

微地形表現図の AI 画像診断による落石斜面の不安定性類推

アジア航測株式会社	正会員	○北村 啓太郎
西日本旅客鉄道株式会社	正会員	高馬 太一
アジア航測株式会社	正会員	服部 聡子
アジア航測株式会社	正会員	高山 陶子

1. はじめに

鉄道・道路の災害の未然防止、被害の最小化には、沿線斜面、土工区間を広く俯瞰的に診る防災・減災の観点が必要である。鉄道では土工等設備検査で斜面防災カルテ¹⁾、道路では道路防災点検で安定度調査表、防災カルテ²⁾が作成・運用され、まずは実現場の入念な目視調査により落石や斜面崩壊、土石流等の要因を記録・スケッチする手順で、災害リスクの特定・評価・対応（防護設備や斜面安定工、降雨時運転規制、事前通行規制などの対策）が進められてきた。

一方で斜面や地山は、降雨・地震、風化・侵食等の作用により経時変化し、不安定化する。近年は、その対応として航空レーザ計測データ等に基づく微地形表現図を活用し、空間の地形変化をデータドリブンで把握、数値化する手法に期待が高まっている。

そこで筆者らは、未知の落石リスクの特定を目的に、既知の落石リスクに対する評価軸（カルテの記録と不安定性の評価標準）から教師データセットを構築し、落石斜面の不安定性（高いか否か）を類推する画像診断手法を検討した³⁾。微地形表現図を入力する深層学習は、自動地形判読の研究⁴⁾が先行するが、現地斜面を観察し評価したカルテを参照し、不安定性のラベルを付与して画像分類を適用した例はない。

本稿では、この“露岩診断モデル”について概説するとともに、根幹となる教師データセットの分析を行い、AI の診断に対する説明性について考察する。

2. 露岩診断モデルの概説

露岩診断モデルは、斜面防災カルテ¹⁾に記録された落石斜面の不安定性ランクと露岩写真、その被写体位置を微地形表現図上に投影した画像の3つから成るデータセットを備える。このうち入力するデータ

は切り出した微地形表現図（地上56m×56mあるいは28m×28mの範囲：図-1）で、露岩写真は診断結果の妥当性評価に使用した。露岩診断の目的は、人が現地を確認する前に不安定性の高い領域を絞り込むこと、逆に上方を含め安定した斜面を仕分けることにある。ゆえに診断結果は、不安定性の高い「a」か「aでない」の二択でよい。当モデルでは画像に「a」、「b」（aでない）のラベルを付与（図-1）し、出力を $X_a=100-X_b$ （%）の関係式で設計した（ X_a ：不安定性aの確度、 X_b ：aでない確度）。落石斜面の不安定性は、現地・現物では人の判断に頼る指標であるため、AIの出力を定量的に導くネットワーク⁵⁾は実用性が高い。二項分類の設計上、閾値は50%としたが、人が見て「a」と「b」で迷う、個人差が生じる落石斜面も実在する（非学習）。

「b」のダミー（安定、露岩なし）を含む計1034枚（a：707枚、b：327枚）のデータセットで学習・検証した結果、精度指標のF1値は94%に達した³⁾。

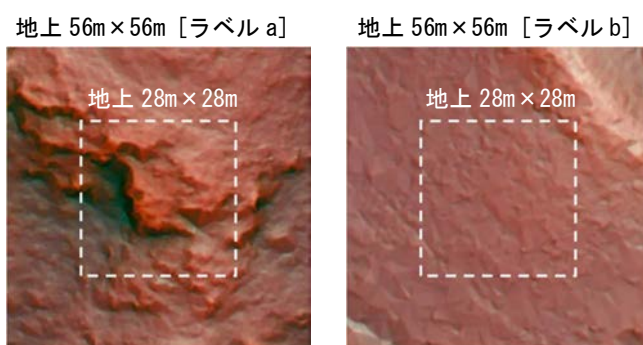


図-1. 画像診断の空間スケールとラベル a/b の例

3. AI の画像診断結果に対する説明性の確保

本研究では、露岩診断モデルを他地域の落石斜面に転用する展望を見据え、画像診断結果に対する説明性を確保する目的で、教師データセットの入力画像側に焦点を当てた(1)～(3)の検証を実施した。

キーワード 微地形表現図、深層学習、画像診断、落石斜面、不安定性、説明性

連絡先 〒530-6029 大阪府大阪市北区天満橋 1-8-30 OAP タワー

アジア航測株式会社 社会インフラマネジメント事業部 鉄道事業推進部 TEL 06-4801-2256

(1) AI が注目した画像領域の可視化

図-2 の右 2 つは, Grad-CAM⁶⁾ で入力画像の注目領域を可視化した例である。「a」と診断された入力画像(図-2 左の大小 2 つの範囲)の暖色部は, X_a を 100% に近づけた寄与度の高い領域を表す。この例は, 画像中心付近の特徴(急崖露岩地)が注目され, 画像パターン(落石斜面の微地形)も色別されている。

地上 56m × 56m[入力] [56m × 56m : $X_a=100\%$] [28m × 28m : $X_a=98\%$]

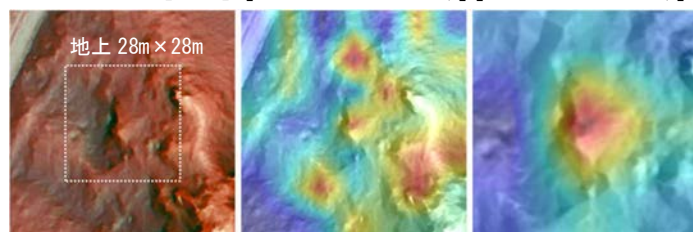


図-2. Grad-CAM⁶⁾による注目領域の可視化

(2) 不安定性 a/b の教師データ画像群の特徴把握

図-3 は教師データセット (train/validation) の「a」, 「b」画像群の色情報に着目した散布図である。当図から「a」「b」画像群は, 各画像の RGB と輝度の中央値の特徴量で大別されることがわかった。さらに X_a が 60~80% の完全に「a」とは診断していない画像は, 「b」画像群との境界に分布する特徴も見出した。

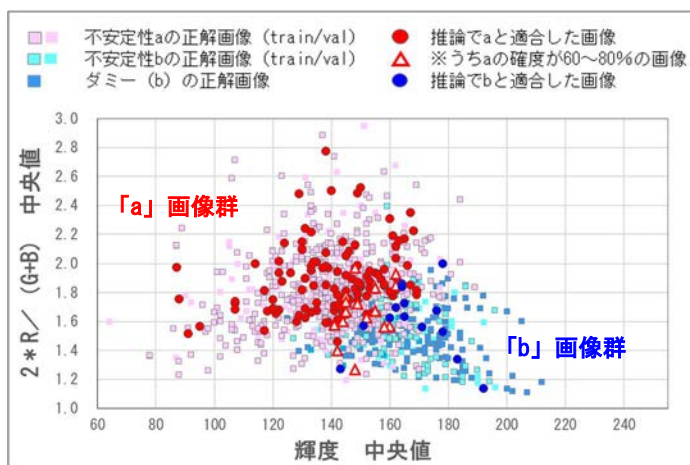


図-3. 入力画像の色情報に関するパラメータの散布図

(3) 入力画像の低解像度化

教師データ (0.25mDEM) より低解像度の 0.5mDEM 微地形表現図を入力画像として推論した結果(図-4), 正しく類推できた画像(特に $X_a=80\%$ 以上)は図-3 の「a」画像群の領域に分布した。入力画像を低解像度化しても色調の中央値は大きく変わらないため, 高い確度, 精度で不安定性 a を類推できたと考察した。

地上 28m × 28m [$X_a=99\%$]

地上 28m × 28m [$X_a=93\%$]

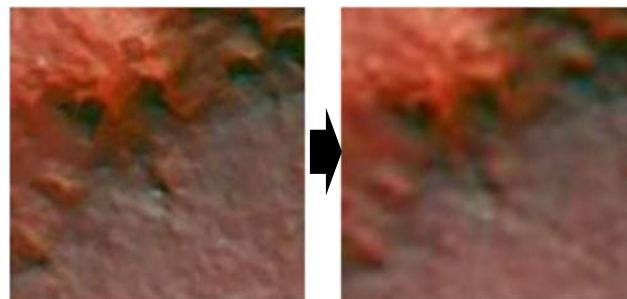


図-4. 画素寸法 0.25m から 0.5m への低解像度化の例

4. おわりに

本研究では, 既存のカルテの平面図, 現地で落石の不安定性を評価した箇所と露岩写真の位置図を基に, 航空レーザの微地形表現図に不安定性「a」と「b」のラベルを付与し, そのデータセットの学習により AI が画像を分類する「露岩診断モデル」を構築した。

当モデルは, 教師データセットの統計分析の結果, 露岩写真の被写体位置(画像中心)の特徴, 落石斜面の微地形(画像パターンや画像全体の色調)によって不安定性 a の確度 (0~100%) を決定していることが示唆された。この考察は不安定性 a ではない“安定”の根拠を含め, 他地域の落石斜面に画像診断を転用する際に説明性を確保するための重要な知見となる。

参考資料

- 1) 細岡生也, 村田一郎, 杉山友康, 沖村孝: 鉄道の土構造物維持管理のためのカルテの考案, 第 61 回土木学会年次学術講演会, 2006.9
- 2) 防災カルテ作成・運用要領, (財) 道路保全技術センター, 1996.12
- 3) 北村啓太郎, 高馬太一: 画像深層学習による露岩診断モデルの検討, 西日本旅客鉄道株式会社構造技術資料, vol.11, 2022.10
- 4) 高山陶子, 濱田耕平, 花井健太, 織田和夫, 角田里美: ディープラーニングと赤色立体地図を用いた微地形自動判読手法の検討, 平成 30 年度砂防学会研究発表概要集, 2018.5
- 5) MTan and Q.V.Le. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. ICML, 2019
- 6) RR.Selvaraju, M.Cogswell, A.Das, R.Vedantam, D.Parikh and D.Batra. Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-based Localization. CVPR, 2016