関しても同様の措置が必要である。

【 参考引用文献 】

- 野口 淳 2022 「考古学／文化財への応用」『Interface』2023年1月号 CQ出版社
- 土井伸洋 2022 「レーザー光で空間を捉える LiDAR の基礎知識」『Interface』2023年1月号 CQ出版社
- 金澤 舞 2023 「和歌山県立紀伊風土記の丘におけるデジタル・アーカイブとその活用」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5－ LiDAR・3D データ・デジタルアーカイブ・SNS・GIS・知的財産権－』奈良文化財研究所研究報告第37冊 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所