

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

ふるきひろかず¹、 たがた さとし²、 てづかさきこ³、 くまい のりひさ⁴、 くらぎ たかし⁴、 ひめの のりひと⁴
古木宏和¹、 田方 智²、 手塚咲子³、 熊井 教寿⁴、 黒木 隆⁴、 姫野 徳人⁴

1 日本工営（株）中央研究所（〒300-1259 茨城県つくば市稲荷原2304）

2 日本工営（株）福岡支店（〒812-0007 福岡県福岡市博多区東比恵1丁目2-12）

3 日本工営（株）本社（〒102-8539 東京都千代田区九段北1丁目14番6号）

4 国土交通省九州地方整備局 九州技術事務所（〒830-8570 福岡県久留米市高野1丁目3番1号）

深層学習は、データの高速度処理と特徴の自動抽出、短時間で出力を可能とする利点から、多分野で活用されている分析技術である。筆者等は、効率化、省力化を目的として、深層学習による火山斜面に形成する侵食地形判読の自動化を試みた。深層学習の教師データは桜島の3ヶ年分の地形データを元に作成し、雲仙岳、霧島などの他火山のオルソ画像に適用した。結果、適用した画像の侵食地形を6～7割抽出できた。

また、土木分野での活用が進められているUAVによる撮影画像に適用したところ、4K相当の解像度の画像から0.3m程度の規模の侵食地形が抽出できることが判明した。今後、土砂量への換算等、定量的な評価・検証を行い、地形抽出からの土石流発生場予測、リスク評価等、実用化に向けた取り組みを進める。

Key Words : 深層学習, 地形判読, 省力化・効率化・迅速化, UAVの活用

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するようになることが指摘されている¹⁾。これは、火山灰で覆われた地表面が降雨に伴う表面流により斜面や河道を侵食するためである可能性が指摘されている²⁾。このため、図1に示すように降灰を伴う噴火後に、侵食地形の形成・発達箇所を迅速に把握することで土石流に対する緊急的な対応や効果的な予防等の災害リスクを低減できる可能性がある。

堤ら³⁾は、侵食地形形成・発達場を迅速かつ効率的に把握することを目的として、深層学習を用いて空中写真から侵食地形の判読を試み、一定の正解率でリル・ガリー地形の自動抽出が可能であることを示した。これに継続して本検討では、桜島で教師データを作成し、桜島の別画像、霧島、雲仙岳において、侵食地形の抽出結果を比較することで桜島の教師データの検証を行った。また、近年活用が進められているUAVの撮影画像に適用し、学習データとしての汎用性について考察を行った。

2. 学習データの作成とAIアルゴリズム

(1) 学習データ画像作成

学習データは、堤ら³⁾で用いた鹿児島県桜島のレーザープロファイラー地形測量から作成したもの

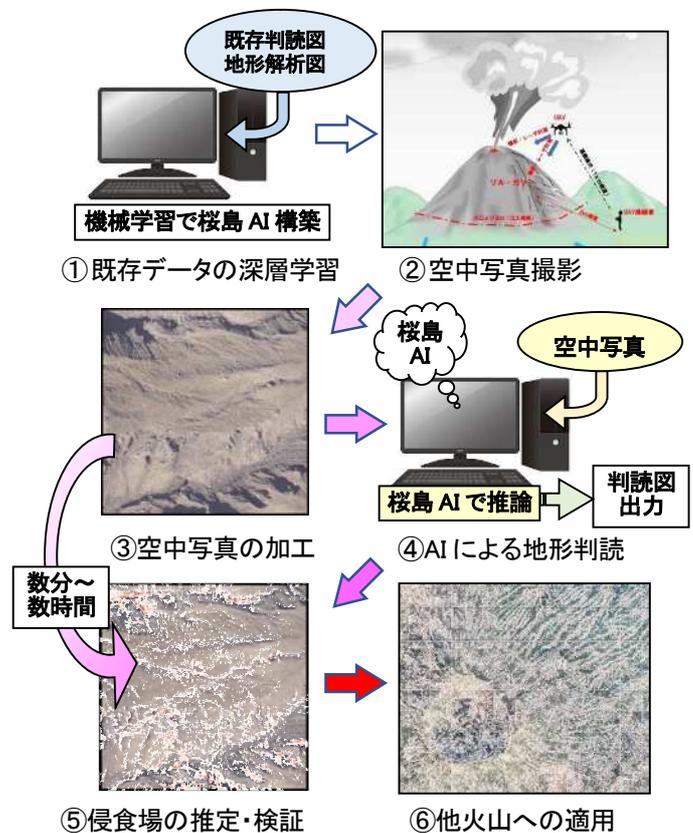


図1 深層学習による侵食地形判読の流れ

を用いた（図2）．侵食地形は、ラプラシアン値の色調表現した．図2（上右）のラプラシアン地形解析図は青が凸状地形、赤が凹地形として表現されている．ここから、凸状地形を除外し、平坦～凹状地形として0～プラス値のみが表示されよう加工し、凹状地形のみを表示したものが図2（下）となる．

写真から侵食地形を判読したところ、判読結果がほぼ地形解析図の赤色の分布と一致したことから、これを侵食地形とみなし、学習データとした．

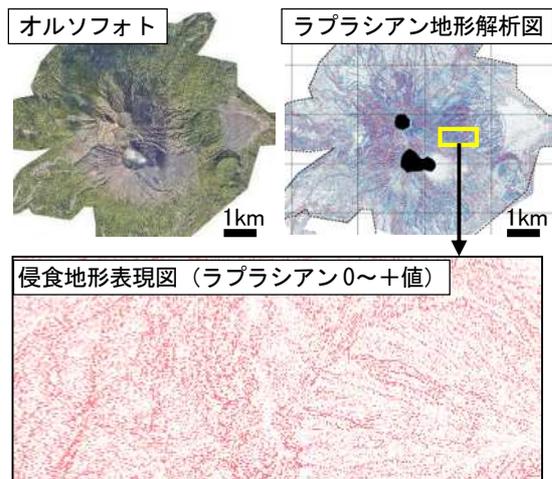


図2 桜島火山の侵食(凹状)地形図

(2) 画像生成AI - pix2pix

本検討において、深層学習による画像生成には、pix2pix³⁾を用いた．pix2pixは、図3のように、対となる画像の関連性を学習した上で、「画像で入力」し、「画像で出力」する事ができる．画像サイズは256pixel×256pixelのサイズに調整する必要がある．

深層学習が、技術者が視覚的に認識している暗黙知を学習することができる⁴⁾とされている．この知見を元に学習データを作成し、深層学習を行った．設定したパラメータを表1に示す．なお、学習率や最適化手法はpix2pixのデフォルト値とした．

(3) 教師データと検証データ

教師データは、図2に示した桜島火山の平成25～28の3カ年分の侵食地形図とした．検証データは、桜島火山の平成29年度と他火山（霧島、雲仙岳）の平成30年度に取得したに適用する事で、教師データの汎用性を検証した．図3に学習データの作成例を示す．画像Aはオルソフォト、画像Bは地形解析図とすることでAIは、オルソフォトの色調と凹状地形

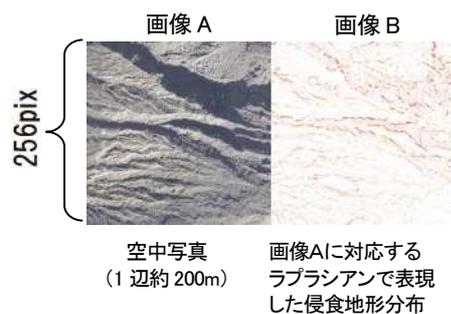


図3 教師画像例(桜島)

表1 学習実施時の設定パラメータ

調整したパラメータ (pix2pixの引数)	値
バッチサイズ (batch_size)	8
実行エポック数 (epoch)	500 エポック
モデルの保存タイミング (save_freq)	1,000 ステップ毎

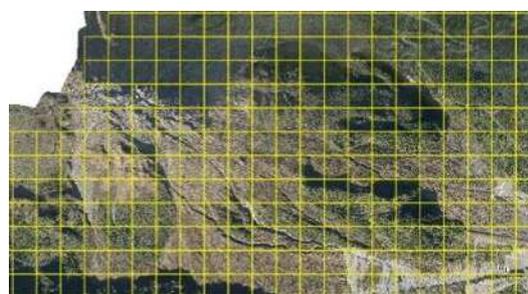


図4 他火山のオルソ画像分割イメージ (1辺200m, 雲仙岳)

の着色部の位置と色調の関係を学習する．対象火山（桜島・霧島・雲仙岳）ともに、検証データは図4の黄線のように分割し、各画像が教師データと同一のスケールとなるように調整した．

3. 侵食地形形成場の推論結果

深層学習により桜島の教師データとは異なる年度のオルソ画像で推論した画像を図5に示す．教師データと同じ桜島の画像では、推論画像と正解画像（地形解析結果）は、ある程度の面積が一致しているように見える．また、植生の有無により推論精度の差が生じている傾向が認められた．降灰・侵食サイクルが大きい（新しい侵食地形が形成されやすい）と考えられる火口付近の画像について、地形解析図との対比を行ったところ、色調が濃い、すなわち曲率が大きな部分は比較的良く凹状地形が抽出できていた．対して、地形解析図において色調が薄く、小規模な侵食地形は推論できていない傾向が認められた．正解率は、6～7割程度であった．

他火山への適用として、雲仙岳と霧島への適用結

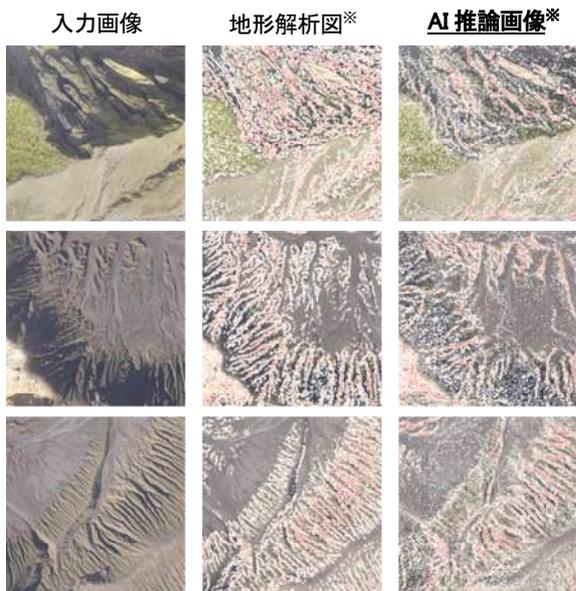


図5 桜島の推論画像例 ※背景に空中写真を重ねたもの
 入力画像 地形解析図※ AI 推論画像※

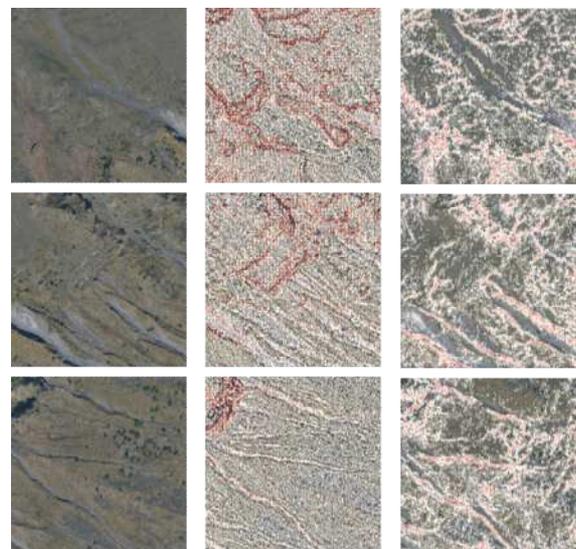


図6 雲仙岳の推論画像例 ※背景に空中写真を重ねたもの

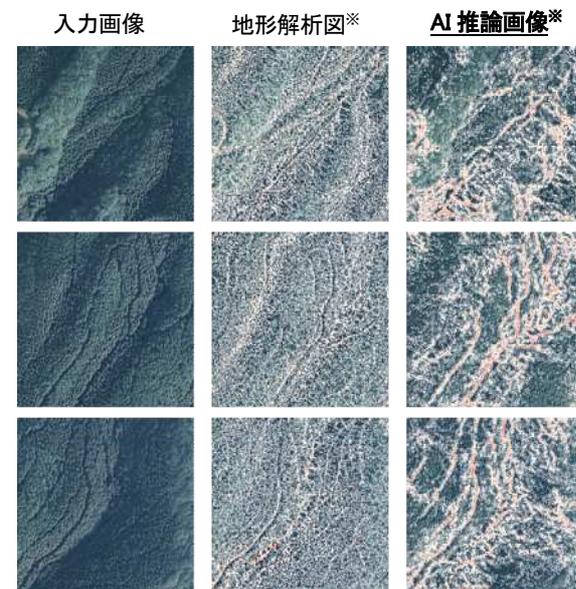


図7 霧島の推論画像例 ※背景に空中写真を重ねたもの

果を図6, 図7に示す. 正解の地形解析図と推論結果の画像を比較すると, 推論結果は全体に白色を帯びた画像が出力されている. これは霧島・雲仙岳が桜島と火山活動頻度や降灰分布域, 分布厚, 微地形が異なるためと考えられる.

地形解析図は, 白色を帯びた画像となっており, 規模の大きな侵食地形が筋状に表現されている. AI推論画像は, その明瞭な筋状の部分抽出しており, 機械的に処理された地形解析図よりも技術者が作成する判読図に近い表現図となっている. 着色部の一致率は, 濃度の差はあるものの, 6~7割程度であった.

4. 考察

(1) 深層学習で捉えている特徴

学習に用いた教師データをもとに, 深層学習で捉えられている特徴の推察を行った. 図8に入力, 推論, 正解データの画像例を示す. 空中写真に重ねた色調が赤色に近いほどラプラシアン値が大きい(溝の深さが深い)ことを示す. 赤色の着色部が線状に連続する部分を溝状地形とすると, 図中矢印の部分はいずれも写真の陰影の色調のコントラストが明瞭な部分であることがわかる.

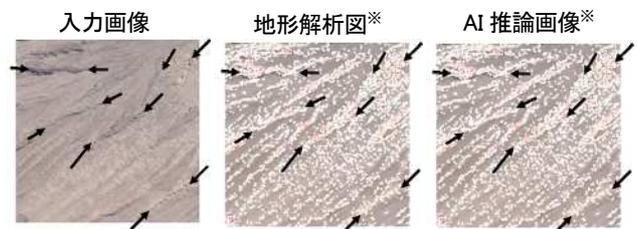


図8 AIが捉えている特徴の推察

(2) UAV 撮影画像への適用と抽出規模の考察

災害発生時等, 近年UAVによる現地状況調査が行われており, 火山地域でも, 危険箇所・流域等のエリアを迅速に把握することが求められている. これを受けて, 本検討では侵食場を即時に捉えることを想定し, 遠方からUAVで斜面を撮影した画像に, 桜島の教師データ(図3)を適用して, 侵食地形の推論を行った. UAVの画像は, 桜島の火口から直線距離で約1000m離れた位置から撮影した. また, 解像度は汎用性を考慮し, 4K相当とした.

UAVにより桜島の斜面を撮影した画像へ適用した結果を図9に示す. 最も距離が離れている火口付近の画像においても, 鉛直方向の写真と同様に, 概

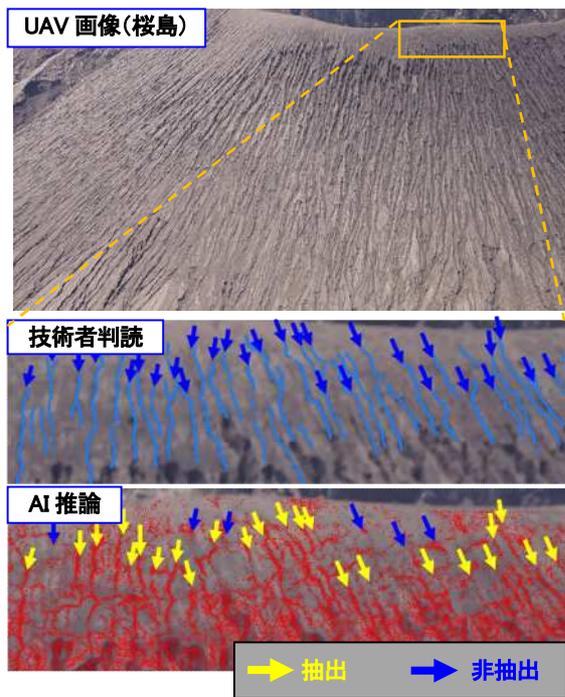


図9 UAV 撮影画像からの侵食地形形成場推論結果

ね侵食地形を拾えているように見える。同時期の地形データおよび地形解析図が作成できなかったため、火口付近で識別しやすい侵食地形の判読を技術者が行い、AIが推論した結果と比較したところ、技術者が判読する侵食地形と9割一致していた。

UAVで撮影した画像とAIが抽出した判読図を図10に示す。検証手法は、桜島の下流域で、人工的に造成された盛土（導流堤）に形成された侵食地形の簡易実測結果とAI推論結果を比較する事とした。侵食地形の規模は、横断方向に幅0.3～0.6m、深さ0.1～0.4m程度であった。

抽出規模を検討する上で重要となるのは、抽出可能な最小規模である。図中矢印の侵食地形をみると、橙色の四角で囲った部分は、幅0.25～0.4m、深さ0.1～0.3mの規模の侵食地形であった。すなわち、晴天等の安定した撮影条件下においては、UAVの4K程度の画像があれば、幅、深さが0.3m程度の規模の侵食地形が抽出できることが判明した。

5. まとめ

本検討では、桜島で作成した教師データの他火山への汎用性の検証として、桜島と他火山（霧島・雲仙岳）への適用を試みた結果、桜島特有の降灰斜面の明瞭な侵食地形が6～7割程度の精度で判読が可能であった。桜島教師データにより推論される侵食地形は、写真中の陰影のコントラストを捉える傾向

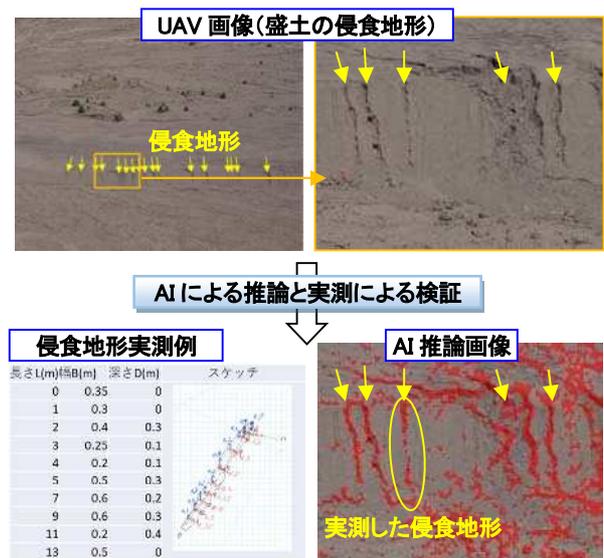


図10 AIが推論した侵食地形と実測値との対比

があり、降灰後の降雨により形成される、比較的新しく明瞭な侵食地形の抽出に適していると考えられる。また、実用に向けた考察として、UAVによる斜め方向からの撮影画像への適用を試行した。画像は約1km離れた距離から4K相当の解像度で撮影し、これに桜島の教師データを適用したところ、幅、深さが0.3m程度の規模の侵食地形が抽出できた。

今後は、UAVによる撮影画像への適用性と汎用性を向上させるために、画像の撮影条件や教師データの拡充を進めるとともに、AIが推論した侵食地形形成場の面積から土砂量への換算等、定量的な評価・検証を行い、地形抽出からの土石流発生場予測、リスク評価等、実用化に向けた取り組みを進める。

引用文献

- 例えば、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.
- 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.
- 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.
- Phillip Isola・Jun-Yan Zhu・Tinghui Zhou・Alexei A. Efros, : Image-To-Image Translation With Conditional Adversarial Networks”, CVPR2017, p.5967-5976, July 2017.