

# 家屋の有無を考慮したCNNを用いた立体地図と空中写真からの土砂災害の危険箇所推定

鹿児島大学大学院 学生会員 山下 悠也, 非会員 重井 徳貴  
 長崎大学大学院 正会員 杉本 知史, 非会員 高江洲 竜馬, 非会員 石塚 洋一

## 1. はじめに

防災のため、急傾斜地及びその周囲で人家等に被害が想定される場所は、急傾斜崩壊危険箇所として公表されている [1]。この調査は、地図と航空写真を用いた技術者の手作業によるところが多く、労力などの問題があると考えられる。一方、近年、起伏を表現した立体地図画像と深層学習を用い、地すべりなどのリスク地形を自動抽出することが検討されている [2, 3]。著者らは、畳み込みニューラルネットワーク (CNN)[5] を用いた急傾斜地崩壊危険箇所 (以下、危険箇所と呼ぶ) の推定において、判定には家屋の有無が関係することから、立体地図に加え空中写真を用いる手法の有効性を示した [4]。

本研究では、立体地図のみから危険箇所を推定する CNN と家屋の有無を推定する CNN を組み合わせて、危険箇所の推定を行う手法を提案する。推定精度を改善するために、それぞれの CNN の判定結果にフィルタ処理を施すことを提案する。従来法よりも精度が改善されることを示す。

## 2. CNN を用いた急傾斜地, 家屋の有無, 危険箇所の推定

画像には、赤色立体地図とカラーの空中写真を用いる。赤色立体地図は斜面傾斜と尾根谷度を各々彩度と明度に割り当てて作成した 2 チャンネル画像である。図 1 に本研究で用いる CNN の構成を示す。CNN には、赤色立体地図のみの  $C = 2$  チャンネル画像, 空中写真のみの  $C = 3$  チャンネル画像, 赤色立体地図と空中写真を重ねた  $C = 5$  チャンネル画像が入力され、出力にはその画像の中心部分の  $P \times P$  の領域の判定結果が出力される。出力は、0 と 1 の 2 値出力であり、危険箇所, 家屋の有無のいずれかの判定に関して、陰性か陽性かを表している。

## 3. 家屋の有無の判定を用いた危険箇所推定

### 3.1 提案手法の概要

本稿では、家屋の有無を考慮した手法として、危険箇所を推定する CNN の判定結果と家屋の有無を推定する CNN の判定結果を統合し、危険箇所の判定を行う手法を提案する。その手法の処理の流れを図 2 に示す。2 種類の CNN はいずれも図 1 に示すものである。危険箇所を推定する CNN

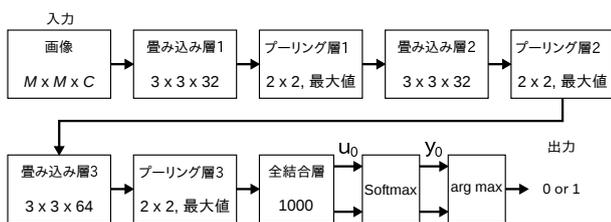
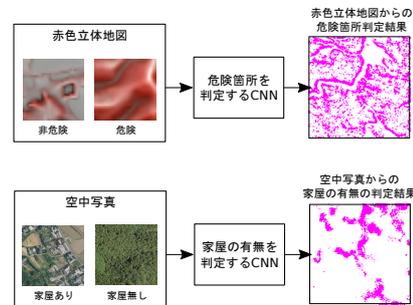
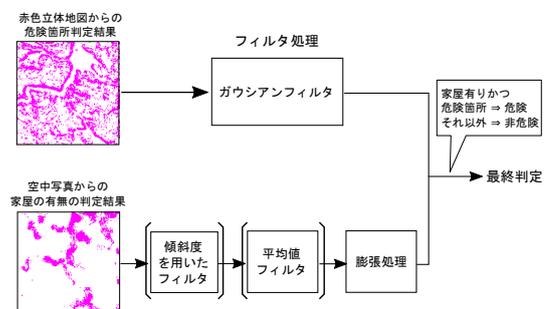


図 1: 使用する CNN の構成



(a) 危険箇所と家屋の有無の判定



(b) 家屋の有無を考慮した危険箇所の判定

図 2: 家屋の有無の判定を用いた危険箇所推定法の流れ

の入力は赤色立体地図の  $C = 2$  の画像である。一方、家屋の有無を推定する CNN の入力には空中写真の  $C = 3$  の画像である。最終判定ではそれぞれの判定結果から、危険箇所かつ家屋有りの場合を危険箇所、それ以外を、非危険箇所とピクセル単位で判定する。それぞれの CNN の出力からそのまま最終判定を行うと、次の 3 つの問題がある。1) 判定の解像度が  $P \times P$  と粗い、2) CNN の判定結果はノイズが含まれていると考えられる、3) 家屋の判定の再現率が非常に低い。そこで、提案手法では、CNN それぞれの出力にフィルタと膨張の処理を施す。

### 3.2 フィルタリングと膨張の処理

フィルタリングの手法として、線形フィルタである平均値フィルタとガウシアンフィルタ、家屋判定に対する傾斜量に基づくフィルタ、膨張処理の 4 種類を用いる。以下、元画像の画素値を  $f_{x,y}$ 、フィルタ適用後の画素値を  $g_{x,y}$  とする。線形フィルタを用いた処理は、次式で与えられる。

$$g_{x,y} = H \left( \sum_{i=-[S/2]}^{[S/2]} \sum_{j=-[S/2]}^{[S/2]} k_{i,j} \cdot f_{x+i,y+j} - \theta \right) \quad (1)$$

ただし、 $S$  行  $S$  列の行列  $K = (k_{i,j})$  はフィルタのカーネル、 $S$  はフィルタサイズであり奇数、2 値化のために閾値  $\theta$  と  $u \geq 0$  で  $H(u) = 1$  となるステップ関数を用いている。平均値フィルタの場合、 $k_{i,j} = 1/S^2$  である。ガ

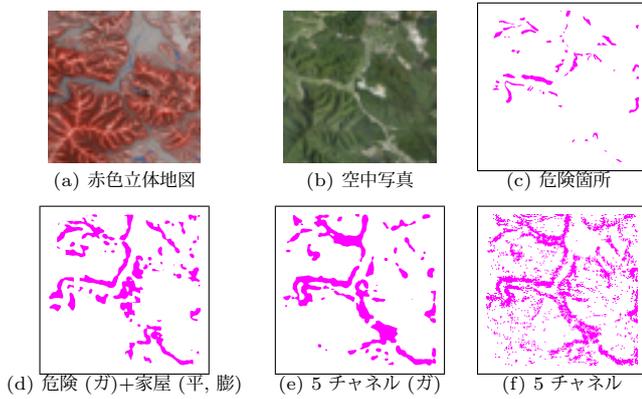


図 3: 使用した各種画像および判定結果画像

表 1: フィルタのパラメータの候補値

フィルタの種類	パラメータ	候補値
ガウシアン	$S$	3, 5, 7, 9
	$\theta$	0.3, 0.4, 0.5, 0.6
傾斜度	$\theta$	6/51, 8/51, 10/51
平均値	$S$	41, 51, 61, 71
	$\theta$	0.4, 0.6
膨張	$S$	31, 41, 51, 61

ウシアンフィルタの場合,  $k_{i,j}$  の値は, 2次元ガウス関数  $G_{\sigma}(i,j) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{i^2+j^2}{2\sigma^2}\right)$  を正規化した値である。

家屋判定に対する傾斜量に基づくフィルタ (以下, 傾斜量フィルタと呼ぶ) は, 急傾斜地には建物が存在する確率が非常に低いという知見に基づく。赤色立体地図から傾斜量  $s_{x,y}$  を算出し, 傾斜量の閾値  $\theta$  に基づき,  $s_{x,y} \geq \theta_s$  ならば,  $g_{x,y} = 0$ , それ以外は,  $g_{x,y} = f_{x,y}$  とする。ここで,  $g_{x,y} = 0$  は家屋が存在しない,  $g_{x,y} = 1$  は家屋が存在すると判定されたことを意味する。

家屋判定の再現率を高めるため, 膨張の処理を用いる。膨張の処理では,  $(x,y)$  の地点を中心とする  $S \times S$  の領域に家屋が存在すると判定された地点が存在するならば,  $g_{x,y} = 1$ , さもなくば  $g_{x,y} = 0$  とする。膨張の処理は式 (1) において,  $k_{i,j} = 1, \theta = 0$  とした場合である。

4. シミュレーション

提案手法として, 危険箇所判定の CNN と家屋判定の CNN を組み合わせた手法で使用フィルタが異なる 5 種類の手法, および, 危険箇所判定の CNN のみを用いガウシアンフィルタを適用した手法で入力画像が異なる 2 種類の手法, 従来手法として, 危険箇所判定の CNN のみを用いフィルタを適用しない手法で入力画像が異なる 2 種類の手法 [4] について, 評価を行う。

立体地図には, アジア航測作成の赤色立体地図 RRIM @5+を用い, 空中写真には電子国土基本図 (オルソ画像) のズームレベル 17 のものを用いる。入力画像サイズはいずれも  $M = 30$  である。学習データについては, 危険箇所を判定する CNN では, 福岡県北部の広範囲な領域からサンプリングして得た危険箇所 1 万枚と非危険箇所 1 万枚の合計 2 万枚を用いる。各画像では中心の  $4 \times 4$  の領域全てが危険箇所の場合が危険箇所, それ以外は非危険箇所の画像

表 2: 評価結果

CNN(使用フィルタ)	再現率	適合率	F1
危険 (ガ)+家屋 (膨)	0.741	0.201	0.307
危険 (ガ)+家屋 (平, 膨)	0.727	0.227	<b>0.335</b>
危険 (ガ)+家屋 (傾, 膨)	0.737	0.205	0.313
危険 (ガ)+家屋 (傾, 平, 膨)	0.738	0.210	0.319
危険+家屋	0.216	0.211	0.213
5チャンネル (ガ)	0.741	0.215	0.317
赤色のみ (ガ)	0.751	0.198	0.301
5チャンネル [4]	0.745	0.164	0.269
赤色のみ [4]	0.853	0.121	0.211

である。家屋の有無を判定する CNN では, 家屋有り 2500 枚, 家屋無し 2500 枚の合計 5000 枚の空中写真を用いる。

テストデータには, 図 3(a),(b),(c) に示すものを用いる。判定領域のサイズは  $P = 4$  とする。評価指標は, 再現率, 適合率, F1 スコアを用いる。フィルタを用いる手法では, フィルタサイズ  $S$ , しきい値  $\theta$  などのパラメータを伴う, これらの値は, 表 1 の範囲から, テストデータの領域を矩形に 4 分割し, 4 分割交差検証により, 再現率 0.75 以上かつ F1 スコアが最大となるものに決定した。

評価結果を表 2 に, 判定結果を図 3(d),(e),(f) に示す。まず, 2つの CNN を組み合わせた手法, 単一の CNN を用いる手法, いずれかにかかわらず, フィルタを用いないと F1 スコアは 0.2 台であるのに対し, フィルタを用いることで 0.3 以上に改善されている。単一の CNN に関しては, フィルタにより適合率が改善されているが, 図 3(e) と (f) では雑音状の画素が減少しておりその傾向がはっきりと見て取れる。2つの CNN を組み合わせた手法と単一の CNN を用いる手法の比較に関しては, フィルタ有りの場合は, 平均値フィルタを用いることで, 2つの CNN を組み合わせた手法は, 5チャンネルの CNN を用いた手法と同等以上の F1 スコアを達成している。特に, 2つの CNN を組み合わせた手法に平均値フィルタと膨張を適用したものが最も F1 スコアが高く, 図 3.(d) からその傾向が確認できる。

5. まとめ

本研究では, 急傾斜地崩壊危険箇所推定のために, 危険箇所を推定する CNN と家屋の有無を推定する CNN を組み合わせた手法と, CNN の推定結果にフィルタ処理を施す手法を提案した。提案手法は, 従来手法よりも高い適合率, F1 スコアを達成できることを示した。

出典: 急傾斜地崩壊危険箇所は国土数値情報 (福岡県提供資料より作成), 赤色立体地図はアジア航測 (株) が作成したもの, 空中写真は国土地理院のものを使用した。

参考文献

[1] 国土交通省, 土石流危険渓流及び急傾斜地崩壊危険箇所に関する調査結果の公表について, 2003.  
 [2] 高山ほか, 日本写真測量学会 平成 29 年度秋季学術講演会発表論文集, pp.66-67, 2017.  
 [3] 古木ほか, 砂防学会研究発表会概要集, pp.145-146, 2017.  
 [4] 山下ほか, 土木学会西部支部研究発表会, pp.339-340, 2019.  
 [5] Y. LeCun et al., Proc. of the IEEE, vol. 86, no. 11, pp.2278-2324, 1998.