

## SAR 衛星画像を用いた深層学習による土砂移動域の自動検出と密度分布評価

株式会社オリエンタルコンサルタンツ ○平川泰之・山下久美子  
株式会社スペースシフト 日高直哉・元村和史・山本督・堤大陸

## 1. はじめに

広域・大規模な土砂災害の発生後には、復旧対策や後発災害への予防的措置のために、土砂移動の分布をいち早く把握する事が重要である。このニーズに対して現在のところ最も早く得られるリモートセンシングデータは SAR 衛星画像であるが、従来の強度差分 SAR 画像の目視判読<sup>例1)</sup>では技術者によって判読結果が異なることや、特に対象が広域な場合には技術者の負担が大きいこと、それにより判読精度の低下が懸念されることが問題である。また近年では国土地理院が発災後数日で空中写真からの目視判読結果を公表するケースが多い<sup>例2)</sup>が、同様に技術者の負担が大きいと想定され、また速報性を重視していることと可視画像の特性から、影部等の見逃しは避けられない。

そこで筆者らは、技術者が目視判読する前に概略の土砂移動分布を把握し、技術者の負担軽減や見逃し軽減に資することを目的として、深層学習によって土砂移動域を自動検出する推論器を開発し、学習に使用していない未知事例での検証を行った。

以下、本稿では崩壊・地すべりの土砂生産域から流下・堆積域までを含めて「土砂移動域」と称する。なお本研究の一部は、第69回宇宙科学技術連合講演会で発表したものである<sup>3)</sup>。

## 2. 研究方法

### 2.1 モデル及び学習データ

推論器としては U-Net を基にした深層学習型セグメンテーションモデル<sup>4)</sup>を用いた。モデルへの入力としては、発災前後の ALOS-2 による SAR 画像ペアに加えて、土砂移動が急斜面で発生しやすいという地形的条件を反映するため数値標高モデル (Digital Elevation Model, DEM) から算出した傾斜度を用いた。このモデルの学習には、表 1 に示す国内の地震および豪雨による災害事例について、発災前後の SAR 画像ペアを用いた。学習したモデルの出力は土砂移動域の確率マップであるが、閾値設定により二値化マスクしポリゴン化することで、実際の土砂移動域との比較が可能である。

### 2.2 検証方法

検証対象は令和6年能登半島地震と、令和7年8月の大雨時に熊本県内で発生した土砂災害事例であり、いずれも学習用データには含まれていない未知事例である(表 1)。発災前後の SAR 画像ペアを学習済みモデルに入力して推論を行い、正解データと比較した。正解データとしては、令和6年能登半島地震では林野庁が令和7年3月に公開した判読結果<sup>5)</sup>を使用し、令和7年8月の大雨では国土地理院が発災直後に公開した判読結果<sup>2)</sup>を使用した。

令和6年能登半島地震では次の3段階の定量的評価を行った。(1)IoU等の一般的なセグメンテーション評価を行った。(2)正解の土砂移動ポリゴンの一部に推論結果の土砂移動ポリゴンが重なっている場合に検出とみなし、土砂移動面積と検出数の関係や、検出率(検出ポリゴン数/正解ポリゴン数)を評価した。(3)1km四方のタイルごとに、正解と推論結果のそれぞれから土砂移動域の面積密度を算出し、その分布傾向や相関関係を評価した。

令和7年8月の熊本県内の大雨では、正解と推論結果の土砂移動ポリゴンを重ね合わせ、目視による定性的な評価のみを行った。

## 3. 検証結果と評価

### 3.1 令和6年能登半島地震

推論結果の IoU, Precision, Recall はそれぞれ 0.27, 0.38, 0.47 となった。図 1 は推論結果を示したものであるが、比較的面積の大きい土砂移動域では正検出(TP)が多い一方で、小規模な土砂移動域では検出漏れ(FN)が多く見られる。

図 2 は土砂移動ポリゴンの面積別別に、正解ポリゴン数とその累積曲線、および検出ポリゴン数の分布を示したものである。ポリゴン数を

表 1 解析に使用した災害イベント一覧

分類	災害イベント名	SAR画像ペア数
学習用シーン	平成28年熊本地震	2
	平成29年7月九州北部豪雨	4
	平成30年7月豪雨(広島)	2
	平成30年北海道胆振東部地震	8
評価用シーン	令和元年東日本台風(宮城)	3
	令和6年能登半島地震 (令和7年8月の熊本県内の大雨)※	1

※は令和7年8月10日～12日にかけての大雨により、熊本県内で土砂災害が多発した事例を指す。本研究では定性的評価のみ実施した。

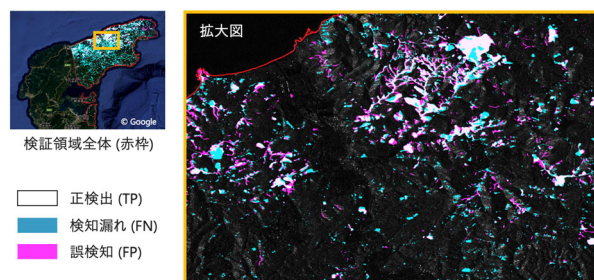


図 1 推論結果の例

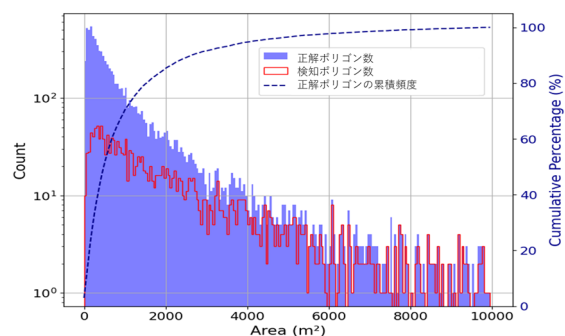


図 2 正解ポリゴン及び検出ポリゴンの面積別分布

示す左軸は対数軸である。図より面積 $2,000\text{m}^2$ 程度以下の小規模なポリゴンが圧倒的に多いこと、及び、その領域では検出ポリゴンが正解ポリゴンよりもかなり少ないが、面積増加とともに両者の差が小さくなることが分かる。面積 $3,000\text{m}^2$ 以上の正解ポリゴンに対する検出率は72%であった。

この結果より、正解と推論結果のそれぞれについて、面積 $3,000\text{m}^2$ 以上の土砂移動ポリゴンから1km四方のタイルごとの土砂移動面積密度を算出し、図3にヒートマップとして示した。両者を比較すると土砂移動面積の大きい(色の明るい)箇所の分布はよく整合していることが分かる。次に図4には正解と推論結果の土砂移動域面積密度の関係を、タイル数で色分けした二次元ヒストグラムで示した。同図より各プロットは1:1の線に近い位置に分布し、良い相関を示すことが分かる。相関係数は0.95と高い値を示した。

### 3.2 令和7年8月の熊本県内の大雨

図5左は、国土地理院による判読結果(正解データ、赤枠)と推論結果(青枠)の土砂移動域ポリゴンを比較したものの一部である。図中の上部の比較的大規模な土砂移動域(赤枠と青枠が重なっている箇所)については正しく検出できている一方、点在する小規模な土砂移動域については検出できていない。本事例においては図5の領域外も含めて $3,000\text{m}^2$ 未満の小規模土砂移動が90%以上を占めるため、全体的には検出漏れが多かった。一方で図5左の黒丸印で示した箇所は、正解データには示されていないが、空中写真では崩壊発生が確認され(図5右)、推論ではこれを正しく検出していた。すなわち目視判読での見落とし箇所を、推論で検出できていた。なお、それ以外の青枠だけが示されている箇所は誤検出である。

### 4. おわりに

国内の地震・豪雨による災害事例を学習データとして使用して、発災前後のSAR画像ペアから土砂移動域を検出する推論器を構築し、未知の災害事例に適用した。令和6年能登半島地震においては、ピクセル単位のセグメンテーション評価ではあまり高い評価値を示さなかったものの、 $3,000\text{m}^2$ 以上の土砂移動ポリゴンに対しては7割以上の高い検出率を示した。また1km四方タイルの土砂移動域面積密度については正解と推論結果とが相関係数0.95の良い相関を示した。令和7年8月の熊本県内の大雨では小規模な土砂移動が多かったため検出漏れが多かったが、目視判読で見落とされた箇所を正しく検出できていた箇所もあった。

SAR画像から推論結果を得るまでに要する時間は20分~30分程度であるため、強度差分SAR画像や空中写真からの目視判読を行う際に推論結果を提供することは、事前に対応スキームを構築しておけば十分に可能である。目視判読時に技術者が推論結果を参照することにより、優先的・重点的に判読すべきエリアの特定や、見逃し軽減、技術者の負担軽減に資することができる。さらに土砂移動面積密度のヒートマップは技術者による判読を待たずともそのまま、広域の被害推定に資することができる。

今後の課題としては、未知の災害事例での追加検証による精度の確認・向上が挙げられる。また河道閉塞を発生させるような大規模崩壊をより確実に検出することや、あるいは河道閉塞そのものを自動検出する技術の開発が必要と考えている。

- 参考文献** 1)鈴木ら(2020):合成開口レーダ(SAR)画像による土砂災害判読の手引き, 国総研資料第1110号 2)令和7年(2025年)8月6日からの大雨に関する情報, 国土地理院 HP 3)平川ら(2025):ALOS2画像を用いた災害時の斜面崩壊地抽出と分布傾向の評価, 第69回宇宙科学技術連合講演会 4)柘宜田ら(2024): SAR衛星データと深層学習を用いた斜面崩壊領域の検出可能性評価, 第12回土砂災害に関するシンポジウム論文集 5)林野庁・崩壊箇所等判読結果(能登地域2024), G空間情報センター

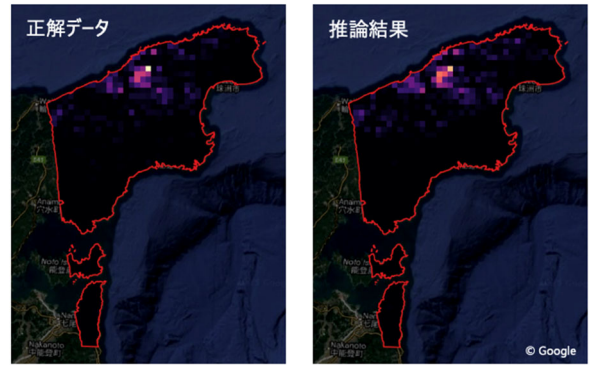


図3 土砂移動域面積密度の分布

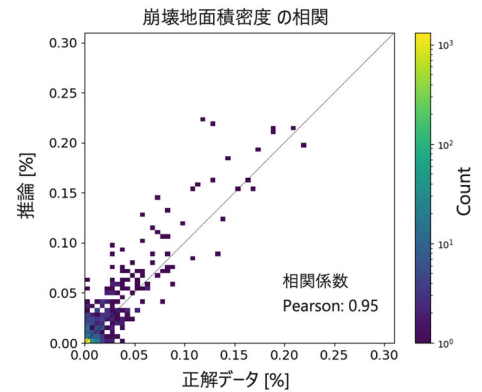


図4 土砂移動域面積密度の相関

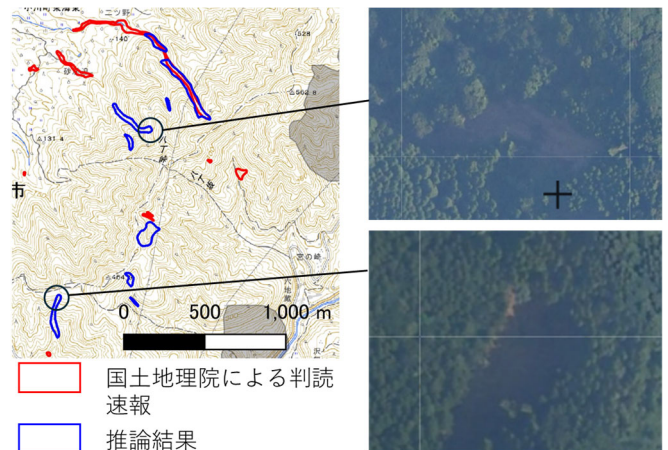


図5 令和7年8月の大雨による土砂移動の判読結果と推論結果の比較 (背景はいずれも地理院タイル)