

ドローン空撮と機械学習を融合した新しい地質情報統合技術の開発

Novel Method for Geoinformatics by Integrating Drone Photography and Machine Learning

九州大学大学院工学研究院 助教 喜岡新

(研究計画ないし研究手法の概略)

防災や地下資源評価において地表面表層や地下構造の理解は肝要である。従来の地表面表層や地下構造の把握では、地上に露出した岩石(露頭)の直接観察・分析あるいは物理探査や坑井掘削による地下情報の取得に重点が置かれてきた。しかし、このような方法では、データ取得のコストが高くなること、あるいは、断片的なデータしか取得できない等の問題点がある。本研究課題では、露頭の表面地質情報を高精度カメラ搭載ドローンによって計測し、取得したドローンの画像データに機械学習を応用することにより、安価で広域的に膨大な地質情報を統合する新手法の開発を目的とした。本研究は、露頭表面の諸パラメータ(色調、輝度、構造、ラギッドネス等)をもとに地表面の地質情報を広域的に抽出するという、既存研究の枠組みに無い課題を掲げた。近年急激に高揚している UAV 技術と機械学習・高速画像解析技術といった AI 技術を駆使する本研究手法の確立によって、比較的 low コストで広域的に地表面の地質情報の取得が可能となり、土木分野にブレイクスルーをもたらすと考えた。

本研究では、地質情報を反映している岩石露頭表面の諸パラメータの理解が根幹となる。よって、ドローン空撮・計測および岩石試料の測定を両輪として、下記の方法1~4を遂行することにより、露頭スケールでの地質情報統合手法を開発することを目指した(図1)。

【方法1】フィールド調査、ドローン空撮・測定：フィールド調査により本研究に最適な露頭を探し、高解像度カメラ搭載ドローンで空撮した。調査対象地は福岡県、秋田県、和歌山県内とした。

【方法2】ドローンデータの解析：方法1で取得したドローン画像から点群データを作成し、岩石露頭表面のパラメータ(色調、輝度、構造、ラギッドネス等)を高空間分解能で算出した。

【方法3】岩石試料の採取：方法1でのドローンデータ取得地点にてハンドコアドリルを用いて岩石試料を採取する。岩石試料から物理特性値を取得した。

【方法4】全データを使った画像解析・機械学習：方法2・3で得た岩石表面の形状値・物性値、一部取得済みの地質学的特性データ(地質構造、岩相、粒度など)を組み込み、方法1・2で得た膨大なドローン3次元データに対して高速画像処理および機械学習を行った。九州大学スーパーコンピュータシステム IT0 の GPU 環境を用いて解析した。

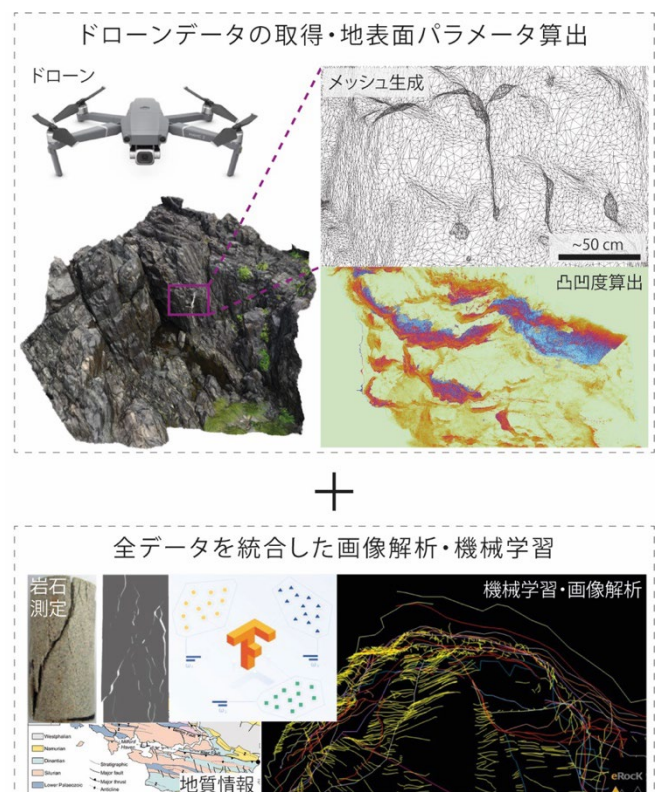


図1 研究手法のイメージ

(実験調査によって得られた新しい知見)

本研究では福岡県糸島半島野北海岸と秋田県男鹿半島鶴ノ崎海岸の岩石露頭を調査対象とした(図2)。岩相および露頭表面状態が全く異なる2つの調査対象地域において、ドローン空撮による高解像度画像の連続取得を UAV-Structure from Motion (SfM)/Multi-view Stereo (MVS)によって行った。画像取得時のドローンと露頭表面の距離は1.0 m以内であった。取得した高解像度画像のうち、約150枚の画像を画像アライメントに用いることによって、3次元露頭モデルを作成した(図3)。画像アライメントではGPU処理により高速化させ、この時のオーバーラップ率は80%であった。野北海岸および鶴ノ崎海岸で作成した3次元露頭モデルの空間解像度は、それぞれおよそ0.6 mm/pix, 0.5 mm/pixとなった。

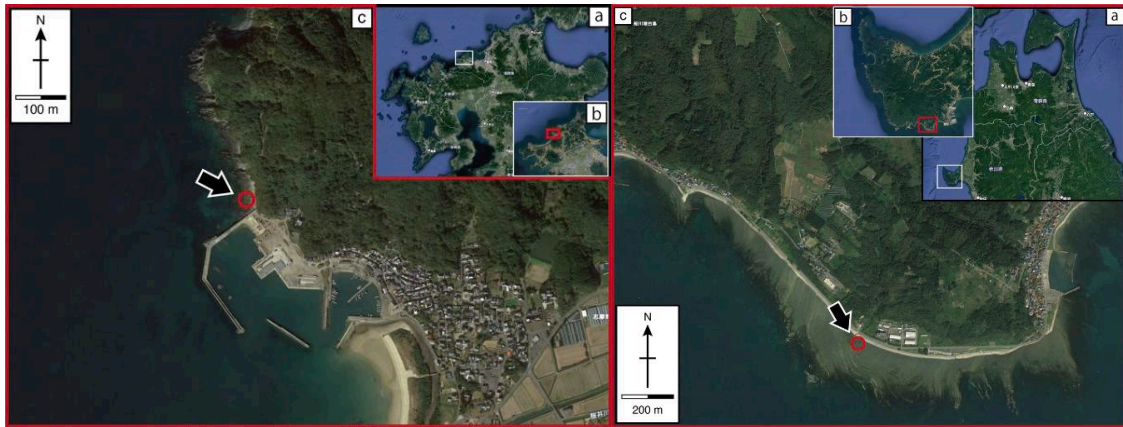


図2 (左)福岡県糸島半島野北海岸。(右)秋田県男鹿半島鶴ノ崎海岸。

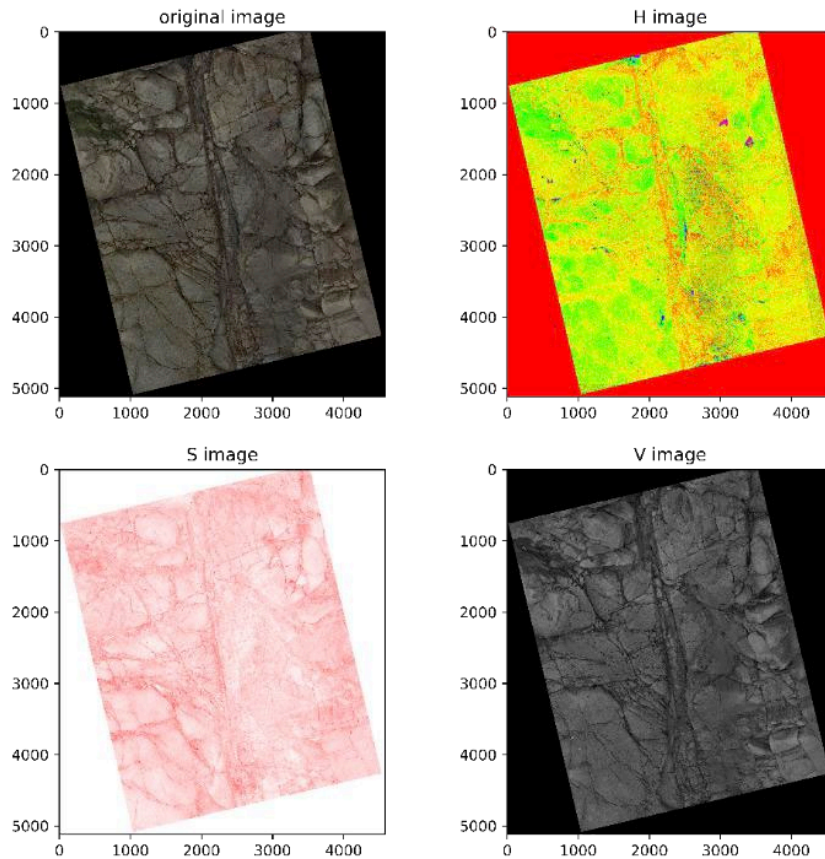


図3 (左上)野北海岸でのドローン空撮によって作成した3次元露頭モデル。(右上)H成分画像。(左下)S成分画像。(右下)V成分画像。

次に、3次元露頭モデルから、Terrain Ruggedness Index (TRI)を算出した。TRIは

$$TRI = \sum_{\alpha, \beta} \frac{|Z_{i+\alpha, j+\beta} - Z_{i, j}|}{8}$$

$Z_{(i, j)}$: ピクセル(i, j)での高さ

α : index (-1, 0, 1)

β : index (-1, 0, 1)

のように定義される。3次元露頭モデルの空間分解能を変化させたときの TRI 値の分布は図4のようになった。空間解像度が大きくなるほど TRI 平均値は単調的に増加することが確認できた。そして、TRI が取り得る範囲が異なる 2 調査地域において TRI 指標を扱うために、各調査領域での TRI 最大値を加味することにより、 G_{TRI} という新しい指標を定義した。さらに、作成した 3次元露頭モデルから HSV 色空間画像を作成し、 G_{TRI} と HSV 成分を比較した。その結果、野北海岸および鶴ノ崎海岸の両調査領域において、 G_{TRI} は V 成分と最も良い相関が見られた。よって、3次元露頭モデルにおいて G_{TRI} は重要なパラメータであることが示唆された。

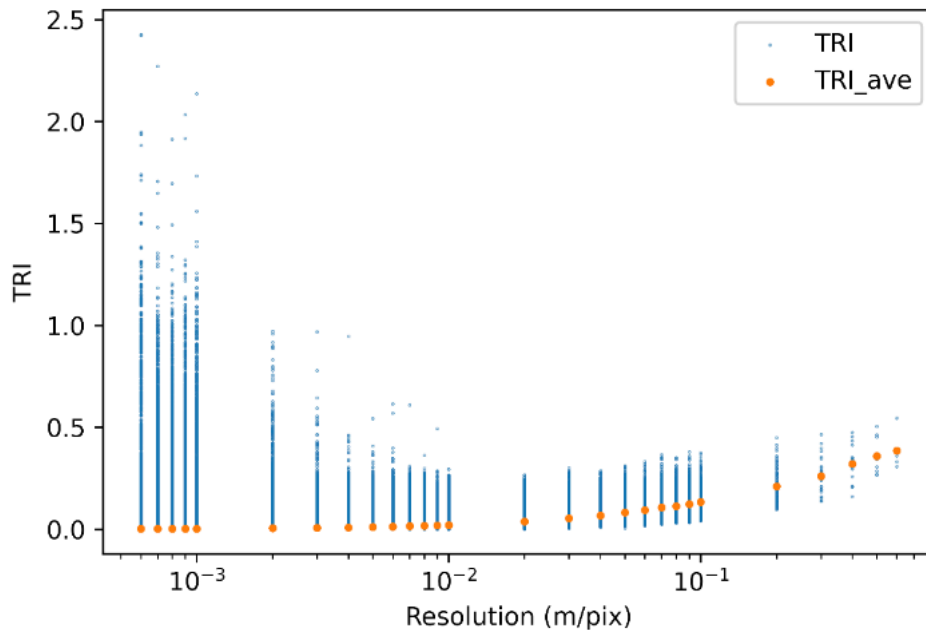


図4 野北海岸を例とした空間解像度の違いによる TRI (青)と TRI 平均値(橙)の変化

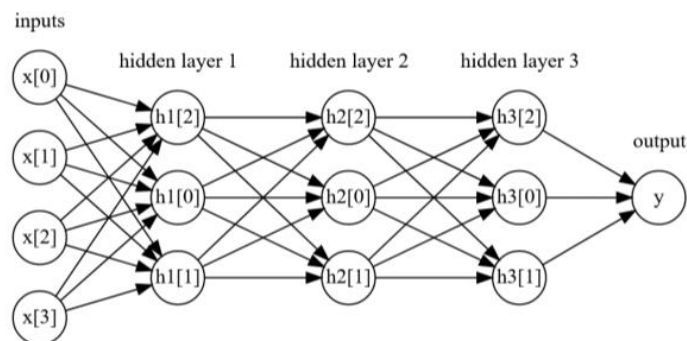


図5 多層パーセプトロン

そこで G_{TRI} という新たな指標を用いることで、ある調査領域の 3 次元露頭モデルから、異なる調査領域の 3 次元露頭モデルの G_{TRI} が推定可能かどうかを検証することにした。今回は、多層パーセプトロンアルゴリズムによる機械学習(図 5)によって、野北海岸露頭の 3 次元露頭モデルを教師データとした場合に鵜ノ崎海岸露頭の G_{TRI} の推定精度が高いかどうかを調べた。今回の機械学習では、3 次元露頭モデル全域を機械学習対象としており計算サイズが膨大なため、九州大学 ITO スーパーコンピュータシステムを用いた。 G_{TRI} との相関が良い V 成分データを用いた結果、鵜ノ崎海岸露頭の G_{TRI} について機械学習から大局的に推定可能であることが分かった(図 6)。例えば、大きなクラックや凸凹度については機械学習による復元精度が高かった。一方で、実際は凸凹度が非常に小さい場所などは機械学習結果では正しく再現できていない点や、機械学習によって推定された G_{TRI} の範囲が狭くなっている点など、機械学習による正答率は高くなかった。しかしながら今回の結果は、岩相や表面環境が全く異なる露頭であっても、V 成分から露頭表面のミリメートルスケールの凹凸度の指標である G_{TRI} が一次的に評価可能であることを意味する、興味深い結果であると考えている。

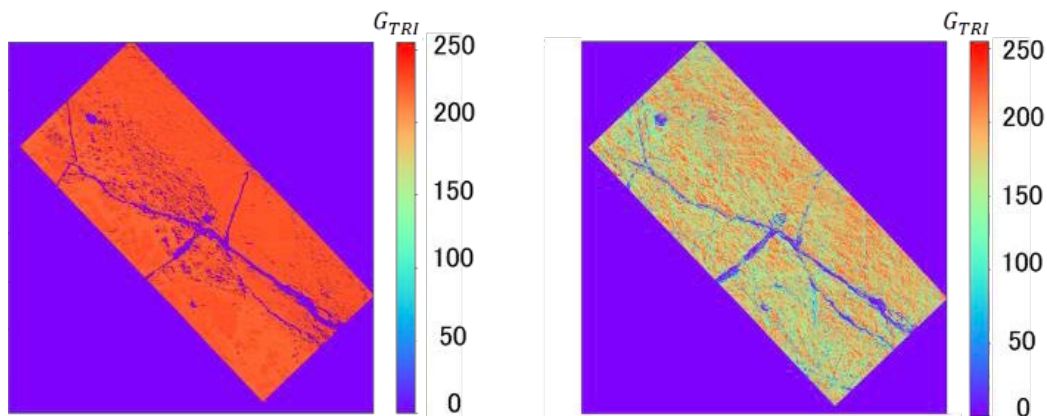


図 6 (左)機械学習によって推定された鵜ノ崎海岸露頭の G_{TRI} 。(右)鵜ノ崎海岸の 3 次元露頭モデルから生成した DEM から算出された G_{TRI} 。

本研究で得られた成果より、ドローンで取得可能な空間分解能スケールでの表面凹凸度は、岩石学的に何らかの意味を持っていることが示唆された。よって、ドローン空撮・画像解析・機械学習を融合した凹凸度の指標である G_{TRI} は新しい重要な地質情報となり得ることが期待される。現在、和歌山県の海岸の露頭などで採取したドローン画像と岩石試料についても同様の解析を始めており、様々な地質・地形環境場におけるミリメートルスケールの広域的な凹凸度の理解およびその地質学的解釈を進めて行く予定である。

(発 表 論 文)

Nakamura, T., Kioka, A., Yamada, Y., Quantifying the Surface Ruggedness of the Rock Outcrops by Using 3D Digital Outcrop Models, Proceedings of the SPWLA 27th Formation Evaluation Symposium of Japan, Paper SPWLA-JFES-2022-K, 1-9 (2022).
 中村拓夢・喜岡新・山田泰広. 機械学習による三次元デジタル露頭モデルを用いた凹凸度推定. 日本惑星科学連合 2022 年大会, SCG51-02 (2022).