

一人でできるフィールドワーク ～iPad LiDAR を利用した地形計測～

石井淳平（厚沢部町農業委員会）

One-Person Fieldwork: Collecting Topographic Measurements with the iPad's LiDAR Sensor

Ishii Junpei (Assabu Agricultural Committee Office)

- ・ 最小限の機材／Minumal equipment ・ 三次元計測／3D measurements
- ・ 地理情報システム／Geographic information system

1. はじめに

1.1 SfM/MVSの利点と限界

2010年代後半から、SfM/MVS専用ソフトウェア¹⁾が安価に利用できるようになったことから、この技術を活用した三次元計測の導入が進んできた²⁾。筆者も2019年に私費でMetashape Standard版を入手し、石造物や遺構の三次元計測に利用してきた。SfM/MVSによる三次元計測は、それまでの高価なLiDAR スキャナよりもはるかに安価で、撮影写真の精度を上げることでミリ単位以下の高精度な計測結果を得られる点で満足のいくものであった。一方、視差を利用する性質上、同一点の機械的判定が必須であることから、例えば林内では木漏れ日の影響があり、また下層植生のある環境では草本類の微妙な揺れがアライメント精度を低下させ、計測を破綻させる結果となる。特に下層植生の影響は絶望的で、いかに草刈りを丁寧に行ったとしても、この影響を除去することは不可能であった。

1.2 iPhone/iPad LiDARの登場とフィールドでの利用

2020年にLiDARが搭載されたiPhone 12 pro及びiPad proが発売され、同時に多くの使い勝手の良い計測ソフトウェアが出現した。これにより考古学における三次元計測のハードルは大きく低下した。iPhone/iPad LiDARによる現地調査は高田祐一による石丁場の調査によって、その有用性が確認されている³⁾。高田の調査環境は、筆者が取り組んでいる戊辰戦争遺

構や鉱山遺構のそれと類似しており、筆者の行う調査記録作成効率の向上に資することが期待された。

筆者が特に期待したのは、LiDARによる直接計測は、視差を利用するSfM/MVSに比べて木漏れ日や草本類の揺れの影響を受けにくいと考えられる性質である。筆者は、2022年2月にiPad pro:A2377（第3世代）を入手し、主に山林内の遺構計測に利用している。予想どおりLiDARによる計測は、SfM/MVSに比べて木漏れ日や草本類の揺れの影響を受けにくく、従来のSfM/MVSでは断念せざるを得なかった山林内の遺構の三次元計測が可能となった。

本稿では、近代の鉱山遺構^{4) 5)}を題材に、iPhone/iPad LiDARを利用した遺構計測の手順について解説する。

2. ターゲットマーカーの設置

幾何補正用のターゲットマーカーは、一辺約18cmの白黒のものを用意し、10点を現地に配置した(図1)。幾何補正にはターゲットマーカーが最低3点あれば足りるが、マーカーが画像として記録されない場合もあるため、幾何補正の精度向上も兼ねて10点を配置した。計測対象領域は約900㎡である。

「モバイルスキャン協会」によるマニュアル⁶⁾ではマーカーの配色は「ピンク青」・「ピンク黄緑」が推奨されており、「黒色はデータに抜けが発生するため避ける」とされているため、本稿で紹介した黒白のマーカーは不適切であろう。



図1 計測領域に設置したターゲットマーカー

3. ターゲットマーカーの計測

ターゲットマーカー計測の事前準備として、スマートフォンのGPS⁷⁾を用いて基準点を作成した。次に、基準点から計測領域の長軸方向にメジャーを張り、これを基線とした(図2)。基線の方位角はオリエンテーリングコンパスを用いて計測した(図3)。基準点の標高は、国土地理院発行2万5千分1地形図を用いて等高線間を按分して算出した。



図2 計測領域長軸にメジャーを張って基線とした

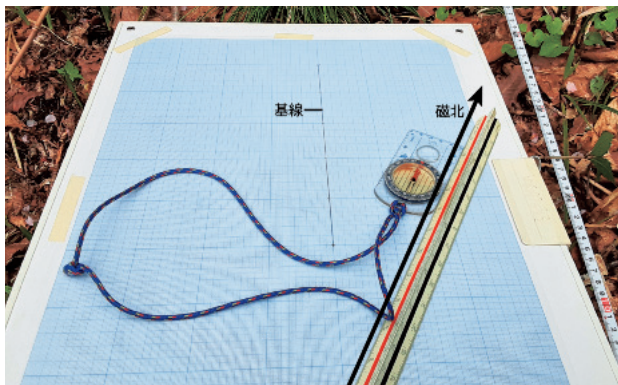


図3 オリエンテーリングコンパスを利用した方位の記入

基線を利用してターゲットマーカーの位置をメジャーとコンベックスにより計測した。ターゲットマーカーの水準計測は、オートレベルを使用した。なお、カメラ三脚とスマートフォン用のホルダーを利用してスタッフを自立させた(図4)。



図4 オートレベルによるターゲットマーカーの水準計測

4. iPad LiDARによる3次元計測

先述したiPad pro (11 インチ)をUranziのタブレットホルダーに固定し、雲台付きポール⁸⁾に接続して計測作業を行った(図5)。



図5 MetascanによるLiDAR計測

LiDAR計測には「Scaniverse」と「Metascan」を利用した。いずれのアプリもスキャン済み領域が表示されるため広域のスキャンに向いていること、アプリ内でプロセッシングが可能のため、現地でスキャン結果を確認できることが魅力である。両者の計測により、「Metascan」の方が計測抜けが少なかったため、最終的には「Metascan」の計測結果を利用した。

5. ターゲットマーカーの座標算出

幾何補正のためにターゲットマーカーに座標を

付与する。磁北をもとに真北のラインを図に書き入れ⁹⁾、GPS で取得した基準点座標から図上でターゲットマーカーの座標を計測した¹⁰⁾ (図6)。

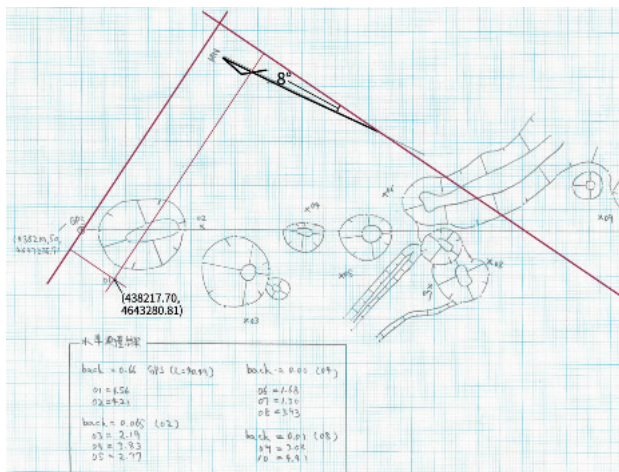


図6 図上でのターゲットマーカー座標の計測

6. CloudCompareによる幾何補正

Metascan から ply 形式でエクスポートしたデータを CloudCompare で開く (図7)。点群データはそのままでは隙間が多く見づらいので、Property → Point size でサイズを3に変更する。

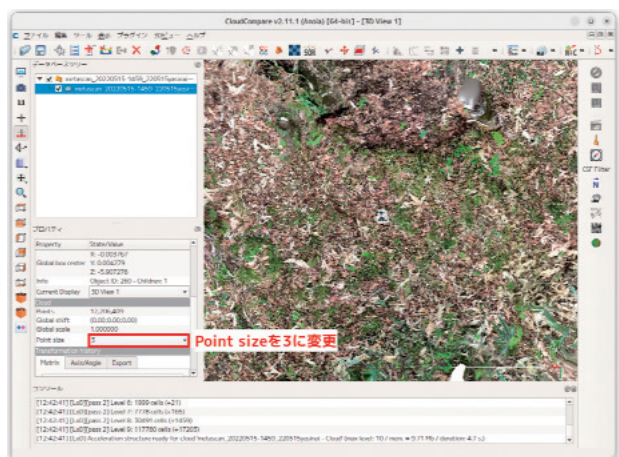


図7 CloudCompareでply形式のLiDARスキャンデータを開く
ツール→登録→位置合わせで幾何補正を行う。ターゲットマーカーをクリックし、先に算出した座標値を入力する (図8)。

ツール→投影→ラスタ化 (等高線生成) から、GeoTIFFを出力する。5.Update gridをクリックすると標高ラスタが生成されるので、生成後に6.RasterをクリックしてGeoTIFF形式で保存する (図9)。



図8 ターゲットマーカーを指定し、座標値を入力する

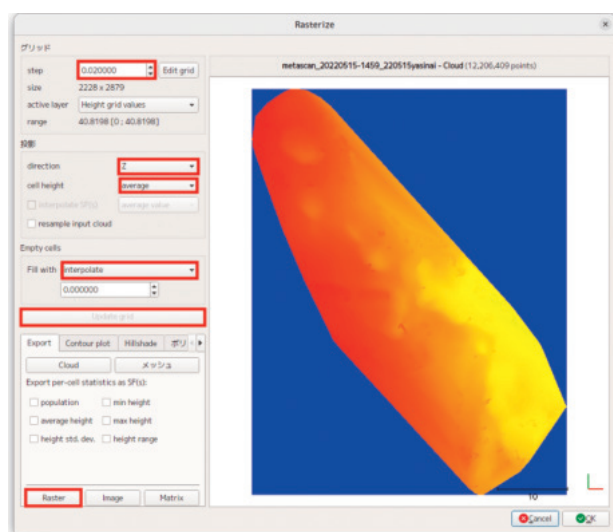


図9 標高ラスタを生成する

1. step メッシュサイズ指定
2. direction 投影方向指定
3. cell hight 出力される標高値の計算方法
4. Fill with 空白セルの取り扱い
5. Update grid 標高ラスタを生成
6. Raster GeoTIFF出力

7. QGISによる図化

出力したGeoTIFFをQGISで開く (図10)。LiDAR 計測領域の縁辺は対象物に対してレーザーが垂直に照射されていないことが多く精度が下がる。また、意図しない領域が含まれることもある。そのため、クリップ等の作業が必要となる。

標高ラスタの縁辺を除外し、傾斜ラスタや等高線を生成し重ねたものが図11である。

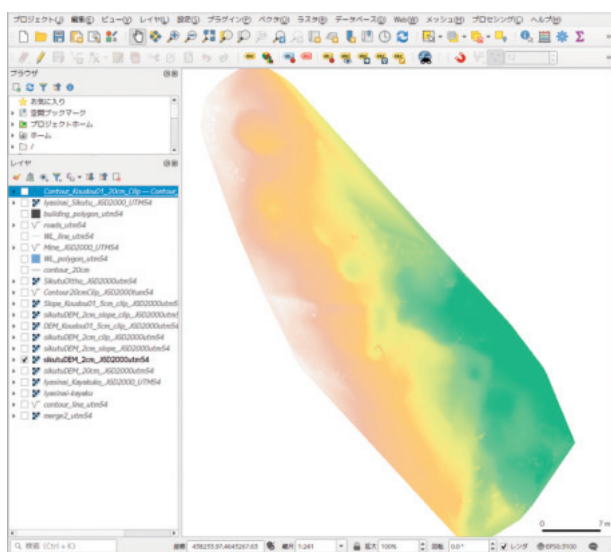


図 10 GeoTIFF形式で出力した標高ラスタをQGISで読み込む

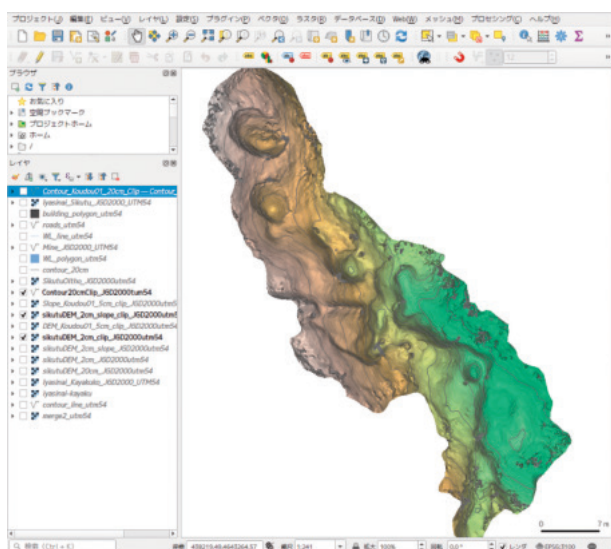


図 11 傾斜ラスタと等高線を生成し重ねる

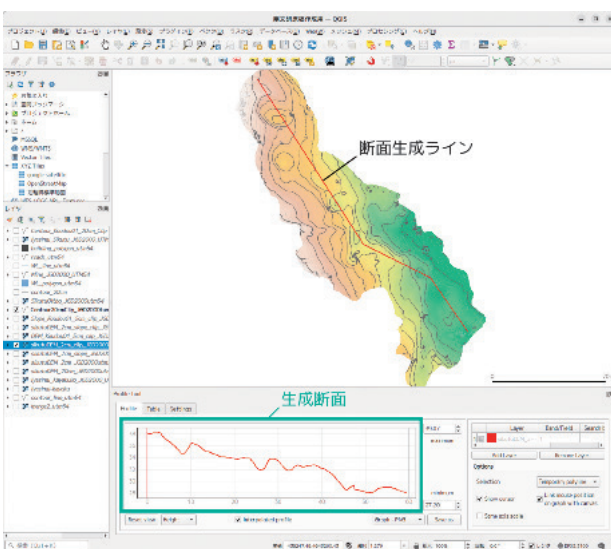


図 12 任意のラインで断面を作成 (Profile Tool) 結果は svg や png に出力可能である

標高ラスタをベースとしているため、後処理で様々な情報の取得が可能である。一例として任意のラインによる断面の作成例を示す。図 12 は Profile Tool プラグインを使用した断面作成例である。

8. まとめ

8.1 SfM/MVS と比較した iPhone/iPad LiDAR の強み

筆者はこれまでも SfM/MVS を利用して 3 次元計測を行ってきた。冒頭で指摘したように、SfM/MVS は写真の解像度を高めることによりその精度をほぼ無制限に高めることが可能である。一方、事後の処理は個人所有のパーソナルコンピュータでは日単位の処理時間を要し、次々に成果を記録しなければならないフィールドワークでは、処理時間がボトルネックとなっていた。これに対し、iPhone/iPad に搭載された LiDAR は、精度の限界があるものの、計測後数分で計測結果を確認することができる。計測結果確認までの時間が圧倒的に短いことが iPhone/iPad LiDAR の 1 つ目の利点である。

2 つ目の利点として、視差を利用する SfM/MVS と比較して、直接計測の LiDAR は木漏れ日や草本類のゆらぎに強いことが挙げられる。今回紹介した計測では 900 m² の調査範囲を一回の計測で破綻なくスキャンすることができた。筆者は同じ領域を前年にも SfM/MVS による計測を試みたが、アラインがうまくいかず断念していた。草本類の影響がない発掘調査区域と異なり、木漏れ日や草本類の影響を除去しきれない林内の計測は、iPhone/iPad LiDAR を活用する大きな利点となる。

8.2 iPhone/iPad LiDAR 計測のワークフロー

iPhone/iPad LiDAR による計測の準備やその後のワークフローは従来の写真計測やレーザー測量、SfM/MVS と大きな違いはない。現地にターゲットマーカーを設置し、それらを写し込みながら LiDAR 計測を行う。ターゲットマーカーの位置計測が必要なことも従前どおりである。筆者が行った計測手順を時系列で整理すると次のとおりである。

1. ターゲットマーカの設置
2. ターゲットマーカの位置計測と水準計測
3. LiDAR スキャン
4. CloudCompare による幾何補正
5. QGIS による加工と表示

「1. ターゲットマーカの設置」や「2. ターゲットマーカの位置計測や水準計測」は、三次元計測に限らず、オフセット測量においても必須の作業であり、手間ではあるが考古学者なら誰でもできる作業である。これに対して「4. 幾何補正」と「5. QGIS による加工と表示」は習得コストを要し、従来の作業では行われいか外部委託されることが多い作業である。三次元計測の導入に関するボトルネックは幾何補正と GIS での平面表示にあると言える。

現時点で発掘調査報告書は印刷物が原則である¹¹⁾。そのため、何らかの形で三次元計測結果を平面投影しなければ最終成果物として成立しない。幾何補正と GIS 等による平面表示の手順を確実に習得することが、三次元計測を発掘調査ワークフローに取り入れ、なおかつその作業をデジタルで完結するためには必要である。

8.3 二値画像の限界と三次元計測

三次元計測の特徴は、1. 高密度な情報、2. 迅速性である。近年はこれに加えて低コストが挙げられる¹²⁾。三次元計測が手軽になる一方で、発掘調査の最終工程である報告書では、あらゆる成果を原則として投影図として表現しなければならない。このため、三次元計測がトレース下図などの補助的な計測手段として使用されるケースが多いと考えられる。三次元計測結果の多くがその情報量を失い、最終的な成果物としては白黒の二値画像となってしまうのである。

言うまでもなく、二値画像化された遺構図は、遺構のもつ情報を選択的に表現した不完全なものであり¹³⁾、実測図記録手法を学んでいない者には利活用が難しい側面がある¹⁴⁾。二値画像化による情報の圧縮は、記録手法の読解に専門的知識を要求し、この

ことは専門的知識の宿命として、時間の経過による「陳腐化」、すなわち情報の賞味期限が形成されてしまう¹⁵⁾。

濱田耕作が指摘したように、三次元の形状をもつものは三次元として記録するのがあるべき姿である¹⁶⁾。取得した三次元データの有効な活用や保存などの課題は多いものの¹⁷⁾¹⁸⁾、二値画像化を代替する考古学情報の表現と流通方法を確立する必要がある。

【補註及び参考文献】

- 1) SfM/MVS の普及には安価かつ高機能な Metashape (Agisoft) の存在が大きい。Standard と Professional のライセンスが用意されており、捻出できる費用に応じて選択できる点がリーズナブルであった。
- 2) 金田明大 2016 「SfM/MVS による遺構の計測」『文化財の壺』No.4, 文化財方法論研究会, pp. 4-7
- 3) 高田祐一 2022 「石帳場のデジタル調査方法—フォトグラメトリ・ドローン・RTK-GNSS・LiDAR—」『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, pp. 190-195
- 4) 調査対象は北海道南西部厚沢部町字上里に所在する意養鉾山である。本鉾山は硫化鉄鉾山として昭和 25 年と 26 年に稼行し、4,740 トンを産出した。火薬庫跡、試掘坑跡、坑道跡が残る。LiDAR 計測は左の 3 地点の地形測量として実施した。
- 5) 五十嵐昭明 1957 「IV 檜山郡厚沢部村地内の鉄・硫化鉄鉾床調査報告」『北海道地下資源調査資料』第 30 号, 北海道開発庁, pp. 41-50
- 6) モバイルスキャン協会 2022 『モバイルスキャンマニュアル』(<https://mobilescan.jp/> 2022 年 8 月 14 日取得)
- 7) 基準点計測に用いたスマートフォンは「Samsung Galaxy A20」、GPS アプリは「GPS Logger」(BasicAirData) を使用した。
- 8) 雲台付きボールは「DENSAN 雲台付きボール」(ジェフコム株式会社) を利用した。1.8m まで伸びる点で重宝しているが、実測 467g の iPad は一眼レフカメラと異なり重心がボール接点から遠いことや投影面積が大きく風の影響を受けやすいことなどから、

ポールのスペック不足は明白であった。

- 9) 調査地点の北海道厚沢部町の磁北は、真北から西偏8°である。
- 10) 筆者は個人的な調査では直感的に把握しやすいUTM座標系を用いることが多く、ここで使用した座標系も世界測地系UTMzone54である。
- 11) 埋蔵文化財発掘調査体制等の整備充実に関する調査研究委員会 2017『埋蔵文化財保護行政におけるデジタル技術の導入について2（報告）』文化庁, p12
- 12) 金田明大 2019「3次元技術等によるデジタル技術の導入」『デジタル技術による文化財情報の記録と利活用』奈良文化財研究所, pp.13-20
- 13) 岩村孝平 2019「スマホで横穴式石室を測りまくる」『第2回考古学・文化財のためのデータサイエンスサロン予稿集』考古形態測定学研究会, pp. 10-16
- 14) 岩村孝平 2020「無味無臭だからこそ可能な 3D データの利活用」『考古学・文化財のためのデータサイエンス・サロン online #2 予稿集』考古学形態測定学研究会, pp. 72-75
- 15) 中園聡・太郎良真妃・平川ひろみ・遠矢大士 2022「『悉皆的3D発掘』および「ペーパーレス発掘」の試みと検討—鹿児島県三島村黒島大里遺跡の調査の事例から—」『日本情報考古学回講演論文集』Vol.25, 日本情報考古学会, pp. 1-5
- 16) 濱田耕作 1930「序」『考古學関係資料模型目録』上野製作所
- 17) 轟直行 2019「埋蔵文化財調査における写真計測 (SfM/MVS) の活用～初級者が思ったこと・感じたこと～」『第1回考古学・文化財のためのデータサイエンスサロン・予稿集』考古学形態測定学研究会, pp. 3-8
- 18) 野口淳 2020「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4』奈良文化財研究所, pp. 59-76