

8. 地震に伴う空間的变化検出への深層学習の活用

山本義幸・坂井大晃・速水慎太郎

1. はじめに

近年、人工知能技術の発展に伴い、衛星画像解析による災害被害の自動検出が注目を集めている。特に深層学習技術は、画像認識分野において顕著な成果を挙げており、地震被害の検出においても高い精度が期待されている。しかしながら、図-1に示すように、深層学習の実用化には大量の学習データと特徴の明確さが必要となる点が大きな課題となっている。

地震被害データは、その発生頻度の制約から大量収集が本質的に困難であり、深層学習モデルの十分な学習が難しい状況にある。また、地震被害は地域特性や建築様式によっても異なる特徴を持つため、汎用的なモデル構築には多様なデータが求められる。このような条件下で効果的な深層学習モデルを開発するためには、少数のデータでも空間的变化を正確に検出できる特徴量が豊富なデータ設計が重要となる。

本研究は、地震に伴う空間的变化検出に向けた効率的な学習アプローチとして、下記について取り組んだ結果を報告する。

本研究は、地震に伴う空間的变化検出に向けた効率的な学習アプローチとして、下記について取り組んだ結果を報告する。

- ・一般に多くの学習データを必要とするニューラルネットワーク（深層学習）の効率化を図るため、比較的少数のデータでも機能する機械学習手法を活用
- ・衛星画像における局所の特徴と統計量（画素値、局所平均、標準偏差など）の重要度を評価し、被害検出に最適な特徴セットを選定
- ・この手法により被災地モニタリングにおける計算効率と予測精度を両立した開発フレームワークを確立

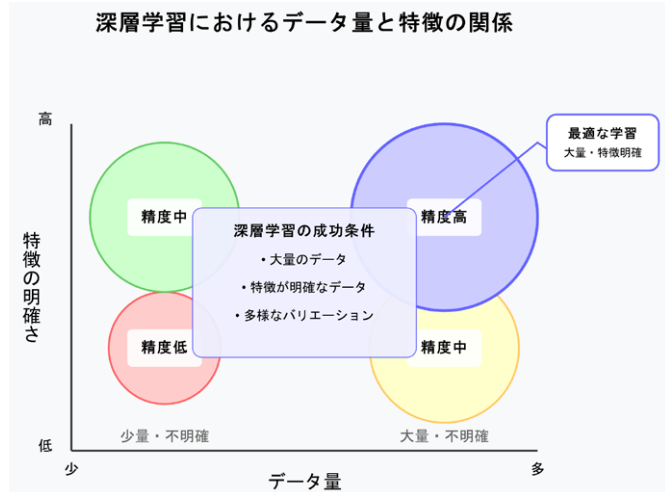


図-1 深層学習の学習データに関わる課題

表-1 使用したALOS-2データセット

観測時期	穴水・輪島西・輪島中	珠洲・輪島東
地震発生前	2023/12/6	2021/10/19
地震発生後	2024/1/3	2024/1/9

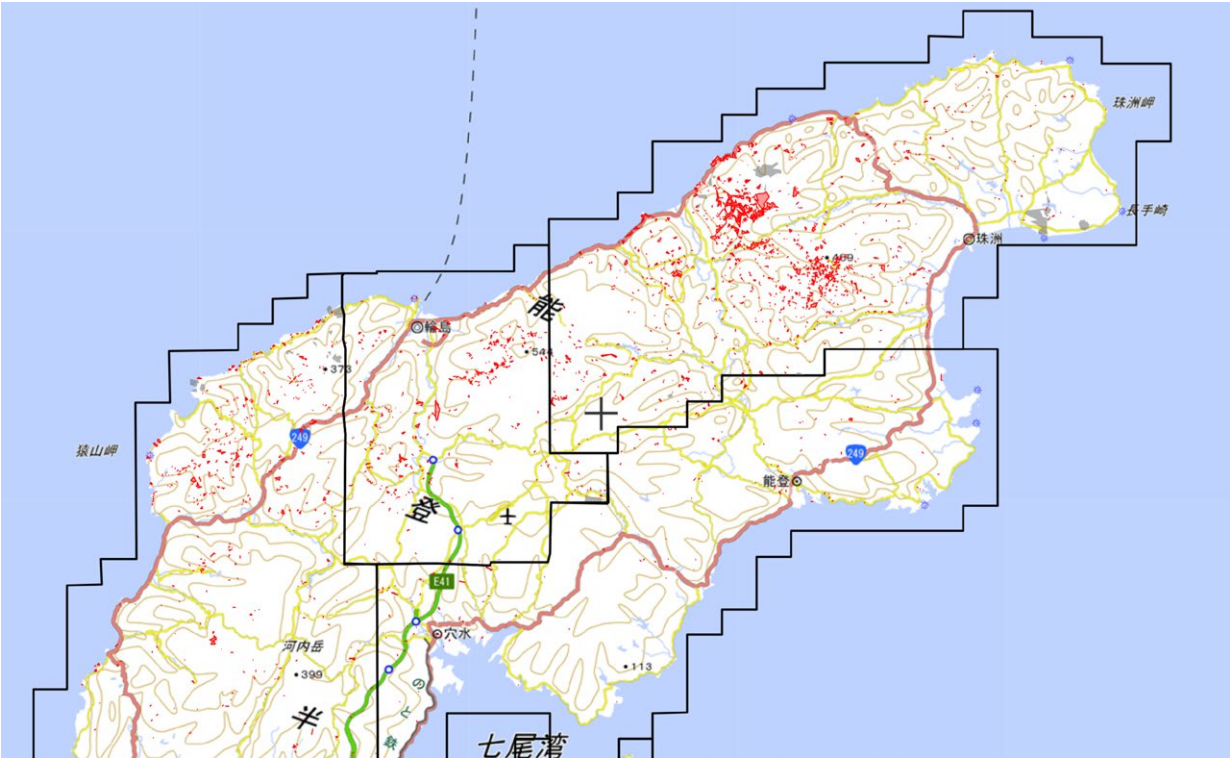
2. 機械学習手法

本研究では、地震被害検出のための効率的な特徴量評価手法として、ランダムフォレストを用いた分析フレームワークを提案する。このフレームワークでは、衛星画像から抽出した多様な特徴量の重要度を評価し、深層学習モデル構築に向けた知見を得ることを目的とする。

2.1 データセット

分析対象として、2024年1月1日に発生した能登半島地震の前後のSAR画像を使用した。具体的には、ALOS-2衛星によって撮影された能登半島の複数地域（穴水・輪島西・輪島中、および珠洲・輪島東）の災害前後の画像ペアを用いた。観測時期の詳細は表-1に示す通りである。正解ラベルとしては、国土地理院が提供する斜面

崩壊・堆積分布データを使用した。このデータは地震による地形変化を高精度に捉えており、機械学習モデルの学習および評価に適した信頼性の高い参照データとなっている。



図－2 斜面崩壊・堆積分布データ（国土地理院）

2.2 特徴量設計

各画素の分類に使用する特徴量として、以下の15種類を定義した：

- ・災害前後の画素値（before_value、after_value）とその差分（diff_value）
- ・災害前画像の局所的統計量（平均、標準偏差、最大値、最小値）
- ・災害後画像の局所的統計量（平均、標準偏差、最大値、最小値）
- ・差分画像の局所的統計量（平均、標準偏差、最大値、最小値）

局所の特徴量は、各画素を中心とした5×5ピクセルの窓から計算した。これらの特徴量により、画素値の変化だけでなく、空間的なテクスチャや近傍との関係性も考慮した分類が可能となる。

2.3 ランダムフォレスト分類器

本研究では、画素単位の被害検出を行うため、ランダムフォレスト分類器を採用した。ランダムフォレストは複数の決定木を組み合わせたアンサンブル学習法であり、単一の決定木分類器の過学習傾向を抑制しつつ、高い分類精度を実現できる利点がある。本研究で使

本研究で使

ランダムフォレストの各決定木は以下の特性を持つ：

1. データ多様性：各木はブートストラップサンプリングによって生成された異なるデータサブセットで学習される

2. 特徴量サブサンプリング：各ノードでは全15特徴量からランダムに約4つ（ $\sqrt{15}$ ）の特徴量が選択され、最適な

表－2 ランダムフォレスト分類器の主要設定

パラメータ	設定値
決定木の数	100
クラス重み	均衡化（balanced）
最大深さ	制限なし
ノードごとの特徴量数	$\sqrt{15} \approx 4$

分割条件が決定される

3. 分岐条件の決定：情報利得（ジニ不純度の減少量）が最大となる特徴量と閾値の組み合わせが選択される
これらのメカニズムにより、100本の多様な決定木が構築され、その予測結果の多数決によって最終的な被害/非被害の分類が決定される。

2.4 特徴量重要度分析

学習後のモデルから特徴量の重要度を算出し、被害検出に寄与する画像特性を分析した。特徴量重要度は、各特徴量が決定木のノードで選択された際のジニ不純度減少量の平均値として計算される。この分析により、地震被害検出においてどのような画像特性が重要であるかを客観的に評価し、将来的な深層学習モデル設計に活かすことを目指す。

2.5 計算効率化の工夫

大規模な衛星画像データを効率的に処理するため、以下の最適化手法を導入した：

1. タイル処理：画像全体を重複を持つ小領域（タイル）に分割し、並列処理を適用
2. メモリマッピング：大規模な特徴量配列をディスクにマッピングし、メモリ消費を削減
3. マルチプロセス並列化：CPUコアを有効活用した並列特徴量抽出と予測処理

これらの工夫により、限られた計算リソースでも大規模な衛星画像データの処理が可能となり、実用的な被害検出システムの基盤を構築した。

3. 結果

ランダムフォレスト分類器を用いた学習後、各地域における特徴量の重要度を分析した。表－3に各対象地域における上位3位までの重要特徴量を示す。

表－3 地域別の特徴量重要度上位3位

重要度順位	穴水	輪島西	輪島中	珠洲・輪島東
1	災害後 局所 標準偏差	災害後 局所 最大値	差分 局所 標準偏差	災害後 局所 最大値
2	災害後 局所 最小値	災害後 局所 平均値	災害後 局所 標準偏差	災害後 局所 平均値
3	災害前 局所 最小値	災害後 局所 標準偏差	災害後 局所 最小値	災害後 局所 標準偏差

分析の結果、以下の重要な知見が得られた：

1. 災害後画像の特徴量の優位性：

全ての地域において、災害後画像から抽出された特徴量が上位を占めた。これは、斜面崩壊による地表面の変化が災害後の画像テクスチャに強く反映されていることを示している。特に局所的な標準偏差は、全地域で上位3位以内に入っており、地表面の不均一性が被害検出の重要な指標となることが示唆された。

2. 地域間の共通点と差異：

「災害後局所標準偏差」はすべての地域で重要な特徴量として抽出された。一方で、最も重要な特徴量は地域

によって異なり、穴水では「災害後局所標準偏差」、輪島西と珠洲・輪島東では「災害後局所最大値」、輪島中では「差分局所標準偏差」が最も高い重要度を示した。これは地域ごとの地形特性や被害パターンの違いを反映していると考えられる。

3. 差分特徴量の重要性：

輪島中地域においては「差分局所標準偏差」が最も重要な特徴量として抽出された。この地域では災害前後の画像の差分から得られる情報が特に有効であることを示しており、地震による変化のパターンが明確に捉えられていると考えられる。

4. 局所統計量の有効性：

単純な画素値よりも、局所的な統計量（標準偏差、最大値、最小値、平均値）が上位を占めたことから、空間的な文脈情報が斜面崩壊検出において重要であることが明らかとなった。これは、単一ピクセルの変化よりも、周囲との関係性を含めた特徴量がより識別力を持つことを示している。

これらの知見は、深層学習モデルの設計において重要な示唆を与える。特に、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）の初期層における特徴抽出フィルタの設計や、注意機構（アテンションメカニズム）の重み付けにおいて、災害後画像の局所的テクスチャ特性に注目することの重要性が示された。また、地域間で共通して重要な特徴量が存在する一方、地域特有の重要特徴量も確認されたことから、汎用性と地域適応性のバランスを考慮したモデル設計の必要性も示唆された。

4. 結果

本研究では、地震に伴う斜面崩壊の検出に有効な特徴量を評価するため、ランダムフォレスト分類器を用いた分析を行った。能登半島地震の被災地域を対象としたケーススタディから、以下の結論が得られた。

1. 災害後画像の局所的統計量、特に局所標準偏差と局所最大値が、斜面崩壊検出において高い重要度を示した。
これは地表面の不均一性と極端な変化が被害検出の重要な指標となることを示唆している。
2. 地域によって最も重要な特徴量に違いが見られたが、「災害後局所標準偏差」はすべての地域で高い重要度を示しており、汎用性の高い特徴量であることが確認された。
3. ランダムフォレストによる特徴量評価は、限られた訓練データでも有効な分析が可能であり、深層学習モデル設計のための予備的検討として有用であることが確認された。

今後の展望としては、本研究で特定された重要特徴量に基づき、CNNなどの深層学習モデル設計において、災害後画像の局所テクスチャを効果的に捉える層構造や注意機構の最適化が考えられる。特に「災害後局所標準偏差」を効果的に捉える特徴抽出機構を備えたアーキテクチャの開発や、複数地域のデータを効率的に活用するドメイン適応技術の研究を進めることで、限られた学習データでも高精度な地震被害検出を実現し、災害対応の迅速化に貢献することが期待される。