

〔事例報告〕

おおいた豊後大野ジオパークの磨崖仏群の3D測量 — 磨崖仏のデジタル・アーカイブ —

池 見 洋 明*

*日本文理大学工学部建築学科

3D Survey of the cliffside Buddhas in the Bungo-Ono Geopark, Oita — The Cliffside Buddhas to Digital Heritage —

Hiro IKEMI*

*Department of Architecture, School of Engineering, Nippon Bunri University

Abstract

We conducted a 3D measurement of the cliffside Buddhas in the Oita Bungo-Ono Geopark using a ground-based laser measurement device. As a result, it was found that when using a ground-based laser scanner to measure the cliffside Buddhas, invisible areas are generated due to buildings and other structures, making it difficult to create a complete 3D model. Differential analysis revealed that the positioning and number of measurement devices significantly affect the measurement accuracy.

キーワード：おおいた豊後大野ジオパーク，磨崖仏，地上型レーザスキャナ

Keywords : Oita Bungo-Ono Geopark, cliffside Buddhas, ground-based laser scanner

1. はじめに

文化財の3次元計測は、形状の記録や保存といった目的のほかに、今後さまざまな方向での利活用が期待されている^{(1),(2)}。本紙では、井上・中岡・藤原(2022)⁽³⁾において実施したおおいた豊後大野ジオパークに分布する磨崖仏の3次元計測についての事例を報告する。

なお、この計測は、災害による破損等を想定して、磨崖仏の記録・保存することを目的にスタートしたものである。しかし次節で述べるように、同時に実施した大分のジオパークの現状と課題に関する研究⁽⁴⁾の考察から、

計測して得られた3次元点群データについて、教育や観光等へ利活用できないか検討を開始している。

2. おおいた豊後大野ジオパークの現状と課題

おおいた豊後大野ジオパークとは、大分県の南部の豊後大野市全域をさし、平成25年9月に日本ジオパークに認定されている⁽⁵⁾。面積は603km²、大野川水系の流域内にあり、祖母・傾山山系を分水嶺にもち、祖母・傾・大崩ユネスコエコパークの一部となっている。

おおいた豊後大野ジオパークは9万年前の阿蘇の噴火に伴う火砕流堆積物（阿蘇4）で特徴づけられる⁽⁶⁾。

谷沿いの低地に厚く堆積した火砕流堆積物は溶結し、随所に溶結凝灰岩の垂直な急崖や柱状節理を観察することができる。また溶結凝灰岩は加工しやすいため、急崖に摩崖仏が掘られたり、石橋や石垣の材料として利用されたりして、この地域の文化を形成している。同ジオパークのホームページでは、指定文化財の「菅尾磨崖仏」、「緒方宮迫東磨崖仏」、「緒方宮迫西磨崖仏」(図1)などがジオサイトとして紹介されている。

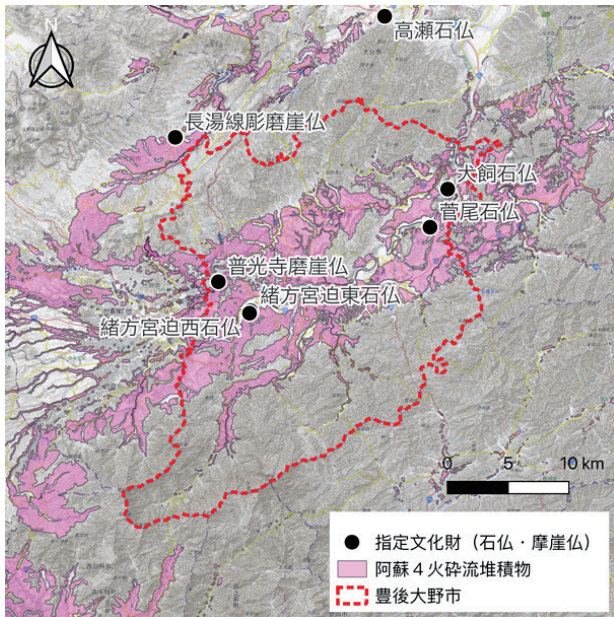


図1. 豊後大野市周辺の指定文化財の摩崖仏(背景図は地理院タイルより標準、傾斜量図、陰影起伏図を使用した。阿蘇4火砕流堆積物の分布には文献⁽⁶⁾のGISデータを使用した。)

ジオパークとは、地質学的重要性を有するサイトや景観が、保護・教育・研究・持続可能な開発が一体となった概念によって管理される地理学的領域のことであり⁽⁷⁾。つまり、ジオパークでは地質遺産の保護に特化したものではなく、教育や研究、観光といった活動も要求されており、その認定は日本ジオパーク委員会が行っている。認定は永続的なものではなく、再認定の審査が4年間隔で実施されている。2015年に世界ジオパーク活動がユネスコの正式事業された以降、認定取り消しや認定を返上したジオパークが2ヶ所存在する。

渡邊・市原(2022)⁽⁴⁾は大分県にある2つのジオパークについての研究を行っている。この研究の目的は、(1) これまでに茨城北や熊本为天草においてジオパークの認定取り消しや返上などが起きた、その原因を明らかにしたいということ、また、そのような視点から、(2) 大分県の2つのジオパークの現状を確認したいと

いう2点にあった。研究方法としては、日本ジオパーク委員会の議事録資料、現地資料、専門員の方からのヒアリングから、経営、地質保全、教育、観光の視点で、独自の指標を用いた評価をしている。資料不足により十分な検討、考察は行えていないが、その中で現状は阿蘇と比べても良好であることや、しかし、今後の人口減を考慮すると、今後教育がリスクとなることを結論付けている。

3. 3次元計測方法

3-1 計測機器

3次元計測には地上型のレーザスキャナ測量装置であるFARO社製Focus 3D/S70を使用した(写真1)。

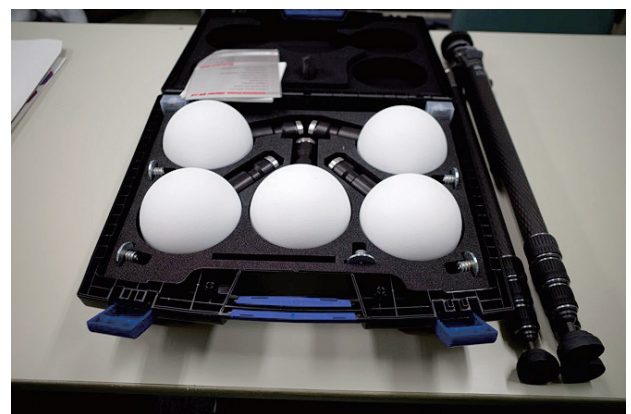


写真1. FARO社製Focus 3D/S70(上)と基準球・専用三脚(下)

この測量装置では、機器中央の回転するミラーの中心に赤外線レーザ光線を放射し、対象物から散乱光をスキャナで計測する⁽⁸⁾。計測では投光波長と受光波長の位相差を求めて、位相差距離法により、次の式(1)及び式(2)でレーザ光の往復の時間と距離を求める。

$$t = \frac{\theta}{2\pi f} \quad (1)$$

$$d = \frac{ct}{2} \quad (2)$$

ここで、 θ は位相差、 f は周波数、 t は時間、 c は光速、 d は往復の距離の半分なので、対象物までの距離となる。次に、装置のミラーの回転角と水平方向の回転角からX、Y、Zの座標値を計算する。

Focus 3Dの操作は側面にあるタッチパネルにより全て行う。事前に測定条件を設定していれば、(1)機器の電源を入れて、(2)記録媒体となるSDカードを挿入し、(3)整準を確認した後、(4)ボタンひとつで計測が開始される。なおFocus 3Dは専用の三脚で設置するが、水平の角度が5°以下であれば自動整準する機能がある。

計測の精度に関わる測定条件として分解能と品質がある。分解能とは単位面積あたりに取得する点数である。1/1、1/2、1/4、1/5、1/8、1/10、1/16、1/20、1/32の9段階で設定でき、数値が小さいほど取得する点数が多くなる。品質は定点の繰り返し測定数で、その平均が1点の値となる。1×、2×、3×、4×、6×、8×の6段階で設定でき、値が大きいくほど定点の測定回数が多い。分解能や品質を上げれば測定する時間は必然的に長くなるため、調査地で計測できる時間と測定したい領域によって最適な条件を判断しなければならない。なお、画面で測定条件を選択することにより計測の時間、サイズ、取得点数、ポイント間距離（スキャナから10m先の点間ピッチ）が計算され、画面に表示されるため、現地にて検討することが可能である。またFocus 3Dの汎用的な測定条件は「プロファイル」として準備されており、それらを利用すれば1回の計測時間はおよそ10分前後である。

3-2 点群処理・解析ソフトウェア

FARO社製Focus 3D/S70から点群データの入出力には汎用のSDカードを利用できるが、データ形式に汎用性はなく、FARO社製の点群処理ソフトSCENEを利用しなければならない。そのため、異なる計測で得られた点群の重ね合わせと汎用的な点群データの形式であるLAS形式への変換まではSCENEを使用した。なお計測領域の60%以上でオーバーラップがある場合、複数の点群データの重ね合わせはSCENEによる自動登録機能で容易に行える。重なる領域が60%以下となる点群データの重ね合わせには、球体（写真1下）や市松模様などのGCP（ランドコントロールポイント）を少なくとも3点

以上を重なる領域で同時計測する必要がある。

LAS形式にエクスポートした点群データの処理には、CloudCompare V2.6を使用した。この点群処理ソフトウェアはフリーウェアであるが、今回の研究目的には十分は機能を有している。例えば、点群データのフィルタリング機能に加えて、ICPアルゴリズムによる点群の重ね合わせやoctreeによる点群差分が可能である。地理情報システム（GIS）などで3次元の点群の差分をするには、ラスタやメッシュデータへの変換が一般的である。加えてXYZ座標の絶対座標が必要であった。しかし、CloudCompareでは、ICPによる点群の重ね合わせも同時に行えるため、それぞれ相対座標を持つ点群データであっても差分計算を実現できる。

4. 磨崖仏の3次元計測結果

令和4年は菅尾磨崖仏、緒方宮迫東・西磨崖仏の合計3箇所を計測を実施した（写真2）。

菅尾磨崖仏は平安時代後期に作られたとされ、左から千手観音、薬師如来、阿弥陀如来、十一面観音、多聞天の5体が約9万年前の阿蘇火砕流の溶結凝灰岩に彫られている。緒方宮迫の東西2カ所に彫られた磨崖仏も阿蘇火砕流の溶結凝灰岩に彫られており、平安時代後期の作と推定されている。この磨崖仏の造営には緒方三郎惟栄が大きく関わっていたと推測されている。東の磨崖仏は中央に大日如来、右に不動明王、左に持国天、さらにその両側には吽・阿の仁王像がある。西の磨崖仏は、右から阿弥陀如来、釈迦如来、薬師如来の順に並び、三尊形式をなさず平等並列の状態に彫られている^{(5),(9)}。なお本紙では事例として菅尾磨崖仏の結果のみを示す。

菅尾磨崖仏の3次元計測は第1回目計測を8月、2回目の計測は11月に行った。

図2には菅尾磨崖仏の1回目に計測した点群データを示す。Focus 3Dを合計8箇所に設置して、磨崖仏全体を測定できるようにした。測位による絶対座標は計測していない。また図は磨崖仏以外のデータを削除、編集した後の点群データであり、すべての点をRGB色で表示している。写真2と比較して見るとわかるが、紙面では点群データと写真の区別はできない。そのため3次元データであることを示すため、図2では0.1m間隔のメッシュ線を重ね合わせて表現している。

図3は図2の点群データを右斜め上から表示させたものである。図2の表示は測量機器からの視点で、機器の可視領域と重なるため、データの抜けがないように見える。一方、図3では磨崖仏の頭部や手元あたりの点群

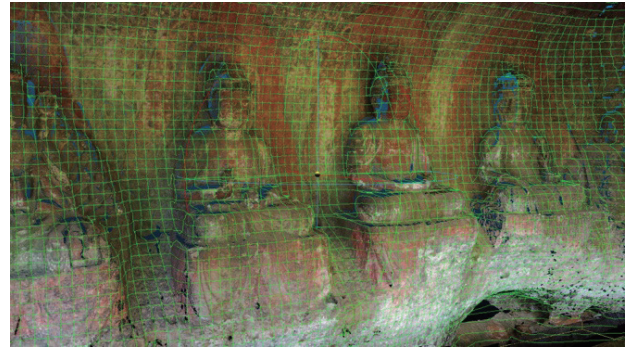


図2. 菅尾磨崖仏の3次元点群データ
(計測日2022. 8. 16)

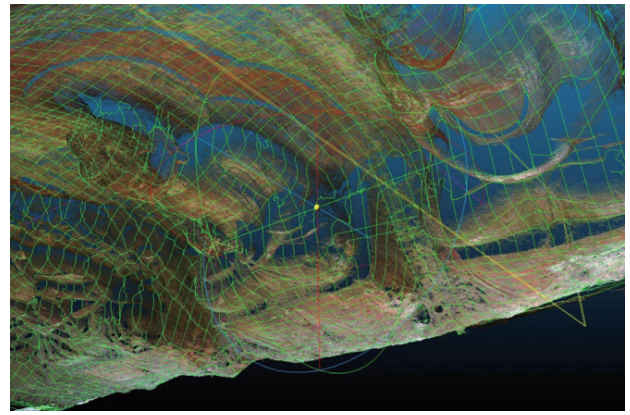


図3. 右斜め上からみた図2の3次元点群データ



写真2. おおいた豊後大野ジオパークの磨崖仏（上から菅尾磨崖仏、緒方宮迫東磨崖仏、緒方宮迫西磨崖仏）

データがないため不明瞭となっている。地上からの計測だけでは完全に計測できていないことがわかる。

2回目の計測は11月22日に実施し、左の千手観音を中心に上下4箇所に機器を置き3次元測量を実施した。今回の複数時期の点群差分では2つの時期が近接しているため、その差は、劣化、損傷等が原因ではなく、計測誤差に起因して生じると考えられる。

図4は2時期の点群データを差分し、その差を青から赤の色で表現した図である。差が大きくなるほど赤くなる。左の千手観音は全体的に青色を呈しているが、千手観音の頭部や薬師如来の右側の影の部分に赤色が集中している様子が確認できる。2回目の計測では薬師如来の右側（釈迦如来側）では計測を実施していない。図5には点群の差をヒストグラムで示したものである。差は5 mm 以下が多くなっており、1 mm 程度にピークを確認できる。

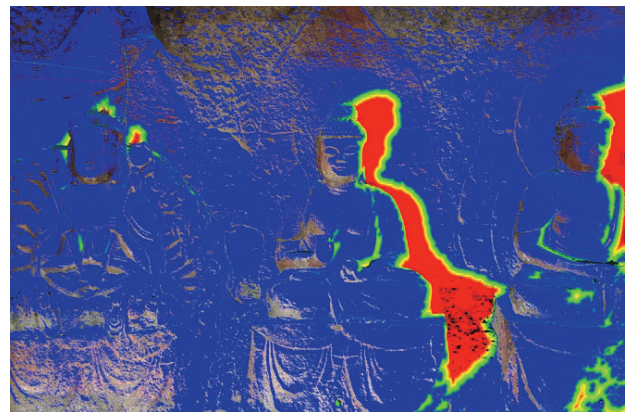


図4. 2時期の菅尾磨崖仏の点群差分

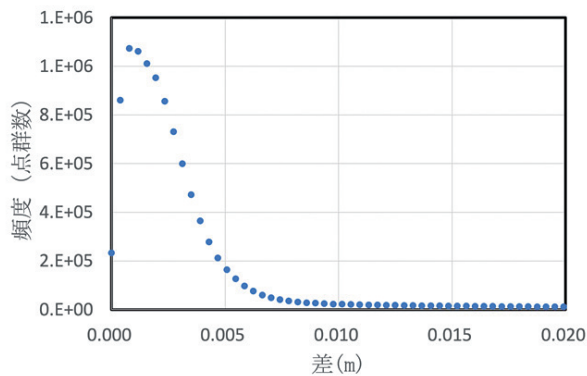


図5. 菅尾磨崖仏の差分結果のヒストグラム

これらのことから測定条件を整えれば概ね5mm以下の精度で評価が可能であることがわかった。しかし、計測機器から不可視な領域に近接する場所では差が大きくなるという課題が確認できた。今後、ポータブルな計測機器等を組み合わせて3次元計測を実施するなど、不可視領域の保管方法について検討する必要がある。

5. まとめ

本紙では、文化財の3次元計測の目的や利活用の期待、大分の豊後大野ジオパークの現状と課題、計測方法（使用する機器とソフトウェア）、磨崖仏の3次元計測結果について報告した。計測は磨崖仏の記録・保存を目的に開始したが、現在は教育や観光への利活用も検討している。おおいた豊後大野ジオパークは阿蘇の火砕流堆積物が特徴であり、菅尾磨崖仏や緒方宮迫磨崖仏などがジオサイトとして紹介されている。計測にはFARO社製のレーザスキャナ測量装置を使用し、点群処理にはSCENEとCloudCompareを利用した。菅尾磨崖仏の計測結果では、測定精度は概ね5mm以下であり、計測の不可視領域に近づくほど精度が低下することが確認できた。

以上の結果から、装置の可視領域では概ね5mm以下の精度で評価が可能であることがわかった。また不可視領域については、ポータブルな計測機器を組み合わせた3次元計測などを検討する必要があると考えられる。

謝辞

本事例報告の実施にあたり、おおいた豊後大野ジオパーク推進協議会専門員の吉岡敏和様には大分県ジオパークの現状についてのヒアリングや磨崖仏の計測にご配慮、ご対応いただいた、おおいた姫島ジオパーク推進協議会専門員の堀内悠さまには大分県ジオパークの現状についてのヒアリングに関して快くご対応いただいた、令和4年度日本文理大学工学部建築学科卒業生の井上玲央君、中岡優紀君、藤原歩夢君には磨崖仏の計測データを使用の許可をいただいた、また本研究はJSPS科研費JP21K18407の助成を受けました、以上、心より感謝申し上げます。

参考文献

- (1) 野口淳 (2022) 動向レビュー：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
- (2) 金田明大 (2010) 文化財のための3次元計測, 岩田書院, 159p.
- (3) 井上玲央・中岡優紀・藤原歩夢 (2023) 大分豊後大野ジオパークに分布する磨崖物の保存支援のための3D測定, 令和4年度日本文理大学工学部建築学科卒業研究論文
- (4) 渡邊凌・市原亮雅 (2023) 天草・茨城北ほかとの比較に基づいた大分県ジオパークの現状と課題, 令和4年度日本文理大学工学部建築学科卒業研究論文
- (5) おおいた豊後大野ジオパーク <https://www.bungo-ohno.com> (2023/6/5閲覧)
- (6) 星住英夫・宝田晋治・宮縁育夫・宮城磯治・山崎雅・金田泰明・下司信夫 (2023) 阿蘇カルデラ阿蘇4火砕流堆積物分布図. 大規模火砕流分布図, no.3. 産総研地質調査総合センター
- (7) 日本ジオパーク委員会, <https://jgc.geopark.jp/index.html> (2023/6/5閲覧)
- (8) FARO Knowledge Base <https://ja-knowledge.faro.com/Hardware/Focus/Focus>, (2023/6/10閲覧)
- (9) 日本一の「おんせん県」大分県の観光情報公式サイト, <https://www.visit-oita.jp/> (2023/6/10閲覧)

