

9. 深層学習による土砂災害危険箇所の自動判読

山本義幸

1. はじめに

防災において、災害危険箇所の把握は、事前の災害対策をたて、新たな災害を防ぐ点で重要である。災害危険箇所の中でも、土砂災害に関わる位置情報については、専門家の経験知による判読であったり、マニュアルで登録するなど、コスト高な方法で整備されている。これに対して、深層学習による萌芽的な試みがなされている。

深層学習は、画像認識でヒューマンエラーを超えるパフォーマンスを示し、様々な分野で利用されている。その後、画像認識技術を応用した画像生成の深層学習が登場し、さらに発展的で革新的な利用がはじまっている。土木分野では、例えば、畳込みニューラルネットワーク（CNN）によるひび割れ検出等に関する研究が行われてきた。近年は、セマンティックセグメンテーションやGANによる地図作成についても研究が進められている。GANの一種であるpix2pix¹⁾は、航空写真からの地図作成において良好な結果を示している。しかしながら、元々、二次元の画像ベースで行われていた地図作成への適用性は高いものと推察するが、三次元情報をベースで作成する主題図の場合は、学習データとしての二次元画像に如何に識別しやすい特徴化を施すかが画像作成の鍵となるものと考えられる。例えば、地すべり地形分布図²⁾は、空中写真の立体視で地すべり地形を判読している。これを深層学習で作成するならば、立体視で得た三次元情報（像）から地すべり地形判読に至る特徴を学習データや処理ネットワークに組み込むことが効果的と考えられる。これまで、その特徴は、脳内で経験的に捉えられているため、明らかにすることは容易ではなかった。これにおいて、CNNの特徴マップの可視化（Grad-CAM³⁾）で解明できる可能性がある。pix2pixは、CNNがベースとなっており、CNNによる地すべり地形の分類器における特徴マップを可視化することで、どの箇所を着目して分類に至ったかを知ることができる。

本研究は、深層学習で地すべり地形分布図を作成するために有効な学習データの特徴化について検討する。深層学習は、先行研究⁴⁾でも利用されていたpix2pixを使用し、地すべり地形分布図はCS立体図⁵⁾から作成することとする。学習データの特徴化は、CS立体図上の地すべり地形の有無の二分類問題をCNNで行いGrad-CAMでCNNでの着目箇所から推察する。これより、学習データとしてのCS立体図の特徴化に有効な処理法について検討する。

2. pix2pixによる地すべり地形分布図の作成

画像生成の深層学習であるpix2pixを利用して、地すべり地形分布図の作成を試みた。以下に、これらの概要を記載する。

2.1 地すべり地形分布図

地すべり地形分布図は、防災科学技術研究所の地すべり地形GISデータ²⁾（図名：豊橋）を使用した。これは、空中写真の立体視で判読した地すべり地形をデジタル化したものである。ここでは、移動体の輪郭・境界のうち「後方に滑落崖があり、移動体の輪郭が明瞭ないし判読可能」のポリгонをラスタ化し、正解データとした。

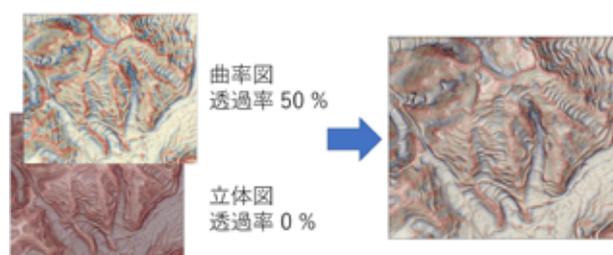


図1：CS立体図の作成方法（(6)掲載図を編集）

2.2 CS立体図 (学習データ)

CS立体図⁵⁾ から、深層学習で地すべり地形分布図を作成する。CS立体図は、DEMから標高・傾斜・曲率を計算し作成した立体図と曲率図を重ねて作成される (図1)。CS立体図上、谷 (凹) 地形を青色、尾根 (凸) 地形を赤色、緩斜面を淡い色、急斜面を濃い色で段彩化し表示され、地すべり地形は淡白色系～淡銀色系の色調で表示される。

表1: ハイパーパラメータ (pix2pix)

学習データ	テストデータ	エポック数	バッチサイズ
400 ペア	100 枚	200	1

2.3 地すべり地形分布図作成手法

pix2pix¹⁾ で使用する学習データは、図2のように、地すべり地形分布図とCS立体図から、先行研究⁴⁾ と同様に3/4オーバーラップさせながらスライドし取得した256×256画素の画像とした。ここで、1画素は10m四方とした。なお、画像作成でのpix2pixのハイパーパラメータは表1のとおりである。

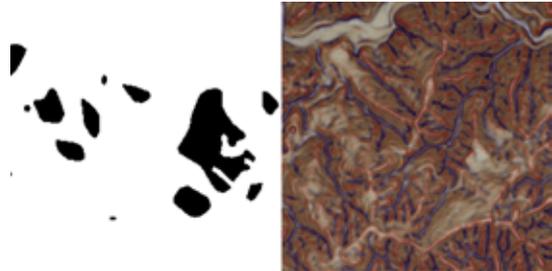


図2: 学習データ (左: 地すべり地形, 右: CS立体図)

3. 特徴マップの可視化

学習データの有効な特徴化を明らかにするために、Grad-CAM³⁾ による特徴マップの可視化を行った。特徴とは、CNNにおける隠れ層のパラメータのことである。特徴マップとは、これらのパラメータで形成される隠れ層の畳み込み処理からの出力である。よって、その大小は最終的な分類結果に寄与した (着目した) 領域を示す。表2は、CNNの処理でのハイパーパラメータである。学習データは、地すべり地形あり・なしのCS立体図で、それぞれ400枚を90度回転、左右反転、上下反転、明度によるデータ拡張で、それぞれ12000枚に水増しした。

表2: ハイパーパラメータ (CNN)

学習データ	テストデータ	エポック数	バッチサイズ
12000 枚ずつ	50 枚ずつ	130	30



図3: 地すべり地形分布図の作成結果 (左: 作成結果, 中央: 正解, 右: 立体図)

4. pix2pixによる地すべり分布図の作成結果

図3に地すべり地形分布図の作成結果を示す。画像作成結果は、先行研究⁴⁾と同じ以下の計算で求める評価法で評価した。

$$\text{再現率} = \text{①抽出面積} / (\text{①抽出面積} + \text{③判読漏れ面積})$$

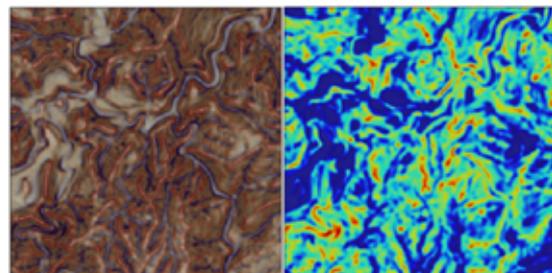
$$\text{適合率} = \text{①抽出面積} / (\text{①抽出面積} + \text{②誤判読面積})$$

ここで、①抽出面積: pix2pixで生成された地すべりの推論範囲、②誤判読面積: 推論結果から抽出面積を引いた面積、③判読漏れ面積: 正解データの面積から抽出面積を引いた面積である。

表3: 分類制度評価結果

分類結果 \ 正解	正解	
	地すべり地形あり	地すべり地形なし
地すべり地形あり	17	4
地すべり地形なし	33	46

正解率 (%)	感度 (%)	特異度 (%)	適合率 (%)	F 値 (%)
63	34	92	81	48



(a) CS立体図 (b) 特徴マップ

図4: 特徴マップの可視結果

今回の作成結果（推論結果）は、再現率は0%、適合率は10%と低かった。これは、先行研究⁴⁾と比較して、再現率は低く、適合率は同程度であった。

5. 特徴マップの可視結果・考察

5.1 地すべり地形分布図

表3に示すように、CNNによる分類性能は、感度とF値が低く、地すべり地形ありのCS立体図に対する認識が不十分であることが示された。

5.2 CNNの着目領域

図4に、特徴マップの可視結果の一例を示す。他の結果も、この図と同様に、地すべり地形がある白色系～淡銀色系の色ではなく、濃青色で示された谷に着目（特徴マップでの赤色領域）していることが示された。このことが、pix2pixによる画像作成とCNNによる分類性能に影響を与えたものと推察する。画像上で、濃青色周辺は高周波領域で、地すべり地形の白色系～淡銀色系は低周波領域である。よって、高周波領域を削除したCS立体図を学習データとして使用することが有効な特徴化となる可能性が推察された。具体的には、CS立体図を作成する際に使用する曲率図の高周波領域の削除ならびに透過率の増加、また、曲率図作成過程のDEMデータの平滑化処理の最適化も有効な特徴化のための手法として推察された。

6. 結論

深層学習による地すべり地形分布図作成での学習データの特徴化として下記の処理が有効な可能性が示された。

- ・ CS立体図の高周波領域の削除
- ・ 曲率図の透過率の増加
- ・ 曲率図の高周波領域の削除
- ・ 曲率図作成過程のDEMデータの平滑化処理の最適化

参考文献

- 1) Isola, P., Zhu, J.-Y., Zhou, T., & Efros, A. A. (2016) .Image-to-Image Translation with Conditional Ad-versarial Networks. CoRR, abs/1611.07004.
- 2) 防災科学技術研究所：地すべり地形分布図デジタルアーカイブ，https://dil-opac.bosai.go.jp/publication/nied_tech_note/landslidemap/index.html（2021年4月30日確認）
- 3) Selvaraju, R. R., Cogswell, M., Das, A., Vedan-tam, R., Parikh, D., & Batra, D. (2017, 22-29Oct. 2017) . Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization. 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)
- 4) 古木宏和, 稲垣裕, 一言正之, 藤平大, 櫻本智美 (2019). ディープラーニングによる地すべり地形の自動抽出：精度と教師データの関係（特集AIとビッグデータ）. 地盤工学会誌 = Geotechnical engineering magazine : 土と基礎, 67 (6), 20-23.
- 5) 戸田堅一郎 (2014). 曲率と傾斜による立体図法 (CS立体図) を用いた地形判読. 森林立地, 56 (2), pp.75-79.
- 6) 戸田堅一郎 (2012). 数値地形データを用いた「微地形図」の作成方法, www.pref.nagano.lg.jp/ringyosogo/seika/documents/bichikei.pdf (2021年4月30日確認)