

スマホで横穴式石室を測りまくる

岩村 孝平

(古墳見学者/NDS.TS 株式会社)

はじめに

21 世紀に入り安価かつ高性能になったデジタルカメラや情報通信端末が広く使用されることで、多くの古墳画像や動画がインターネットに公開されるようになった。さらに、Augmented Reality (AR: 拡張現実) や Simultaneous Localization and Mapping (SLAM: 自己位置推定と地図作成の同時実行) を実現させるために、従来高性能な PC を必要とした深度センサーをスマートフォン上で動作させることが可能となりつつある。

報告者は、そのような安価に市販されている 3 次元計測可能な機材を用い、横穴式石室/横穴墓の記録を行った。2014 年 9 月から 2019 年 6 月までの古墳見学で、500 基を超える横穴式石室と横穴墓の 3 次元データを得た。これらの 3 次元データを計測した 3 種類の手法と、古墳見学の過程で得たノウハウを共有する。

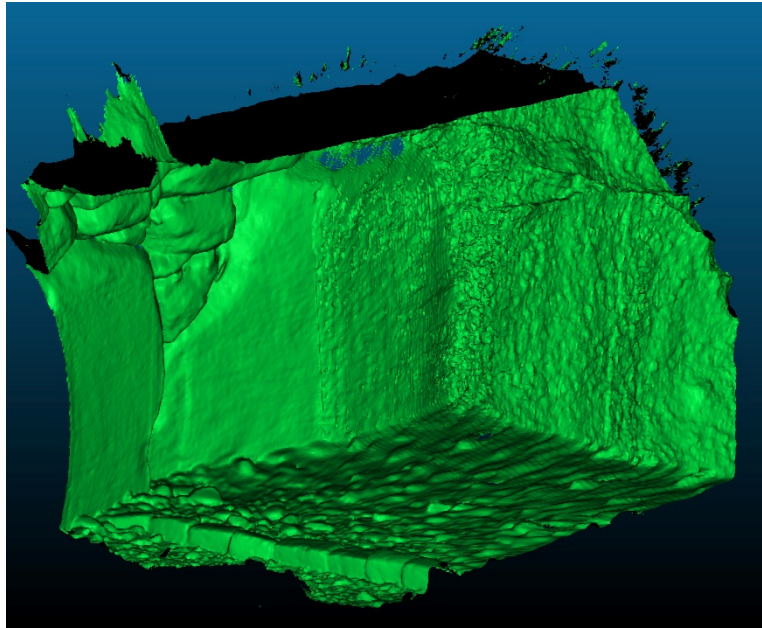
なぜ、横穴式石室/横穴墓の 3 次元計測に至ったのか

2013 年に行われた持ち運べる 3D スキャナのクラウドファンディングを支援したことで、iPad に外付けする 3D スキャナを入手した。当初は、使用環境を選ばないモーションキャプチャ機器として使用する予定であった。サンプルアプリなどを試す過程で、光沢面を持たない空間記録に適していることが分かり、趣味である古墳巡りに転用。横穴式石室や横穴墓を 3 次元記念撮影を開始した。

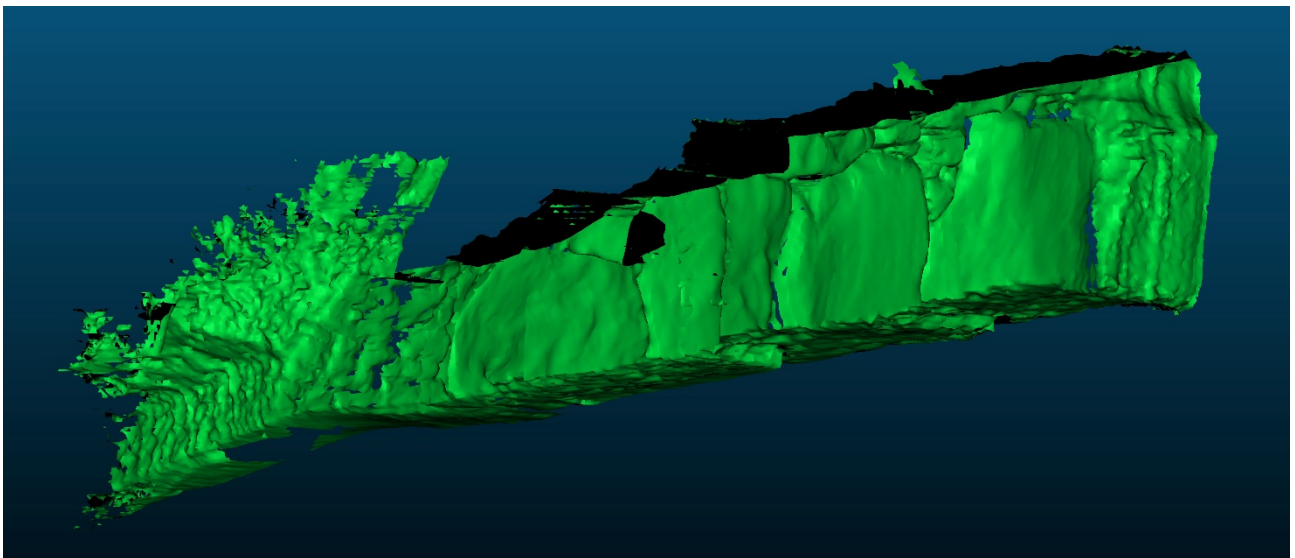
また、全国の古墳を見学するのに伴って横穴式石室の形状を表現する「ドーム型」「胴張り」といった文言について、実際の遺構との相違を感じるようになった。写真や動画では形状を客観的に把握するのが難しく、平面図や立面図も遺構の一部を切り出して作成された物であるため完全ではない。情報の閲覧者が、「急激な持ち送り」ではなく「傾斜〇〇度の持ち送り」といった共通の認識を持てるよう 3 次元データを取得/公開することとした。古墳見学者の WEB サイトでも 3 次元データ利用を行っている事例はごく少数であったことも理由として挙げられる。

ZenfoneAR 以前の使用機材 1 (Occipital 社 StructureSensor)

ハードウェアとして StructureSensor、ソフトウェアとして Skanect および Roomcapture を使用した。Skanect は、StructureSensor と PC を有線もしくは無線で接続し、データ処理を接続している iPad ではなく PC に担わせる形式である。高密度の点群データが取得できる反面、ノート PC を見学場所に持ち込む必要があり 1 人での運用は難しい。Roomcapture は、StructureSensor と接続する iPad 上で動作する iOS ソフトウェアであり、片手でも運用が可能である。横穴式石室の石材構成や形状が分かる程度には 3 次元計測が可能で、取得データ



画像 1 Skanect で 3 次元計測した群馬県高崎市観音塚古墳

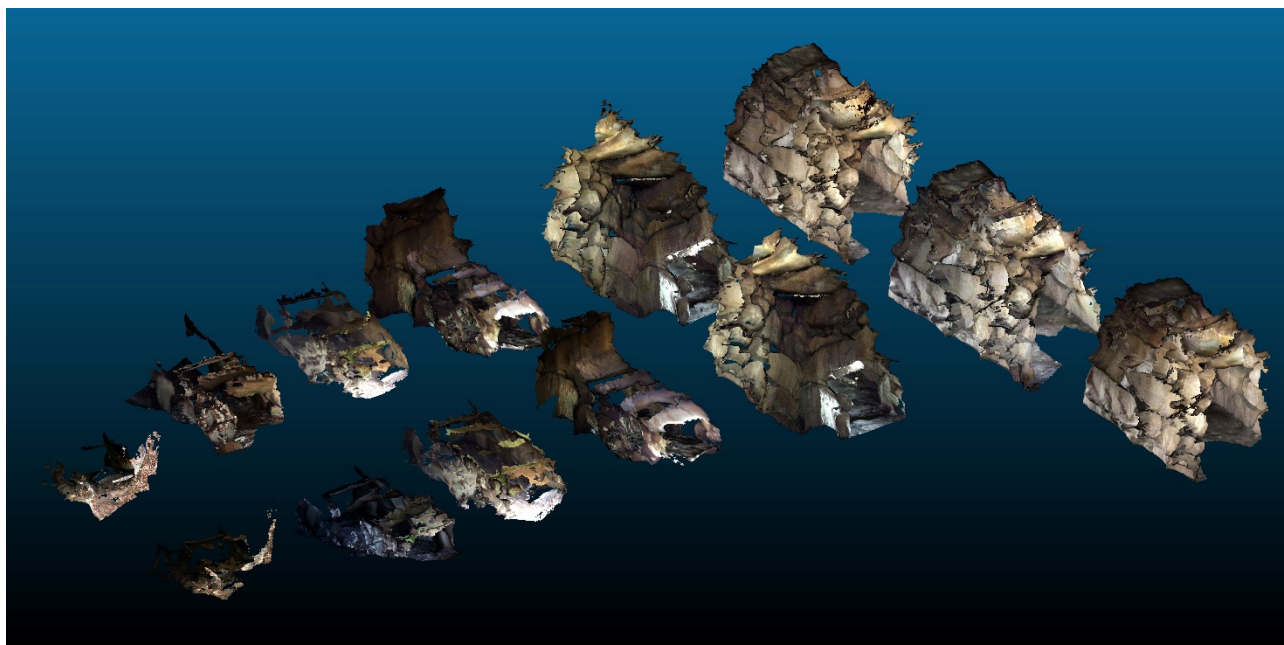


画像 2 Roomcapture で 3 次元計測した群馬県高崎市観音塚古墳

サイズも 100Mbytes 以下に収まることから、この形態を多用した。

デメリット

- ・ パターン投影方式の 3 次元計測は ToF (Time of Flight) 方式と比較して、直射日光などの状況で 3 次元計測が破綻することが多く、横穴式石室/横穴墓の開口部記録が行えない。
- ・ StructureSensor 自体は持ち運べるものの、移動しながらの 3 次元計測ができるわけではない。据え置き型の台座を人が行うことに近く、石棺/石屋形など付帯設備を持つ石室や大型のものでは計測位置が多くなりやすい。公開前に、3 次元計測データの位置合わせを行う必要がある。



画像3 Roomcapture で3次元計測した岡山県総社市緑山古墳群4号墳
結合前の3次元データ

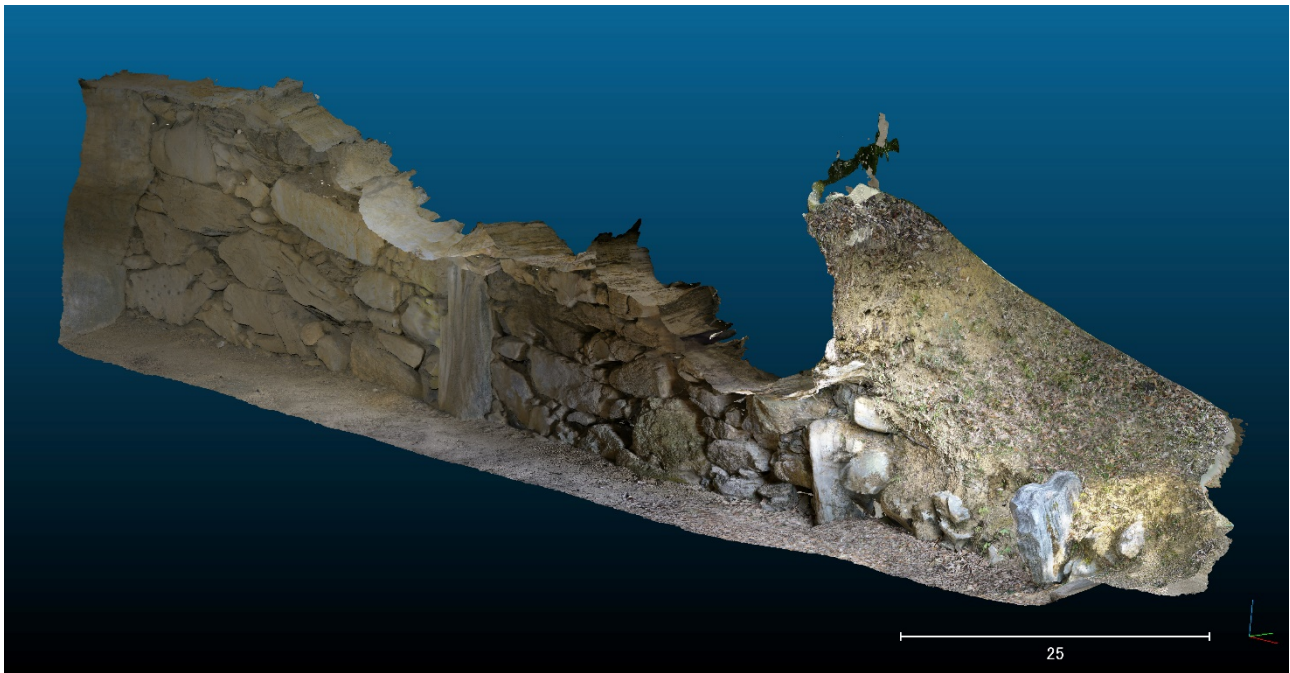
ZenfoneAR 以前の使用機材 2 (Pix4D 社 Pix4DMapperMesh/Agisoft 社 Metashape)

StructureSensor とは重複しない分野である墳丘やトレンチといった遺構を3次元化するために Pix4DMapperMesh を導入した。ドローン測量用のソフトウェアで、2～3m の一脚に遠隔操作可能なカメラを取り付け撮影した写真の処理を行った。Metashape (旧 Photoscan) へ乗り換えた際に、崖面の横穴墓群や横穴式石室にも使用できることが判明した。高密度の3次元データを作成することができ、テクスチャもそのまま VR コンテンツ (virtual reality) として使用できる品質を持つ。StructureSensor (計測) と併用する形で運用した。

デメリット

- ・撮影の難しい狭い羨道や石棺/石屋形など付帯設備は、3次元化に失敗可能性が高い。また、3次元化の成否が帰宅後となり、画像データの再取得が難しい。
- ・SfM/MVS 用の写真撮影に大型の石室で1～3時間と時間がかかる。また、別に計測データをとる必要があり、古墳1基あたりの滞在時間が延びる。
- ・ソフトウェアの要求 PC スペックが高い。

以上のようなデメリットを解消するため、2016 年ごろより伸張してきた Augmented Reality (拡張現実) を実現するための技術に着目した。AR では、現実感を失わせないように表示機器と空間および物体の位置を相互に把握している必要がある。そのために必要な深度センサーや複数のカメラを機器に搭載する例が出現した。その中の1つである Project Tango (Google 社) で見学に転用できる機器がないか調査を続けていた。2017 年に入り、ProjectTango に対応したハードウェアである ZenfoneAR と3次元計測が可能な RTAB-Map 等のソフトウェアがリリースされたため、前述のスマートフォンを購入しデメリットを解消できるか見学を行った。



画像 4 Metashape で作成した愛知県豊橋市馬越長火塚古墳

ZenfoneAR + RTAB-Map を使用して

ハードウェアとして ZenfoneAR。ソフトウェアとして、RTAB-Map を使用した。3 次元計測の方式が ToF 方式となり、低照度下であれば小型の墳丘や崖面の横穴墓群の 3 次元計測も十分可能である。3 次元計測結果をリアルタイムで確認しながら移動することができ、石棺/石屋形なども容易に 3 次元データ化できる。3 次元計測に必要な時間も、10m 以下の横穴式石室や横穴墓であれば 5 分程度。15m を超える大型の横穴式石室でも 20 分以内に 3 次元計測データが得られる。SfM/MVS と比較すると、点群密度やテクスチャの精緻さで劣り、小型の石材や工作痕といったものは記録できない。

ZenfoneAR のみで行える 3 次元計測

ZenfoneAR 自体が通信機器であるため、RTAB-Map で処理した 3 次元データをインターネット回線を使用して Sketchfab (<https://sketchfab.com/>) 等にアップロードが可能となっている。例として、奈良県桜井市赤坂天王山古墳の見学時に行ったデータ共有のタイムテーブルを記載する。このような、短時間でのデータ共有が可能になれば、見学の状況を共有し有識者の意見を求めるといった使用方法も考えられる。

9:50 横穴式石室の 3 次元計測を開始

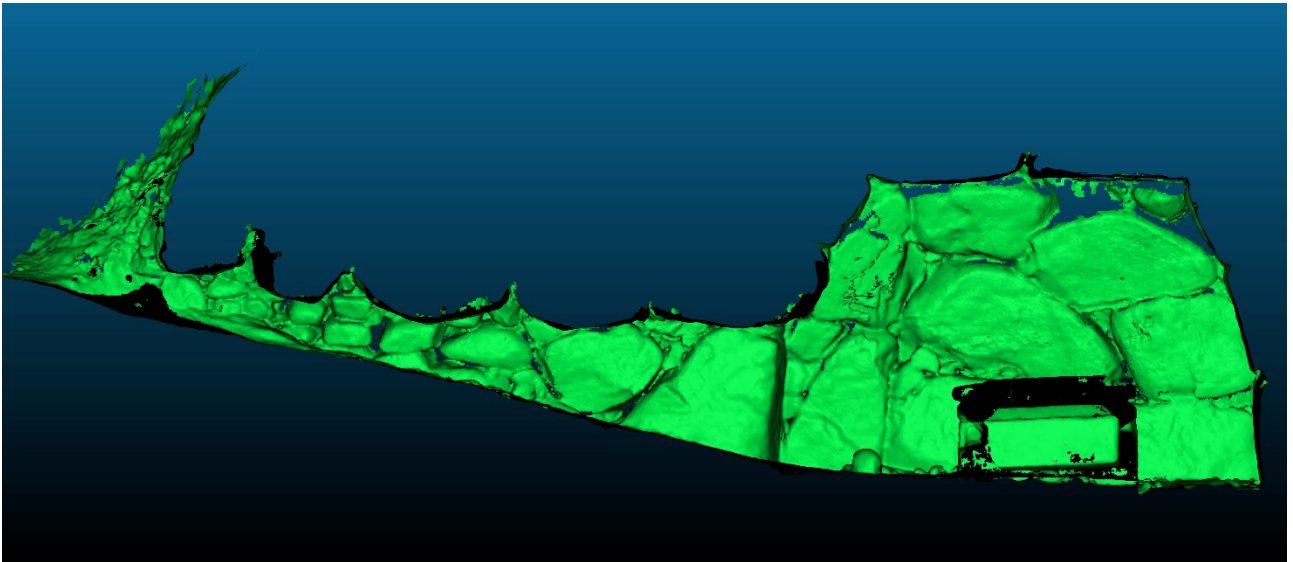
10:30 3 回の 3 次元計測が終了

10:40 優良データを選択し、スマートフォン上でデータ容量の削減を実施

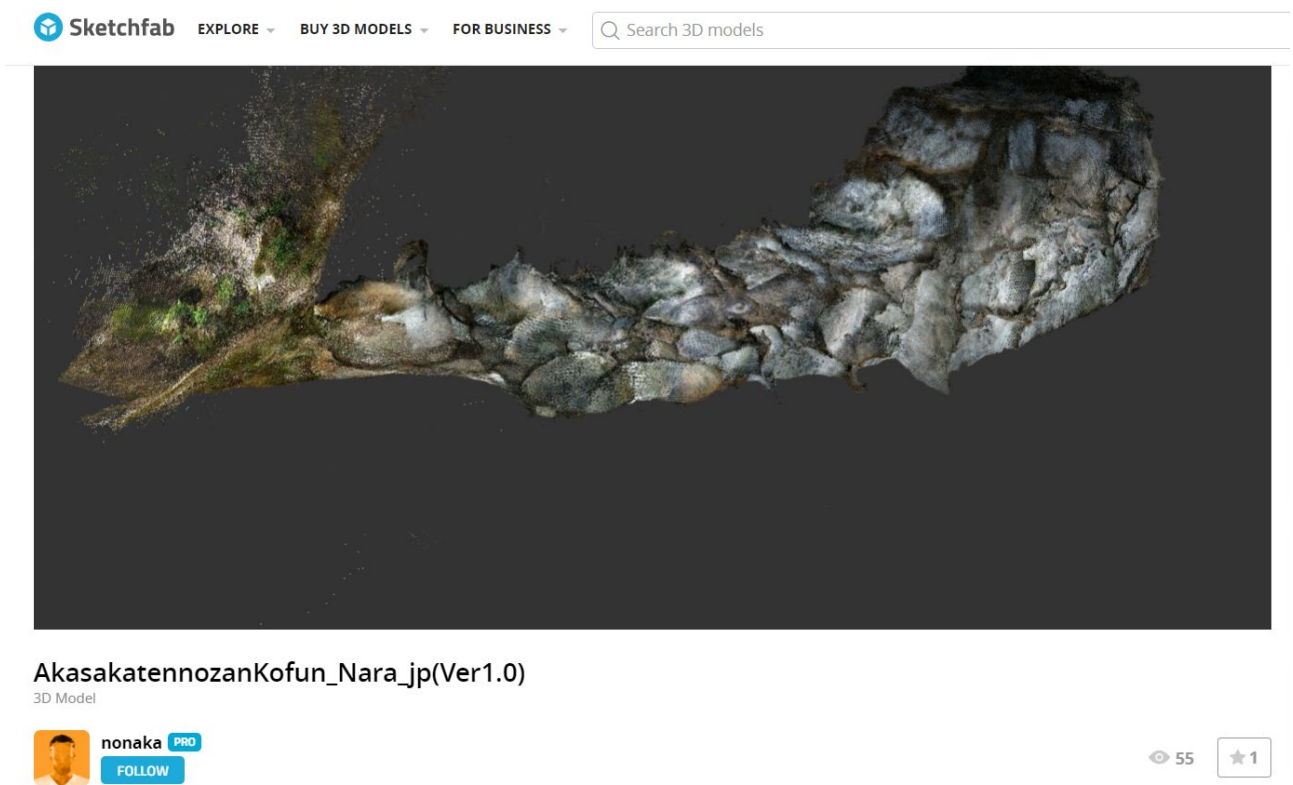
10:58 3 次元データを Sketchfab にアップロード。Facebook で共有リンクを公開

※実際にアップロードした赤坂天王山古墳の 3 次元データの Sketchfab リンクアドレス：

<https://skfb.ly/6JFYD>



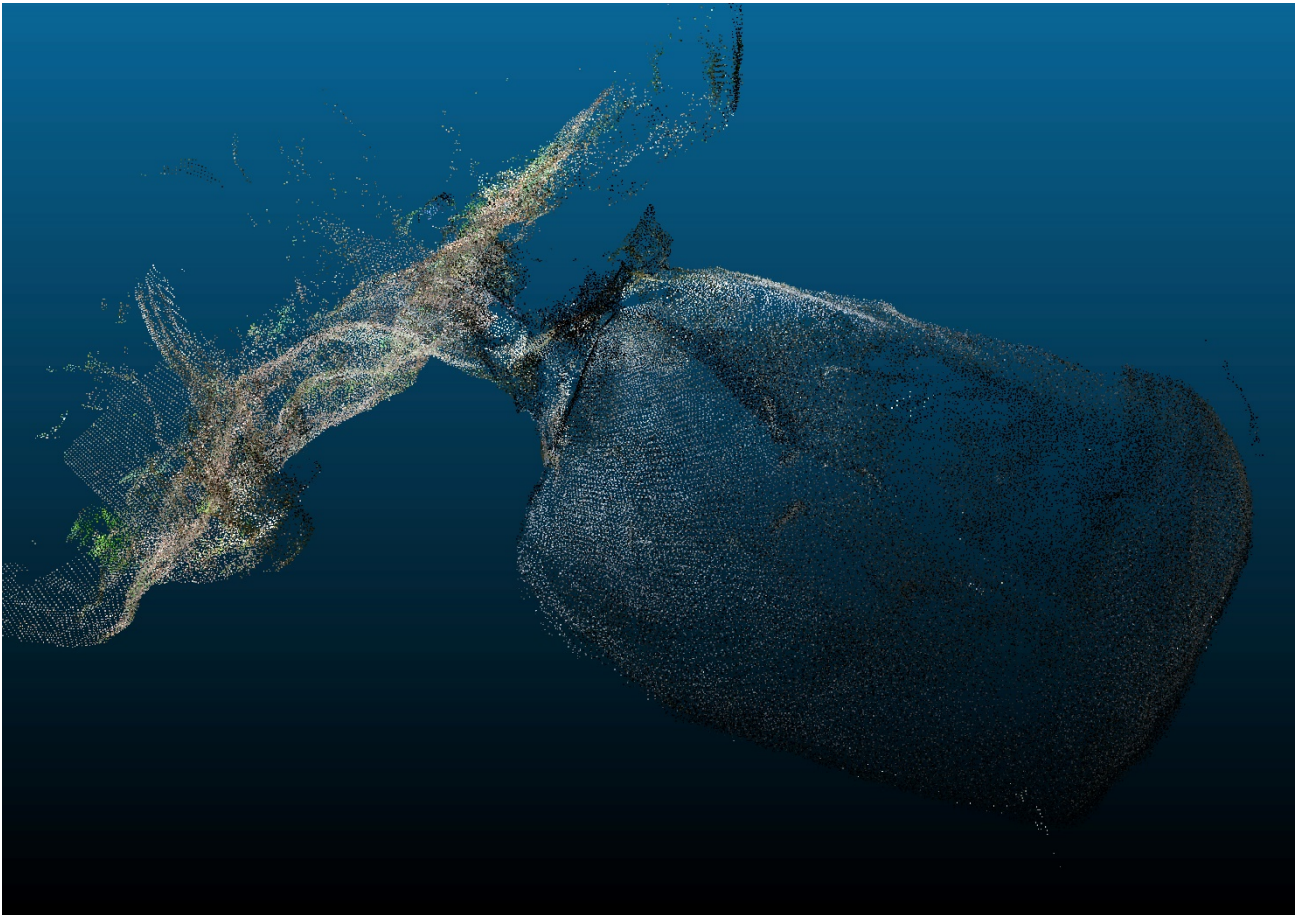
画像5 RTAB-Mapで作成した奈良県桜井市天王山古墳メッシュ



画像6 Sketchfab上の奈良県桜井市天王山古墳

機材自体が小型のスマートフォンであるため、人の入れない開口部であってもその先にある程度の空間があれば3次元計測が実施できる。茨城県日立市十王前横穴墓群10号墓では、20cmほどの開口部からZenfoneARを差し入れて回転させることで3次元計測を行った。また、奈良県桜井市谷首古墳では土砂の流入で空いた石材間の空間を3次元計測することで、石材の大きさを推定することが可能となった。

以上のように他の3次元計測機器とは異なる利点を持つものの、ProjectTangoが終了した



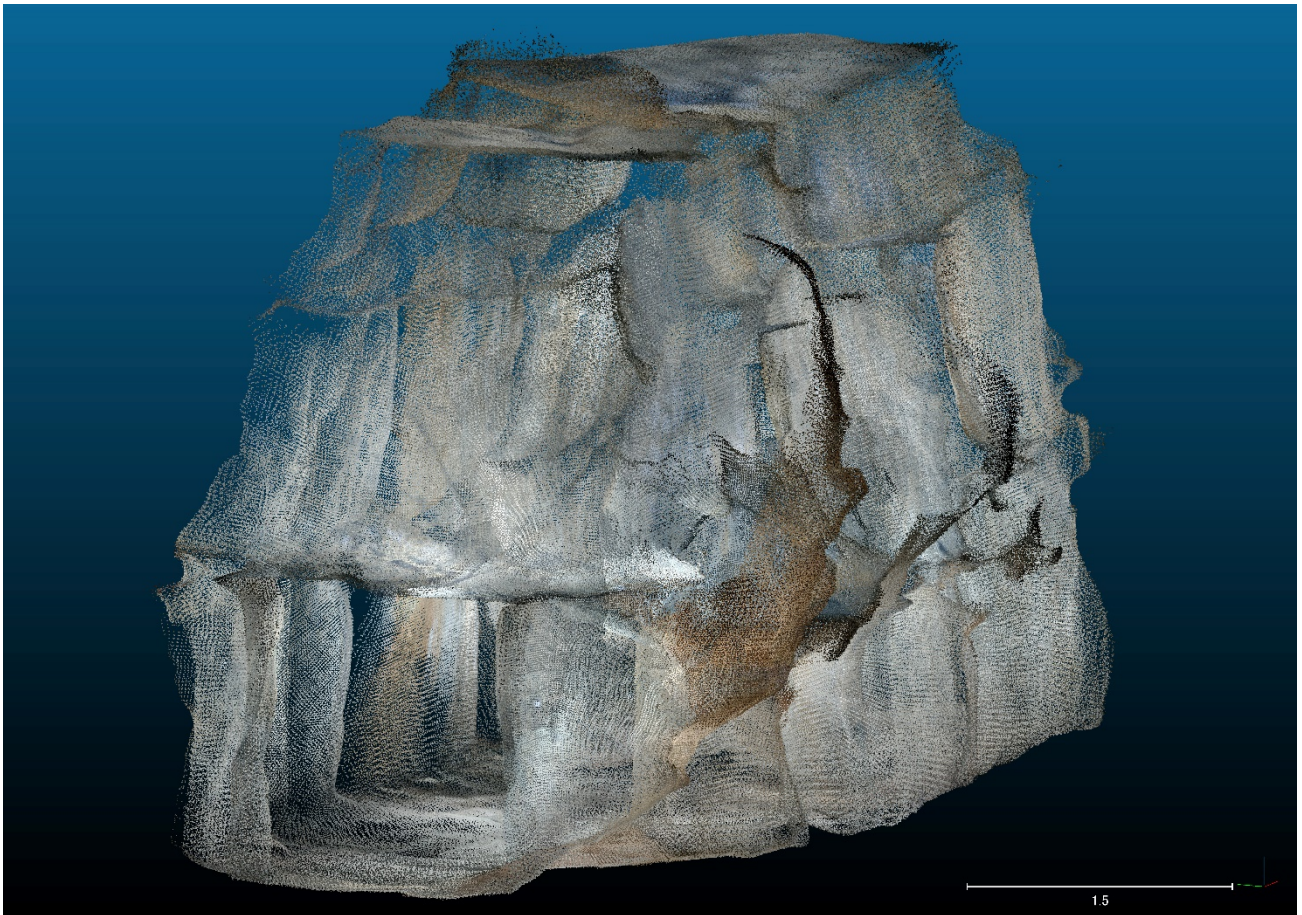
画像 7 RTAB-Map で作成した茨城県日立市十王前横穴群の 10 号墓

ことから対応したスマートフォンは今後発売されない。ZenfoneAR の AndroidOS は 7.0 で、Google の対応が打ち切られるのが通常のライフサイクルでいけば 3 年後の 2022 年。ハードウェアの保守期間も同様の時期に終了する。2022 年以降、使用できないわけではないが懸念は残る状態ではある。

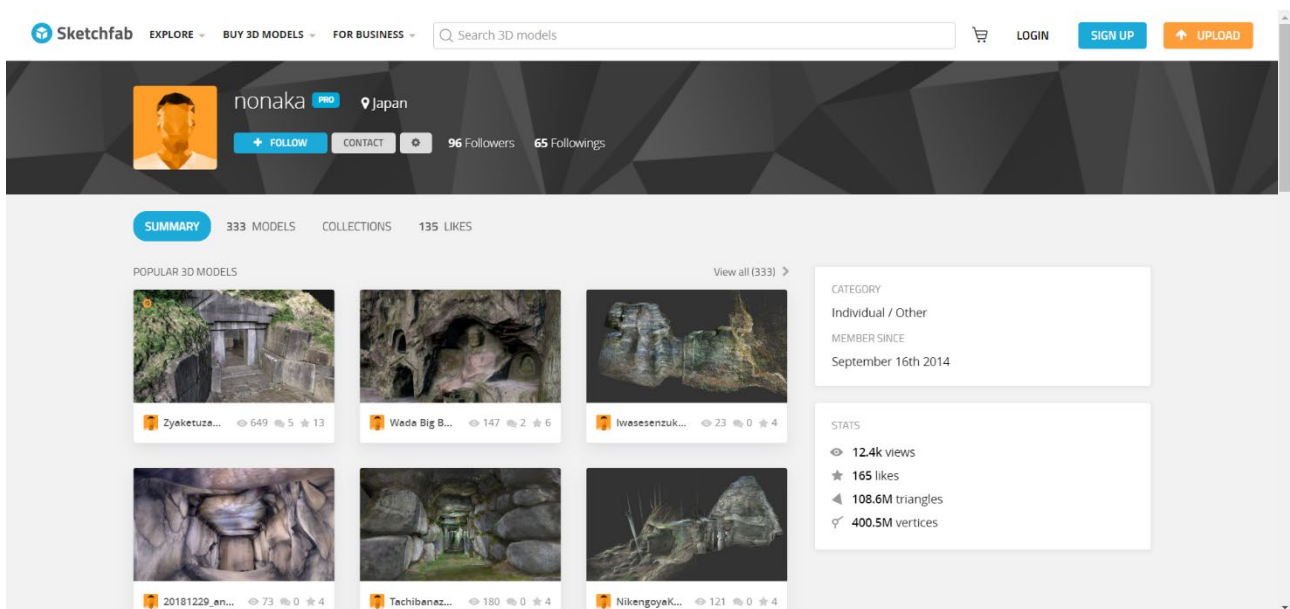
おわりに

紹介した 3 種類の手法の内、ZenfoneAR を見学に多用してはいるが他の機材が使用できないわけではない。特に SfM/MVS は、光を使用する機材が不得意とする直射日光下の屋外 3 次元化ができる・横穴墓の工作痕が記録できるなど、ZenfoneAR と重複しない機能が多い。横穴式石室や横穴墓群の状況によって、選択できる技術を広げていけるよう安価な技術の調査を続けていきたい。

また、見学開始から 5 年間で取得した 3 次元データの活用についても検討していく必要がある。現在、500 基を超える 3 次元データは、一部が Sketchfab に公開されているものの、大部分は活用されずに報告者の PC/NAS に保管されている。もし、これらのデータが考古学の研究・分析に耐えられるもので活用できるものであるならば、市民から研究者へのデータ流路を作る必要があるのかもしれない。



画像 8 RTAB-Map で作成した奈良県桜井市谷首古墳側壁



画像 9 Sketchfab nonaka アカウント・ページ
(<https://sketchfab.com/nonakasabu>)