

三次元計測を用いた石造物調査の具体的事例の紹介について

濱 崎 範 子

要 旨

近年、文化財の保護・活用分野において三次元計測を利用する事例が急増している。今回は筆者が実施したモバイル端末搭載の LiDAR とフォトグラメトリを使用した三次元計測や発掘調査現場における三次元モデルの活用などについて、具体的事例を元に解説すると同時に、なぜ三次元計測に取り組むべきなのかについて考えたい。

第1章 はじめに

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、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た前稿 (濱崎 2023) からわずか2年弱で、文化財における三次元計測は、組織・個人において差はあるものの、現地での実測や写真撮影と並び、記録保存の方法として受け入れられ、実践されるに至ったと理解している。当

センターにおいても、埋蔵文化財調査以外に歴史的建造物の保存・修復現場において三次元計測されたデータの活用が始まり、三次元計測はもはや先進的な取り組みとは言えない状況になりつつある⁽¹⁾。

今回は前稿から引き続き、モバイル端末を使用した三次元計測について自身が行った記録作業及びフォトグラメトリを使用した実践内容について記述していく。

第2章 石造物の三次元計測事例—有田郡有田川町歓喜寺の石造物—

現在、文化財調査において三次元計測が最も進んでいる分野は石造物や石垣などの構造物であろう。既に実践的内容を取り扱った書籍 (本間 2024) が刊行されており、事例も豊富に報告されている。そのため、今回はそれらを参考にしつつ、実践事例として有田郡有田川町に所在する歓喜寺の住職及び関係者の協力を得て、歓喜寺内にある歴代住職墓地を調査した。

まず、歓喜寺について簡単に紹介したい。歓喜寺は有田郡有田川町 (旧金屋町) に所在する浄土宗の寺院であるが、元々は寛和2年 (986) に天台宗の僧侶である源信が創建したと伝えられる古刹である。建長元年 (1249) に明恵の弟子喜海が湯浅氏の協力を得て再興したと伝えられる。明恵は鎌倉時代前期の僧侶であり、父は平重国、母は湯浅宗重の四女とされ、華嚴宗中興の祖として知られる。紀伊国有田郡石垣庄吉原村 (現在の和歌山県有田郡有田川町歓喜寺) で生まれたとされ、8歳で相次いで両親を失い、9歳で出家したと伝えられ、母方の湯浅氏の援助を得て修行したとされる場所

と生誕地の8か所が、現在明恵上人紀州八所遺跡と呼ばれており、ここに喜海が建てたとされる木製卒塔婆 (康永3年 (1344) に石製卒塔婆に建て替えられる) が明恵紀州遺跡卒塔婆として国指定史跡となっている。歓喜寺は明恵生誕地にほど近い場所に位置しており、重要文化財の地藏菩薩坐像や阿弥陀如来坐像が伝わるほか、本堂脇の下品堂は県指定文化財となっている。歓喜寺周辺は和歌山県埋蔵文化財包蔵地所在地図 (図1) によれば歓喜寺跡となっており、金屋町教育委員会 (現 有田川町教育委員会) が公園広場建設に伴って発掘調査を行った際には、複数の掘立柱建物跡を検出したほか、13世紀半ばとみられる土器などが出土している ((財) 和歌山県文化財センター 1992)。歓喜寺の周辺には縄文時代の土器や石器が出土する埋蔵文化財包蔵地が複数あり、古くから人々の活動が認められる地域である (図1)。

歓喜寺歴代住職墓地は、下品堂から上品堂へ続く道の途中に位置しており、近世以降とみられる無縫塔や



図1 歓喜寺及び周辺の遺跡位置図（和歌山県埋蔵文化財包蔵地所在地図に加筆）

近現代の墓石を中心として、墓地奥には宝篋印塔2基がある。対象となる墓域は幅約4.0m、奥行きは五輪塔が集中する部分まで含めても約10.0m程度と狭小で、更に石塔・墓石間の間隔も非常に狭い（写真1）。そのため、石造物の調査・記録にあたって、各石造物の位置関係を把握するためにはフォトグラメトリによる三次元モデルの作成には撮影枚数が膨大になり、処理時

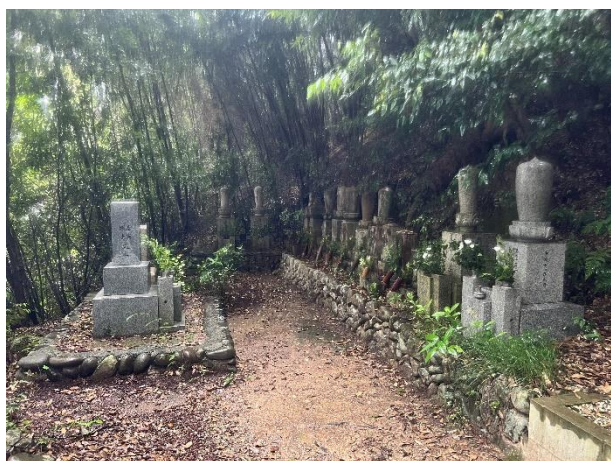


写真1 歓喜寺住職墓地（南から）

間も増大することが予測できたためモバイル端末搭載の小型LiDARによる三次元計測を行った⁽²⁾。前稿で吉原遺跡（日高郡美浜町）の方形周溝墓を三次元計測した際と同様、今回も自撮り棒を使用し、対象範囲内を往復して計測した。使用した機材はiPhone 13 pro、使用したアプリはScaniverseである。計測したデータはその後CloudCompare⁽³⁾を使用して不要なデータの処理などを行い、オルソ補正を行った画像が図2である。

今回現地を確認したところ、墓地北部の無縫塔2基の後ろに組み合わせ式五輪塔、一石五輪塔が複数存在する五輪塔群が存在することが明らかとなった。

五輪塔群は再度iPhone 13 proを使用して三次元計測を実施し、作成したのが図3である。オルソ画像だけでは各五輪塔の位置関係がわかりにくい部分もあるが、作成した三次元モデルから平面的なだけでなく、必要な方向から確認・検証することが可能である。また、



図2 歓喜寺住職墓地（オルソ画像）



図3 五輪塔群オルソ画像と三次元モデル

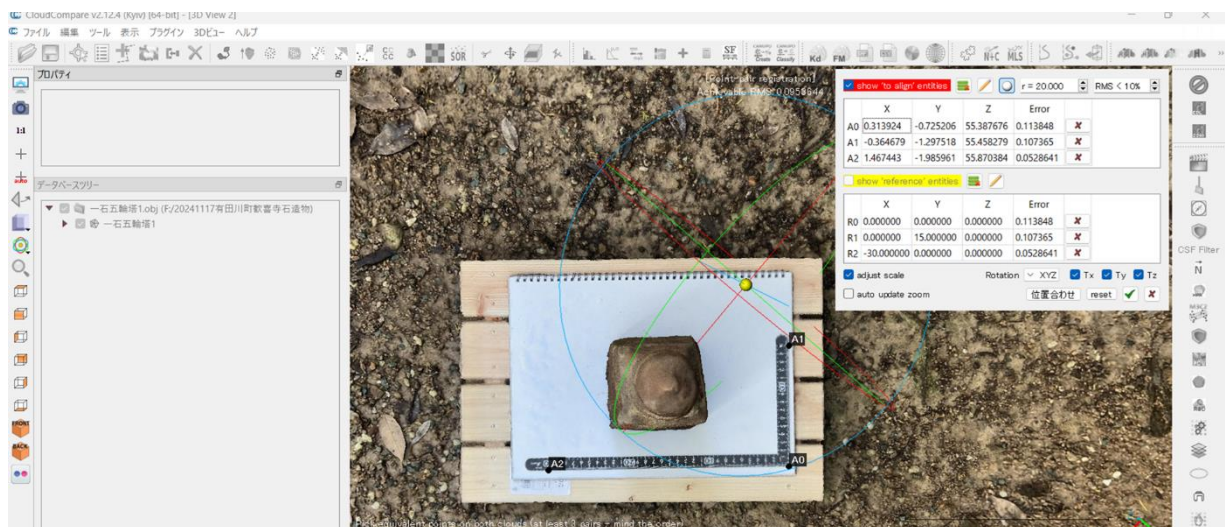


図4 CloudCompare を使用した位置合わせ



(左) iPhone 13 pro
+Scaniverse



(右) フォトグラメトリ
(MetaShape)

図5 モバイル端末とフォトグラメトリで作成した三次元モデルの比較

Scaniverse を使用しているため、スケールを調整することも容易である。

ここで、モバイル端末搭載の小型 LiDAR とフォトグラメトリ⁽⁴⁾によって出力される三次元モデルの違いについて、既に前述の『石造物の考古学とフォトグラメトリ』(本間 2024)にもこのことについては検証されているが確認しておきたい。図5は、iPhone 13 pro

と Scaniverse を使用して作成した一石五輪塔の三次元モデルである。作成した三次元モデルは両方とも曲尺を入れて撮影しており、それぞれ CloudCompare の位置合わせを利用してスケール等調整した後(図4)、比較した。

全体的に iPhone 13 pro と Scaniverse を使用して作成した三次元モデルは一見するとフォトグラメトリで作成した三次元モデルとさほど差がないように見える。ただし、端部の形状に着目すると、前者は後者に比べると凹凸が小さく、全体的にのっぺりとしたモデルになっている。また対象の質感についても同様のことが言える。また、筆者の主観であるが、iPhone 13 pro と Scaniverse を使用して作成した三次元モデルは接地面付近で、対象と接地面が癒着するようなものになりがちである(図6)。今回三次元計測を実施した際は、モバイル端末、フォトグラメトリで対象の上部から対象の周りをらせん状に移動して下部に向かって同じ手順で計測(写真撮影)を実施したが、対象と接地面近くは対象のほかの部分よりも小型 LiDAR の計測方向が限定されるために発生する現象と考える。

石造物が複数ある場所での位置図などの作成には、小型 LiDAR の計測が有効であることは歓喜寺住職墓地の位置図で確認したとおりである。一方で石造物そ

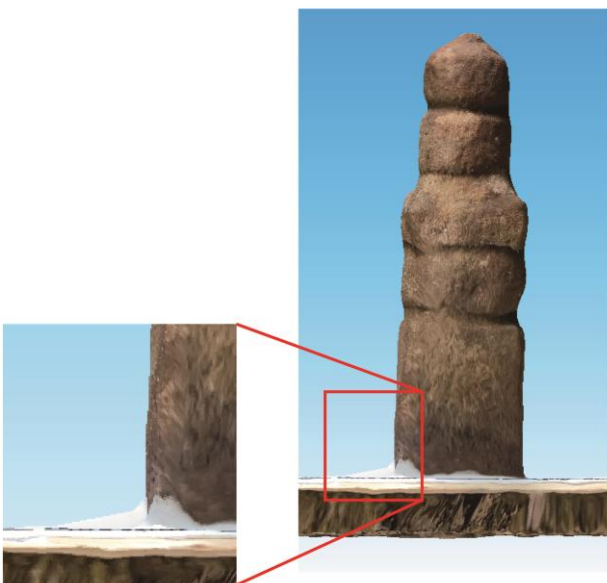


図6 小型LiDARによる三次元モデルの端部



図7 宝篋印塔で比較した中央投影とオルソ画像の違い

のものの詳細な記録としては、やや不十分であるのも明らかであり、モバイル端末を用いた三次元計測と、フォトグラメトリを使用した三次元モデルの作成については、その違いを理解した上で使用者が使い分けが必要である。

また、今回計測・作成した三次元モデルを図化する作業は実施していないが、位置図を含めて図化する場合は三次元モデルそのものを使用せず、オルソ補正を行う必要が生じる(図7)。オルソ画像とは簡単に述べると「オルソ補正を行った画像」を指し、通常私達が物を見る時、被写体から反射された光がレンズ中心を

直進して投影された映像(中心投影)と異なり、地図と同じ正射投影に変換した画像のことを指す。CloudCompareでは、視点変更によってオルソ表示・中心投影を切り替えることができるため、オルソ表示に切り替えた後、画像を描き出す作業を忘れてはならない。

今回の調査は、筆者の力不足により基本的な記録作業と注意事項の確認に留まってしまった。本来は記録から対象の検討・比較などを行って初めて調査と言えるため、記録作業を引き続き行い、同時に対象の検討・比較を実施していきたい。

第3章 発掘調査現場における活用事例

令和6年5月から令和7年3月まで、当センターでは和歌山県より委託を受け、ほ場整備に伴う大芝遺跡(日高郡日高川町)の発掘調査を実施した。調査では調査区全体で中世の遺構面を、一部においては下層に縄文時代後期とみられる遺構面を検出し、複数の竪穴建物跡や縄文土器・石器が出土した。中世とみられる遺構面からは溝・小穴のほか、土坑群を確認した。これらの土坑群の平面形態は円形もしくは不整形な楕円形で遺存状況の良いもので深さ0.3~0.5m程度である。埋土には中世の遺構面の下層にある縄文時代の包含層・遺構に由来する縄文土器や石器を多数含むものの、細片ではあるが瓦器・土師器が出土しており、中には鉄製短刀が出土したものもあった。また、調査区の土層断面の観察から、土坑が掘り込まれた中世の遺構面

はその上部を後世の耕作や隣接する日高川の洪水などで削平されたとみられるが、遺存した遺構上部に人頭大の扁平な川原石や握りこぶし大の川原石を複数積んでいる状況が明らかとなった(図8)。埋土の一部は微細遺物確認のため水洗予定であるが、調査時には人骨は出土していないものの、これらの遺構は中世の土壌墓群の可能性が極めて高いと判断した。現状で確認したのは19基であるが、出土遺物や現地記録の整理を通して更に増える可能性が高い。

調査では土壌墓群の川原石の出土状況図を手実測と写真撮影で記録すると同時に、筆者は参考資料としてモバイル端末による三次元計測を実施した。調査の進行によりこの土壌墓群を含む中世の遺構面以下にある縄文時代の遺構面を調査している際、外部有識者に

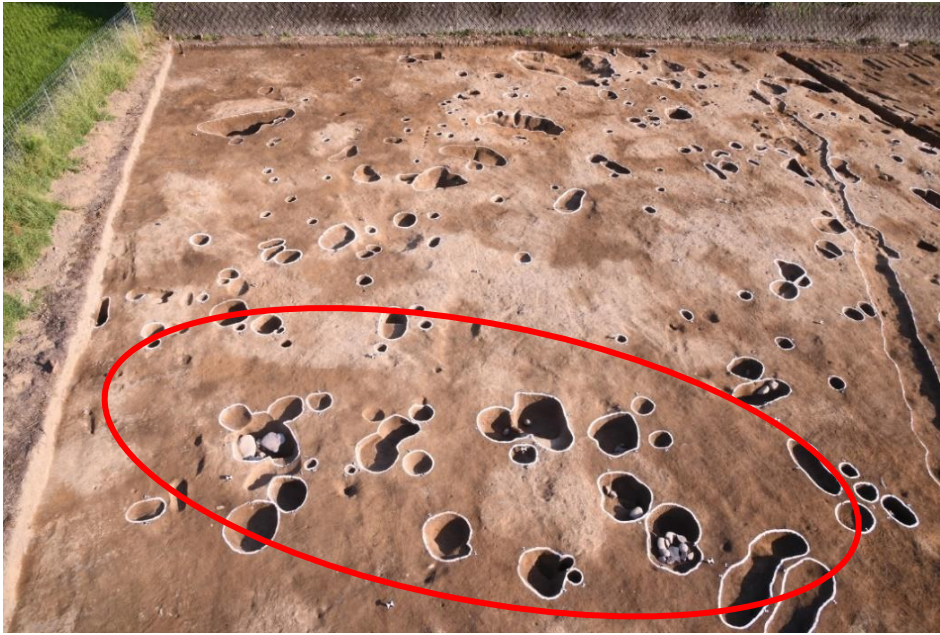


写真2 大芝遺跡で確認した中世の遺構（赤枠内に土壙墓が集中する）

よる現地指導が行われたが、写真提供と口頭での説明以外に参考として三次元計測により作成した土壙墓の石出土状況データを提示した。その際、三次元データを多方向から検討した結果、積まれた川原石が遺構の中央部に向かってわずかに下がるものがあり、これは土葬後に埋納した遺体が腐敗することによって土坑内に土や積んでいた川原石が落ち込んだ痕跡と考えられると

の指摘を得た。この指摘は大芝遺跡における中世の遺構の性格を判断する上で材料の一つとなった。

発掘調査現場における三次元計測および三次元モデルの作成・検討は、当センターにおいては上記のように現在のところ補助的な取り扱いである。しかし、現地を訪れていない人に対しても可視性の高い三次元データを提供することが出来れば、今回のように遺構の性格や重要性について十分な検討を行うことが可能であることが明らかとなった。今後の発掘調査においては積極的な運用を行っていきたいと考えている。

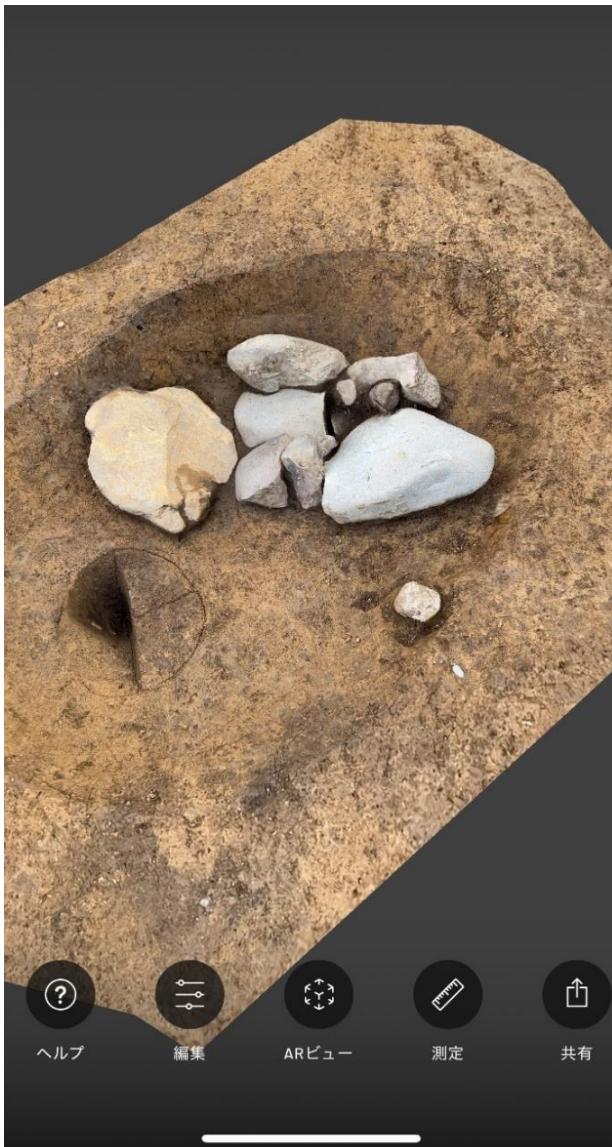


図8 大芝遺跡遺構 1176 石出土状況の三次元モデル

第4章 三次元計測の今後

文化財保護・活用の分野で、近年三次元計測が盛んに活用されるようになった背景にあるものは一体なんだろうか。発掘調査現場における三次元モデルは、現地に赴かなくても多くの人々にその遺跡・遺構の持つ様々な要素を高い可視性と共に共有することができる。発掘調査は、その進捗状況により失われる情報もあるため、遺跡・遺構の性格を検討する上で非常に有用である。しかし、三次元計測による恩恵で最も大きいと筆者が感じるのはその「省力化」である。

モバイル端末にも搭載可能な小型 LiDAR の登場やフォトグラメトリ技術の進歩により、石造物をはじめとして、膨大な資料を比較的短記録でき、なおかつ、作業は少人数で行うことができるようになった。しかも、この記録作業自体には多少の経験は必要であっても特殊な知識や技術は必要ないのである。

また、コスト面においてもモバイル端末においては Scaniverse をはじめとした無料・廉価なアプリが豊富に提供されており、フォトグラメトリのソフトそのものは有料であるが、必要最低限のソフトを導入した上で、CloudCompare などの無料提供されている点群編集ソフトを活用すれば個人でも非常に安価に三次元計測および三次元モデルの作成が可能である。

現在の日本社会は、少子高齢化を叫ばれて既に久しい状況である。人口減少に伴う人的資源の減少はもはや避けることのできない問題であり、和歌山県のような地方であればその影響は甚大である。現在の私達は限りある人的資源をもって、これまで以上の文化財の

保護・活用を求められている。今後常にこの問題と立ち向かいながら文化財の保護・活用に取り組まねばならない。三次元計測はそれらの問題を解決する一助となることはもはや疑いようがない。

ただし、筆者は本稿を通じて、自身がいまだ記録作業を今後いかに行っていくのかを試行錯誤している段階に留まっていることも自覚している。いかに記録するかは重要ではあるが、本来私達が文化財の記録を行うのは、それを後世に伝え、また文化財を通じた保護・活用を行うためと認識している。目的と手段が逆転することのないよう、肝に銘じておきたい。

冒頭でも述べたとおり、文化財調査において、三次元計測は実測、写真撮影に並ぶ記録保存の一手法となりつつある。当センターにおいても調査内容によってはこれまでも石垣などの構造物については、フォトグラメトリなどを用いた三次元モデルの作成とそれをもとにした図化を行ってきた。また、山城の調査などでは三次元計測とそれに基づいた平面図等の作成は外部機関への委託という形でこれまでも実施している。

一方で、三次元計測を行うことの認識や計測によって得られたデータの利活用については、当センターにおいても職員間で知識・経験にばらつきがあるのが現状である。特に発掘調査においては、実測図と写真が発掘調査の成果として重要視されてきた。その重要性は現在においても変わらない。しかし、同時に、新たな技術を積極的に取り入れていく必要性を私たち調査担当者は認識しなければならないだろう。

【 注 】

- (1) 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所では文化財担当者研修や研究報告を通し文化財分野における積極的なデジタル技術の推進を図っている。また、文化財担当研修の講義内容をまとめた『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用』では全国の先進的取組などが紹介されている。
- (2) モバイル端末を使用した三次元計測の具体的手順等はモバイルスキャン協会 (URL : <https://mobilescan.jp/>) を参照のこと。濱崎 2023 においても吉原遺跡の方形周溝墓のモバイル端末による三次元計測について記述している。
- (3) 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。
- (4) フォトグラメトリとは Smf/MVS による写真計測を指す。本稿での三次元モデルは Agisoft 社の Agisoft Metashape を使用し、iPhone13pro で撮影した写真画像を元に三次元モデルを作成した。

【 参考文献 】

- (財) 和歌山県文化財センター1992『明恵上人遺跡発掘調査概報』
濱崎 範子 2023「LiDAR 搭載のモバイル端末を活用した三次元計測について」『和歌山県文化財センター研究紀要 創刊号』
本間 岳人 2024『立正大学文学部学術叢書 09 石造物の考古学とフォトグラメトリ』公益財団法人 角川文化振興財団