

深層学習を用いた空中写真からラプラシアン値の予測

矢野 敦久 井上 遥 木下 響（国土交通省 九州地方整備局 九州防災・火山技術センター）

倉上 健 古木 宏和 田方 智（日本工営株式会社）

○藤田 達大 荒木 光一（五大開発株式会社）

1 はじめに

火山噴火に伴い火山灰や火砕流が堆積した流域では、噴火後の降雨時に土石流が発生しやすくなることが指摘されている¹⁾。地表面に火山灰が堆積することで浸透能が低下し、降雨時に表面流が発生しやすくなる。斜面や河道を侵食しながら流下することで形成されるリル・ガリーといった侵食地形が土砂流出の主要因の一つとされている²⁾。このため、降灰後に侵食地形の形成・発達箇所を迅速に把握することが重要である。侵食地形の判読には、ラプラシアン地形解析図が有効である。ラプラシアン値が正の領域は凹地形を示し、表面流が集中する場所である。負の領域は凸地形を示し、火山灰が堆積している場所である。先行研究^{3),4)}では、深層生成モデル pix2pix を用いた侵食地形の抽出が行われている。空中写真を入力として侵食地形の発達度合いを濃淡で示した画像を出力し、ガリー地形の抽出において実用的な精度を達成している。しかし、pix2pix の出力は画像であるため定量的な評価が困難であり、1枚の空中写真から直接ラプラシアン値を予測することが望ましい。

本研究では、先行研究を発展させ、ラプラシアン値を直接予測可能な AI モデルの構築を目的とした。従来の pix2pix による定性的な画像出力と比べて、土砂量の評価が容易になると考えられる。なお、空中写真から深層学習を用いた画像分類やセマンティックセグメンテーションを行う研究は数多く存在するが、空中写真から地形量を連続値として予測する試みは少ない。本研究の概要を図1に示す。鹿児島県桜島の空中写真を用いて深層学習モデルによるラプラシアン値の予測を行った。

2 学習に使用した空中写真とデータ処理

本研究では、鹿児島県桜島の平成25年から平成28年の4カ年分の空中写真とラプラシアン地形解析図を用いた。平成25年から平成27年の3カ年分のデータを教師データとし、平成28年のデータを検証データとした。

入力画像サイズおよび出力サイズは、先行研究³⁾においてリル・ガリー地形が表現されるスケールが検討されていることを踏まえ、桜島全体の空中写真とラプラシアン地形解析図を1辺200mで256×256ピクセルの正方形に分割した。その際、24ピクセルずつスライドさせることでデータ数を増やした。ラプラシアン値は、教師データの約99%が-5から5の範囲に含まれることから、この範囲でクリッピング処理を実行した。

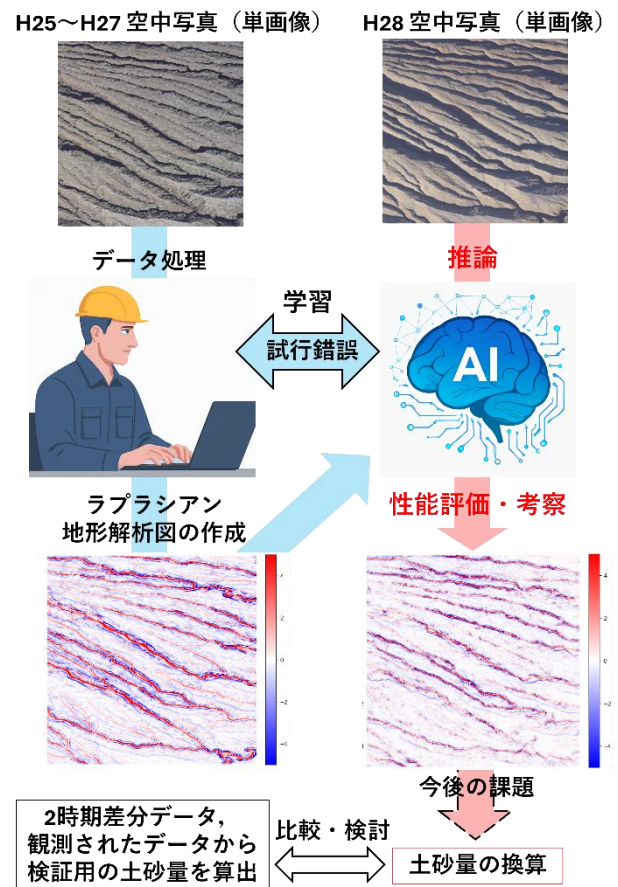


図1 本研究の概要

植生が繁茂している領域では、空中写真からラプラシアン値を推定することは困難である。そのため、画像処理により緑色領域が50%以上を占める画像をデータから除外した。また、影による認識精度低下を軽減するため、レティネックス理論に基づいた画像補正⁵⁾を行った。教師データ数は36,746枚、検証データは171枚となった。学習の安定化と収束の促進を図るため、入力画像の標準化、出力値の正規化を実施した。

3 構築した深層学習モデルと計算設定、評価指標

本研究では、U-Net⁶⁾と呼ばれる深層学習モデルを用いてラプラシアン値の予測を行った。U-Netは一般にセマンティックセグメンテーションに用いられるが、最終層のチャンネル数を1とし、損失関数に平均二乗誤差を採用することで連続値の予測に対応させた。教師データを訓練用(80%)と評価用(20%)に分割し、評価誤差が最小となるエポックのモデルを最終モデルとして採用した。また、学習時のデータ拡張は、水平・垂直反転を実施し、最適化手法はAdamを用いた。

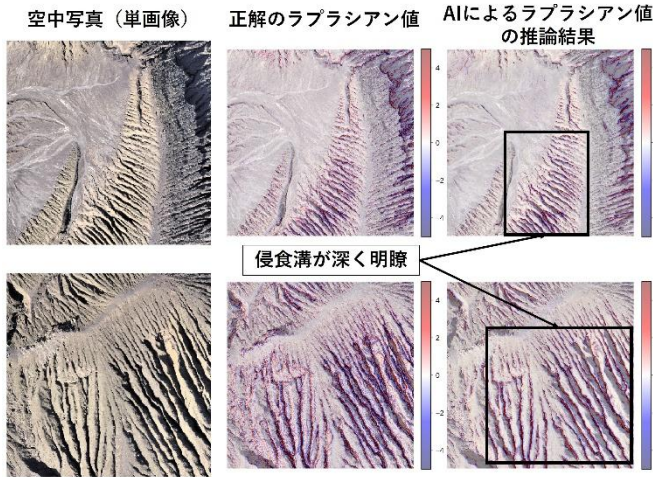


図2 推論精度が高い例

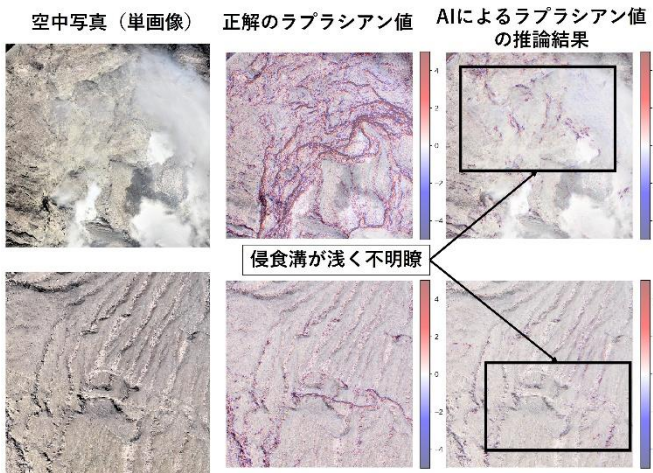


図3 推論精度が低い例

4 AIを用いたラプラシアン値の推論結果

モデルの出力が連続値の場合、精度評価には平均二乗誤差が一般的に用いられる。しかし、ラプラシアン値の分布はゼロ付近に集中しているため、モデルがゼロに近い値を出力するだけで二乗誤差が小さくなり、視覚的な評価との乖離が生じる。そこで本研究では、相関係数を精度評価指標として採用した。

図2は相関係数が0.4以上の高精度な推論結果を示している。一方、図3は相関係数がほぼゼロの低精度な推論結果である。正解ラプラシアン値とモデル推論結果を空中写真に重ねて表示している。ヒートマップは赤色が凹地形（ラプラシアン値大）、青色が凸地形（ラプラシアン値小）を示す。図2は視覚的に侵食溝が明瞭で深い地形であり、モデルが推論しやすい条件であったと考えられる。相関係数が0.3以上の結果は視覚的にも概ね良好な精度を示した。対して図3は、視覚的に侵食溝が浅く不明瞭であるため、推論精度が低下したと考えられる。また、図4に示すように、植生により侵食溝が隠された領域において、視覚的に精度が低い事例が確認された。このように、侵食溝の明瞭さと推論精度には対応関係が見られ、モデルの予測結果は視覚的な評価と概ね整合していた。

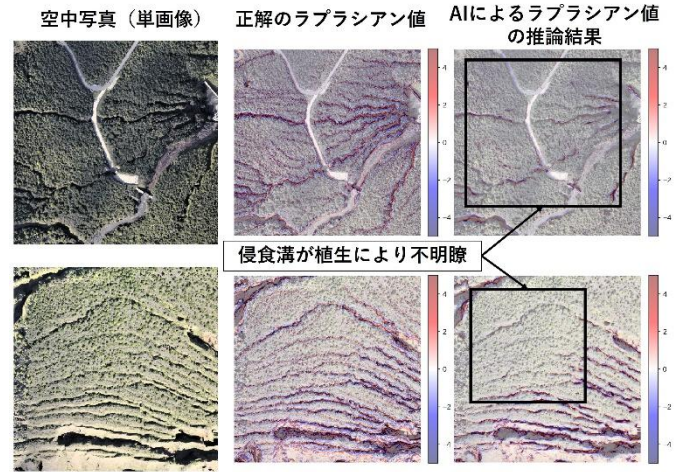


図4 植生により侵食溝が隠された例

5 まとめ

本研究では、空中写真からラプラシアン値を直接予測可能なAIモデルを構築し、以下の知見が得られた。

- (1) 相関係数0.3以上の画像において、視覚的にも概ね良好な予測精度を確認した。特に、侵食溝が明瞭な地形では高精度であった。
- (2) 侵食溝が浅い地形では推論精度が低下した。また、植生により地表面が覆われた領域では推論精度の低下は不可避である。
- (3) 精度評価指標として相関係数を採用することで、視覚的評価と整合性のある評価となった。

今後の課題として、浅い侵食溝における推論精度の向上、推論値からの土砂量の評価、解像度が予測精度に与える影響の評価、他火山地域への適用性検証が挙げられる。

参考文献

1. 池谷浩：雲仙・水無川の土石流発生機構について，新砂防，Vol.47，No.2，p.15-21，1993.
2. 山越隆雄・仲野公章・渡正昭・水山高久・千葉達朗：2000年三宅島噴火後の雄山山腹斜面におけるガリー形成特性，砂防学会誌，Vol.55，No.5，p.40-48，2003.
3. 堤宏徳・岡崎敏・山本陽子・古木宏和・田方智：地形解析図を教師とした深層学習による空中写真からの侵食地形抽出の試み，2019年度砂防学会研究発表会概要集，p.709-710，2019.
4. 古木宏和・田方智・手塚咲子・熊井教寿・黒木隆・姫野徳人：深層学習による空中写真からの侵食地形判読-桜島を教師データとした他火山への適用性，第20回建設コンサルタント業務研究発表会，2020.
5. Ana Belén Petro, Catalina Sbert, Jean-Michel Morel: Multiscale Retinex, Image Processing On Line, Vol.4, pp.71-88, 2014.
6. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, Thomas Brox: U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation, Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention, Springer, LNCS, Vol.9351, pp.234-241, 2015.