

3D スキャン技術の応用による資源関連岩石の形状と物性の非接触計測

久保 大樹*・廣渡 響*・小池 克明*

Contactless measurement of shape and physical property of resource-related rocks using 3D scanning technology

Taiki Kubo*, Hibiki Hirowatari* and Katsuaki Koike*

*京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻 Department of Urban Management, Graduate School of Engineering, Kyoto University, Katsura C1-2-215, Kyoto 615-8540, Japan. E-mail: kubo.taiki.3n@kyoto-u.ac.jp (Kubo)

キーワード: 3D モデル, 非破壊検査, リモートセンシング, 岩石密度
Key words: 3D model, Nondestructive inspection, Remote sensing, Rock density

1. はじめに

3D スキャナは、近年急速に装置の小型化・高性能化が進んでおり、特に医療分野、土木・建築業界で積極的に導入が行われている（例えば、池田ほか, 2016; Woo et al., 2020）。さらには、Apple 社の iPhone に 3D スキャナ的一种である LiDAR カメラが搭載されるなど、個人でも使用可能な程度まで低価格化と普及が進んでいる。3D スキャナは、資源地質分野でも有効に活用できる。例えば、風化が進んだ脆い岩石サンプルなどの体積を非接触で計測することでその密度が求められ、これは各種物理探査結果との比較や水理地質構造の把握に活用できる。また、露頭の 3 次元形状をデジタル化することで、鉱物脈や亀裂の走向・傾斜を自動判定するシステムの開発も期待される（遠竹, 2019）。このような非破壊・非接触な計測装置の活用は、人為的な影響を及ぼさずに対象物のデータを取得できるだけでなく、作業のオートメーション化につながり、人員コストの削減、安全性の向上に貢献できる。さらには、今後新たな資源開発の対象として期待される、深海、火山地域、さらには宇宙など、人の立ち入りが困難な領域で利用される無人機に搭載するセンサの一つとしても重要な役割を持つ。

そこで本研究では、市販されている比較的安価な 3D スキャナを使用し、様々な形状・特徴を持つ岩石サンプルを対象として分析を行い、その適用可能範囲と将来的に期待される技術について議論する。

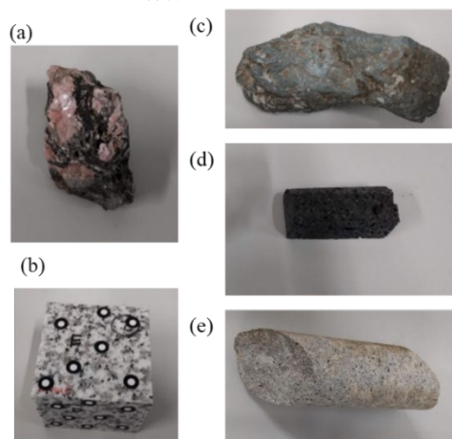
2. 測定装置

3D モデリング技術には複数の手法があるが、主要な原理は 3 種類に大別できる。すなわち、①赤外線などを照射してその反射を感知し、それに要した時間から距離計測を行う ToF(Time of Flight)方式、②複数台のカメラからカメラ間の距離、焦点距離、視差をもとに対象物までの距離を測定するステレオ方式、および③縦縞などパターン光を照射して、その歪みなどから対象の凹凸を計測するパターン光投影方式である。そのうち、本研究では目的に合致する小型性と細部までのスキャンが可能であるという利点から、①の ToF 方式を用いた Revopoint 社製の 3D スキャナ POP3D を使用した。POP3D は幅 15 cm、重量 200 g 程度の小型で可搬性に優れている。これは赤外線センサと光学式カメラを搭載し、前者で対象物の形状、後方で RGB 情報が取得される。

測定対象物、またはカメラ本体を移動させて複数の角度から撮影を行い、形状の特徴に基づいて画像の結合処理を行うことで 3D モデルが作成される。モデルの解像度は、最小で 0.3 mm である。

3. 岩石サンプルの 3D スキャン

3D スキャン技術が応用できる範囲を検討するため、花崗岩や菱マンガン鉱石など、異なる色彩や形状の特徴を持つ数種類の岩石サンプルの測定を行った。使用したサンプルの例を第 1 図に示す。撮影には第 2 図に示すように回転台（POP3D 付属）と、撮影ブースを使用した。さらにスキャナを 3 cm、7 cm、15 cm の台の上ののせて数パターンの角度をつけるとともに、対象物を回転台に乗せる際にスキャナが認識しない黒色のワイヤなどを用いて置き方の角度を変えることで、スキャンされない影の部分ができないように注意した。このような様々な角度からの撮影を含め、1つのサンプルに対して約 10 分程度の作業によって、点群データが取得される。点群データは、mm 単位に変換された xyz 座標と RGB 情報が格納されている。POP3D 付属の解析ソフトウェアを使用して点群データからメッシュデータへの変換と、欠損部分の穴埋め処理を行うことにより、Ply 形式の 3D ポリゴンデータが作成される。



第 1 図 測定に使用した岩石サンプルの例: (a)菱マンガン鉱石, (b)稲田花崗岩ブロック, (c)大葛変朽安山岩, (d)砥川溶岩, (e)土岐花崗岩ボーリングコア。

4. 3Dモデルの検証と応用

複数のサンプルで3Dスキャナによる撮影を行った結果、黒色の砥川溶岩や光沢のある黄鉄鉱などに対しては、適切なモデルの作成ができなかった。これは、形状の計測に使用する赤外線が吸収または散乱してしまうためと考えられる。また、ブロック成形された試料や表面に凹凸の少ないボーリング試料についても追跡できる表面の特徴が少なくスキャンが困難であったが、POP3D付属のマーカーを表面に貼り付けることで対処できた。ただし、当然ながらマーカー下の形状などは計測できず、ソフトウェアによって穴埋め処理が行われるため、測定誤差は大きくなる。作成された大葛変朽安山岩の3Dモデルを第3図に示す。各種3Dグラフィックソフトウェアを用いて、得られた3Dモデル(Ply形式)を編集や分析できる。モデリング精度を検証するため、3Dモデルから計測された体積と浮力法による実測体積を比較した。誤差は最大で2%程度であり、簡易測定でありながら十分な精度の結果が得られていることが確かめられた。

3Dスキャナによって得られたモデルの活用例として、点群データとともに記録されている光学カメラのRGB情報を基に、特定鉱物の抽出を行った。第4図(左)に示す菱マンガン鉱石サンプルの3Dモデルは454,978点の点群データで構成されており、各点にRGB値が関連付けられている。このデータ群からR(赤)の上位70%をしきい値として、母岩と菱マンガン鉱の区分を行った。第4図(右)が上位70%を抽出したモデルであり、点群データ全体の約10%となった。表面のみの情報ではあるが、このような特定の鉱物割合の抽出は、鉱石品位の概算などに利用できと期待される。

また、座標付きの点群データは、他の計測結果と統合することが容易な点も大きなメリットである。第5図は、第4図と同様にRGB値に基づいて菱マンガン鉱石の鉱物を数種類に区分し、それぞれに分光反射計で計測された各波長での反射率を関連付けたモデルである。この処理により Fe^{3+} 、OH、 H_2O 、 CO_3^{2-} などによる電磁波の吸収を表すことができるので、鉱物識別精度が向上する。このように物性データの3次元構造を可視化することにより、鉱物分布の異方性などを考慮した複雑な数値モデルの構築が容易となるだけでなく、インターネットを介した研究者間の情報共有や貴重なサンプルのライブラリ化などでも活用することができる。

5. まとめ

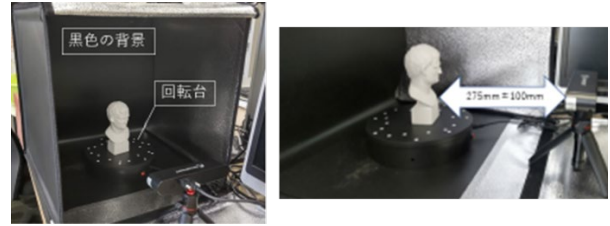
本研究では、性能の向上と普及が急速に進んでいる小型3Dスキャナの資源地質分野への活用を目的に、その適用可能性を検証した。岩石の種類によって適用の難しい場合もあるが、安価な小型3Dスキャナであっても誤差2%以内の精度の高い計測と3Dモデルの構築を行うことができた。得られた3Dモデルの点群データを利用し、特定の鉱物の抽出や他の計測データとの統合といった展開が可能であり、今後の資源探査分野で必要とされるコストの削減や無人機の活用に応用できる技術として期待される。

文献

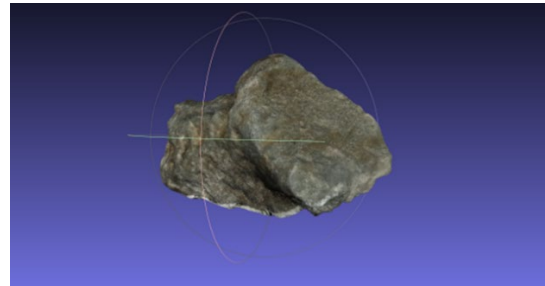
- 池田雄一, 金子智弥, 坂上肇 (2016) 建築工事における3次元点群データの活用効果の検証, 大林組技術研究所報, vol. 80, pp. 1-8.
- 遠竹行次 (2019) デジタル露頭モデルの技術動向と石油探鉱への応用, 石油技術協会誌, vol. 84, pp. 150-159.
- Woo, K. S. and Worboys, G. (2020) Geological monitoring in protected areas, *International Journal of Geoheritage and Parks*, vol. 7, pp. 218-215.

謝辞

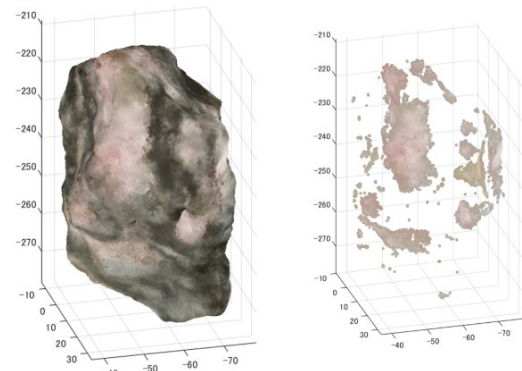
本研究の一部は、一般社団法人 資源・素材学会による長期テーマプロジェクト研究課題として助成を受けたものである。ここに謝意を表す。



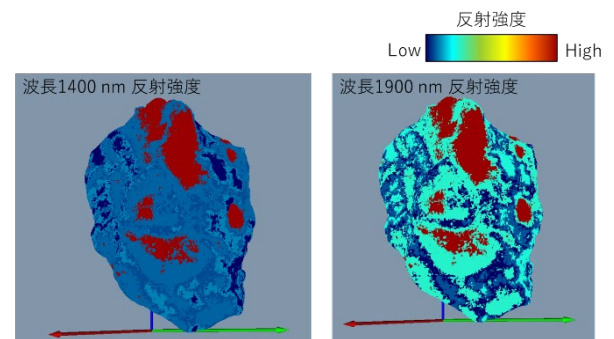
第2図 POP3Dによる撮影の様子



第3図 大葛変朽安山岩の3Dモデル



第4図 菱マンガン鉱石の3Dモデル(左)とRGB値のしきい値処理によって抽出された菱マンガン鉱の分布(右)



第5図 RGB値を基に分類した菱マンガン鉱石の各鉱物に、短波長赤外域での反射強度を重ねたモデル