

Sentinel-1強度画像を用いた深層学習による 土砂移動検出アルゴリズムの開発

伊藤奎政¹・木下陽平¹

¹)筑波大学



研究背景

地震や豪雨といった自然災害により**土砂移動**が発生
 — 救助や避難の**遅延**、**二次災害**の発生も

2004年中越地震では61集落が孤立、避難・救助の遅れ

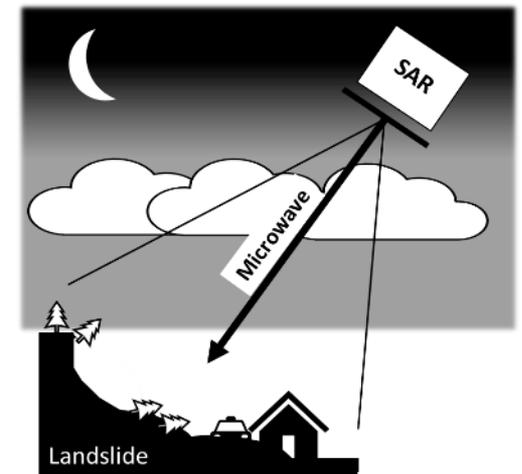
2017年九州北部豪雨でも福岡県朝倉市等で避難の遅れから被害拡大



<https://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/H161023/chuetsu-jishin/index.html>

中越地震における被害の様子

- ▶ **衛星SAR**は時間帯や天候に関わらず
 地表面広域を観測可能
 → 災害後の**迅速な被害地の把握**に繋がる
- ▶ 災害前後の**衛星SAR強度画像**を用いた
 検出が期待



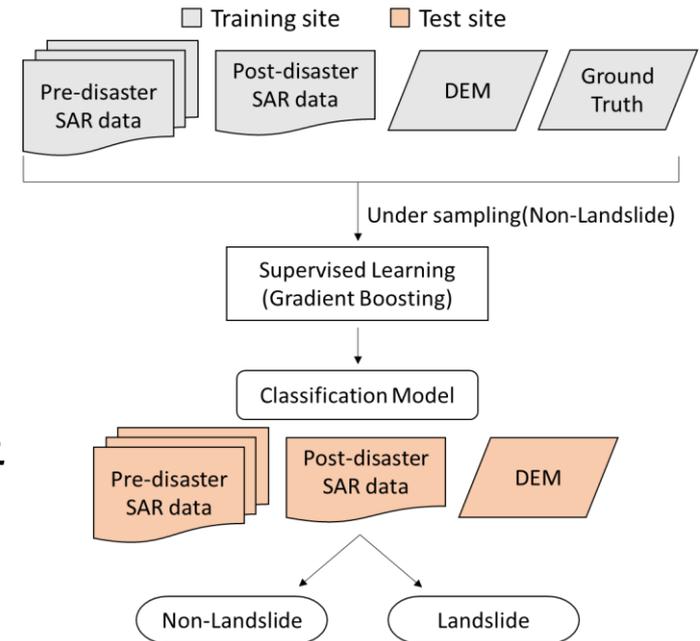
機械学習を用いた土砂移動検出

- ▶ 迅速な検出には、定量性・汎用性・自動処理が必要
⇒ **機械学習**を用いた検出に着目
- ▶ ピクセルベースでの機械学習
⇒ 大規模 + 顕著な強度変化を示した一部の土砂移動のみ検出
ピクセルレベルでの精度や未検出・誤検出に大きな課題



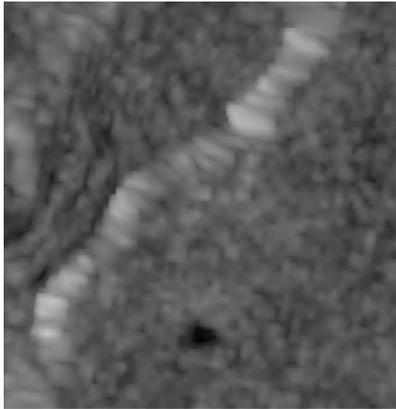
深層学習を用いた検出に着目

- ▶ 深層学習を用いた先行研究は未だ少なく、複数事例を用いた検証も不足
(An et al. 2020、Nava et al. 2021,2022)

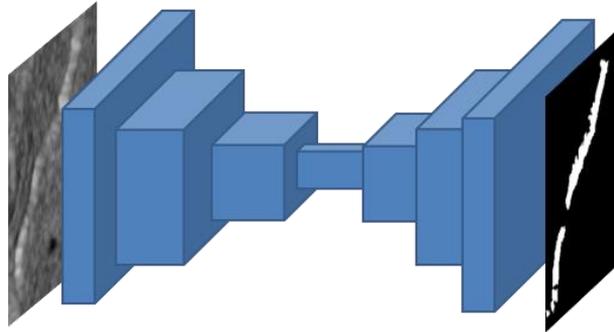


研究目的

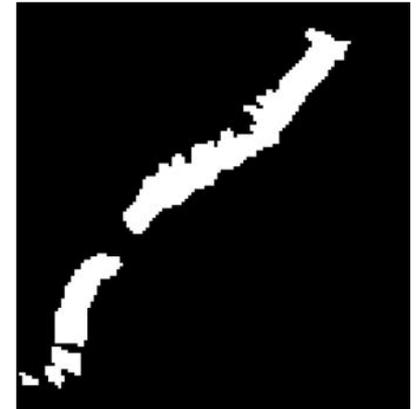
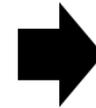
Sentinel-1強度画像を用いた**深層学習**による土砂移動検出の検証



衛星SAR強度画像



深層学習モデル



検出結果

→救助や航空観測などの各種災害後対応の効率化に寄与



Sentinel-1

▶ヨーロッパが運用しているCバンドSAR衛星

高頻度観測

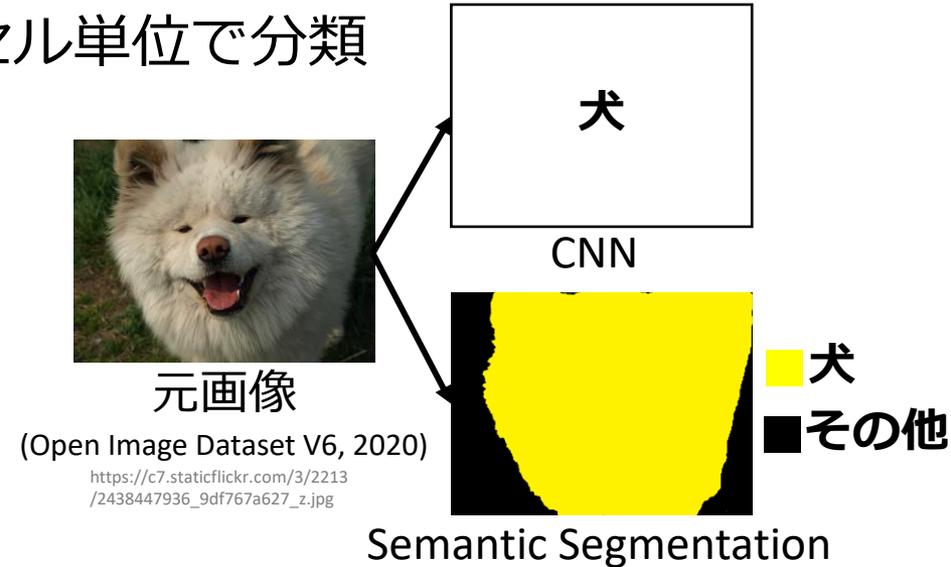
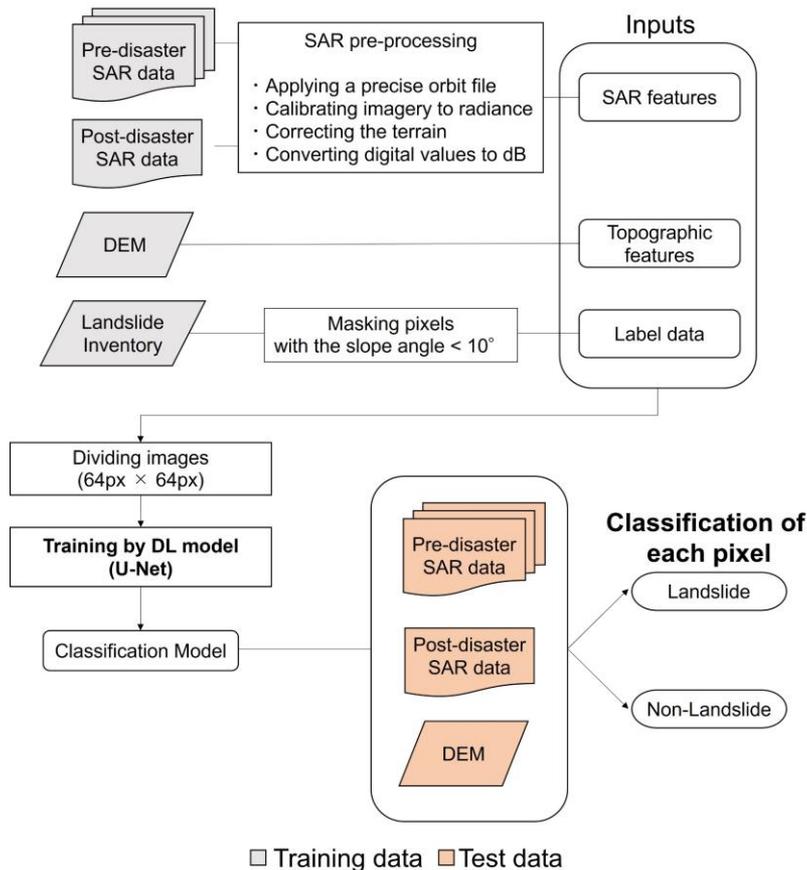
長期アーカイブ

オープン&フリー

土砂移動検出手法

▶ セマンティックセグメンテーションによる検出

- 画像を2次元的に学習 + ピクセル単位で分類
- モデルには「U-Net」
(Ronneberger, 2015) を使用



Input features

傾斜角

観測方向からの相対斜面方位角

災害前後の強度差 [VV&VH]

災害前強度の標準偏差
[VV&VH]

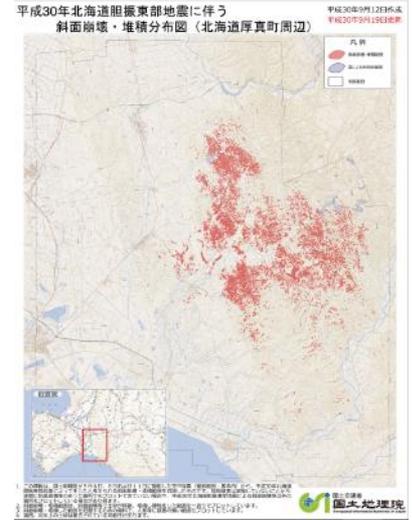
災害後VV-VH

対象事例と使用データ

- ▶地震事例（2つ）と豪雨事例（2つ）でそれぞれ検証
 — 検証には国土地理院や先行研究の公開するポリゴンデータを使用

① 2018年北海道胆振東部地震

	観測日時	シーン数	観測方向
災害前データ	2017/09/10~2018/08/24	30シーン	Descending
災害後データ	2018/09/06	1シーン	



https://saigai.gsi.go.jp/3/20180906/iburi-hokai_2-zentaizu.pdf

② 2018年ロンボク島（インドネシア）地震

	観測日時	シーン数	観測方向
災害前データ	2017/08/04~2018/07/30	31シーン	Descending
災害後データ	2018/08/23	1シーン	



<https://saigai.gsi.go.jp/3/20170726handokuzu/handokuzu.pdf>

③ 2017年九州北部豪雨

	観測日時	シーン数	観測方向
災害前データ	2016/01/05~2017/06/26	27シーン	Descending
災害後データ	2017/07/09	1シーン	

④ 2018年西日本豪雨

	観測日時	シーン数	観測方向
災害前データ	2017/06/03~2018/06/10	31シーン	Ascending
災害後データ	2018/07/16	1シーン	

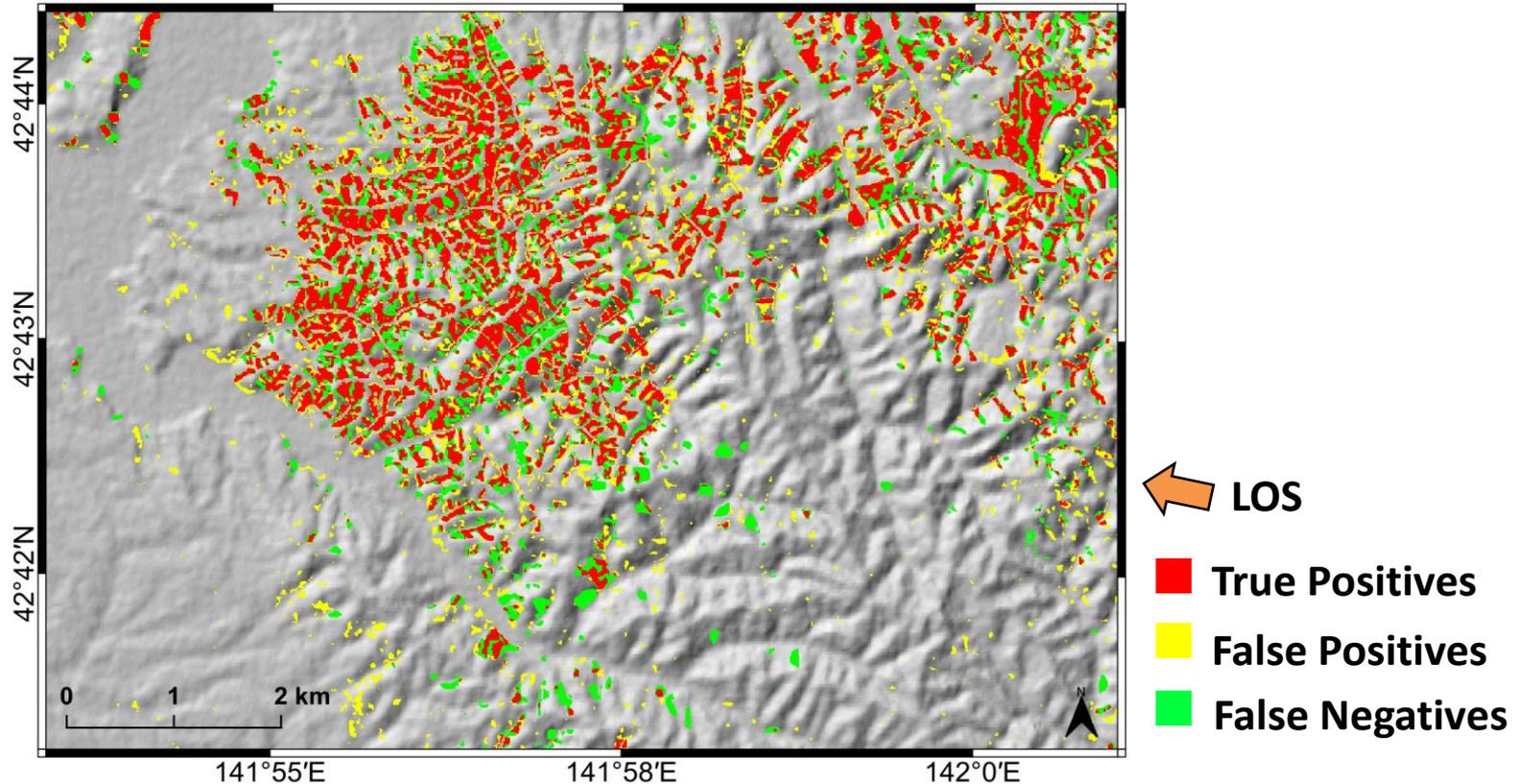
土砂移動検出結果：精度

学習事例	検証事例	精度 (Kappa係数)
2018年胆振地震	2018年胆振地震	0.625
	2017年九州北部豪雨	0.186
2017年九州北部豪雨	2018年胆振地震	0.294
	2017年九州北部豪雨	0.262
2018年胆振地震 +2018年ロンボク島地震	2018年胆振地震	0.542
	2017年九州北部豪雨	0.247
2017年九州北部豪雨 +2018年西日本豪雨	2018年胆振地震	0.238
	2017年九州北部豪雨	0.237
全て(4つ)の事例	2018年胆振地震	0.454
	2017年九州北部豪雨	0.254

- ▶ 学習事例と同一事例では精度が**良く**、異なる事例では精度**低下**
- ▶ 複数の事例を学習させることによるモデルの**汎用性向上**が示唆

検出結果（2018年胆振東部地震）

Training : 2018年胆振東部地震 **Test** : 2018年胆振東部地震



Recall(%)	Precision(%)	kappa
61.62	66.04	0.625

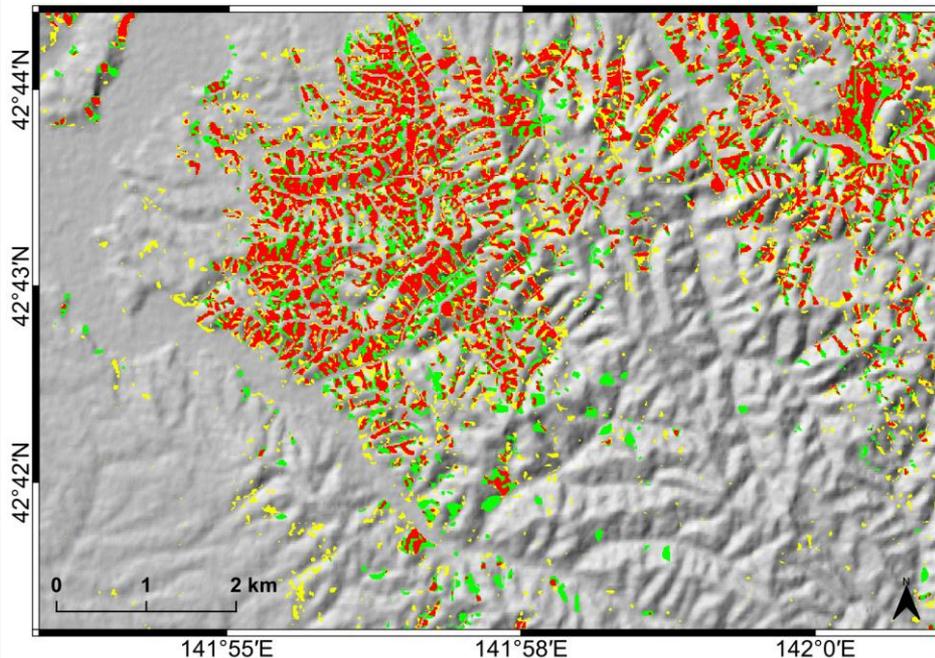
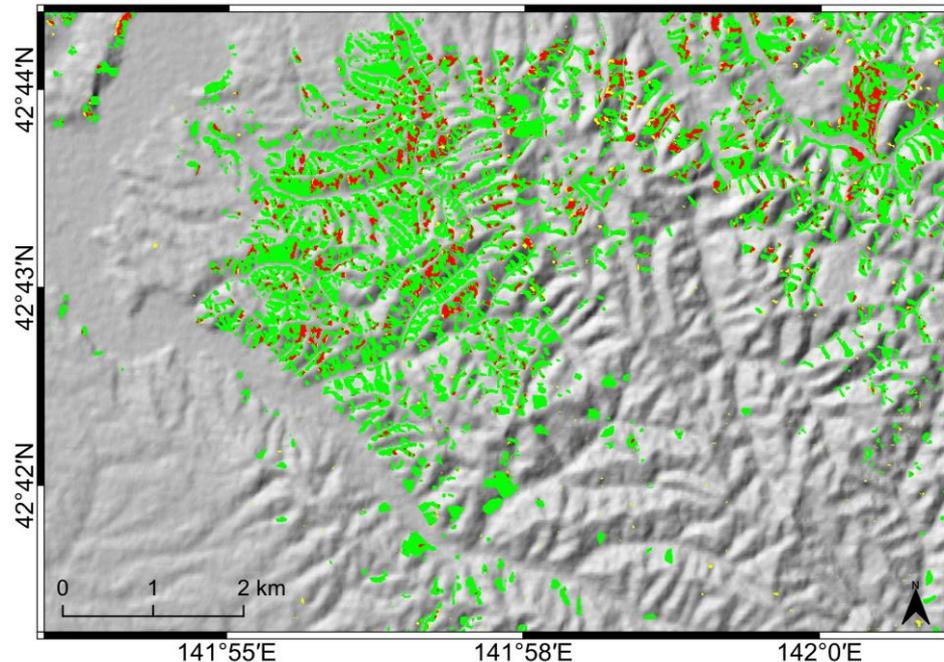
▶ 形状・規模の違いによる精度低下はあるが、多くの土砂移動を検出

ピクセルベース機械学習との比較

Training : 2018年胆振東部地震 **Test** : 2018年胆振東部地震

ピクセルベース機械学習
(Gradient Boosting)

深層学習
(Semantic Segmentation: U-Net)



Recall(%)	Precision(%)	kappa
-----------	--------------	-------

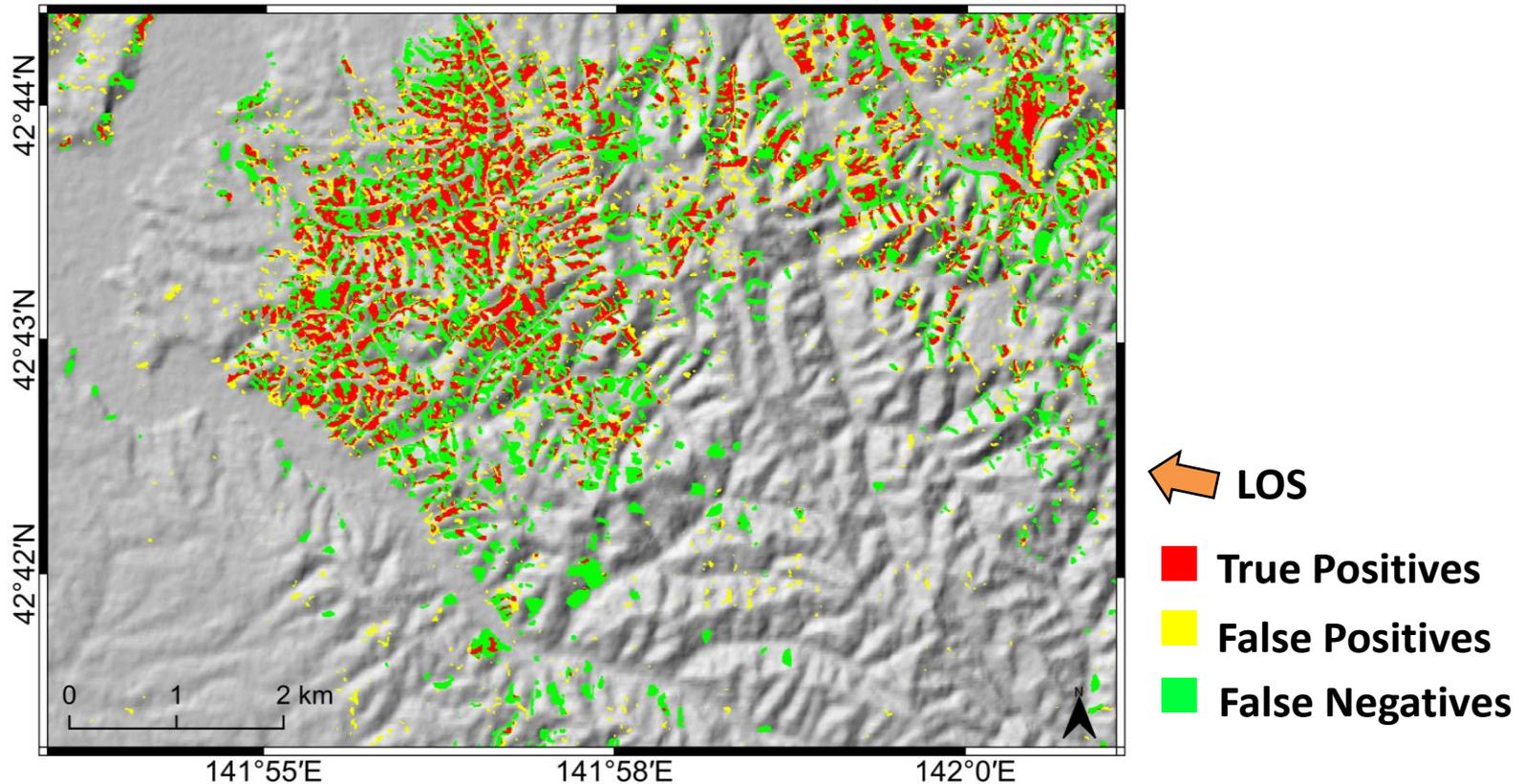
10.79	68.54	0.182
-------	-------	-------

Recall(%)	Precision(%)	kappa
-----------	--------------	-------

61.62	66.04	0.625
-------	-------	-------

検出結果（2018年胆振東部地震）

Training : 全4事例 **Test** : 2018年胆振東部地震



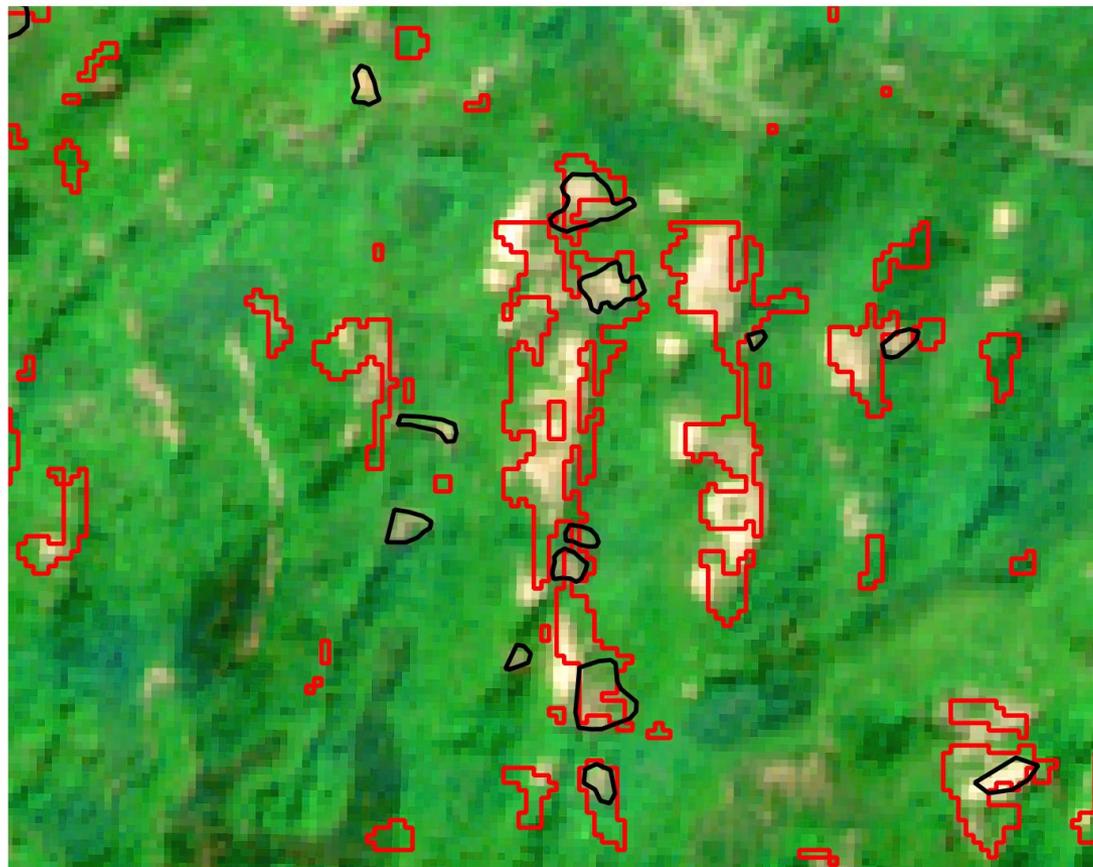
Recall(%)	Precision(%)	kappa
37.57	62.16	0.454

▶ 同事例に比べRecallは低下
Precisionは同程度

衛星SARによる検出結果

- ▶ 検証用のインベントリデータにはない土砂移動も多く検出
 - ➡ 災害直後の航空観測では検出できていない土砂移動
- 衛星SARの有効性を示唆（※胆振地震では発災後約2時間程度で観測）

0 250 500 m

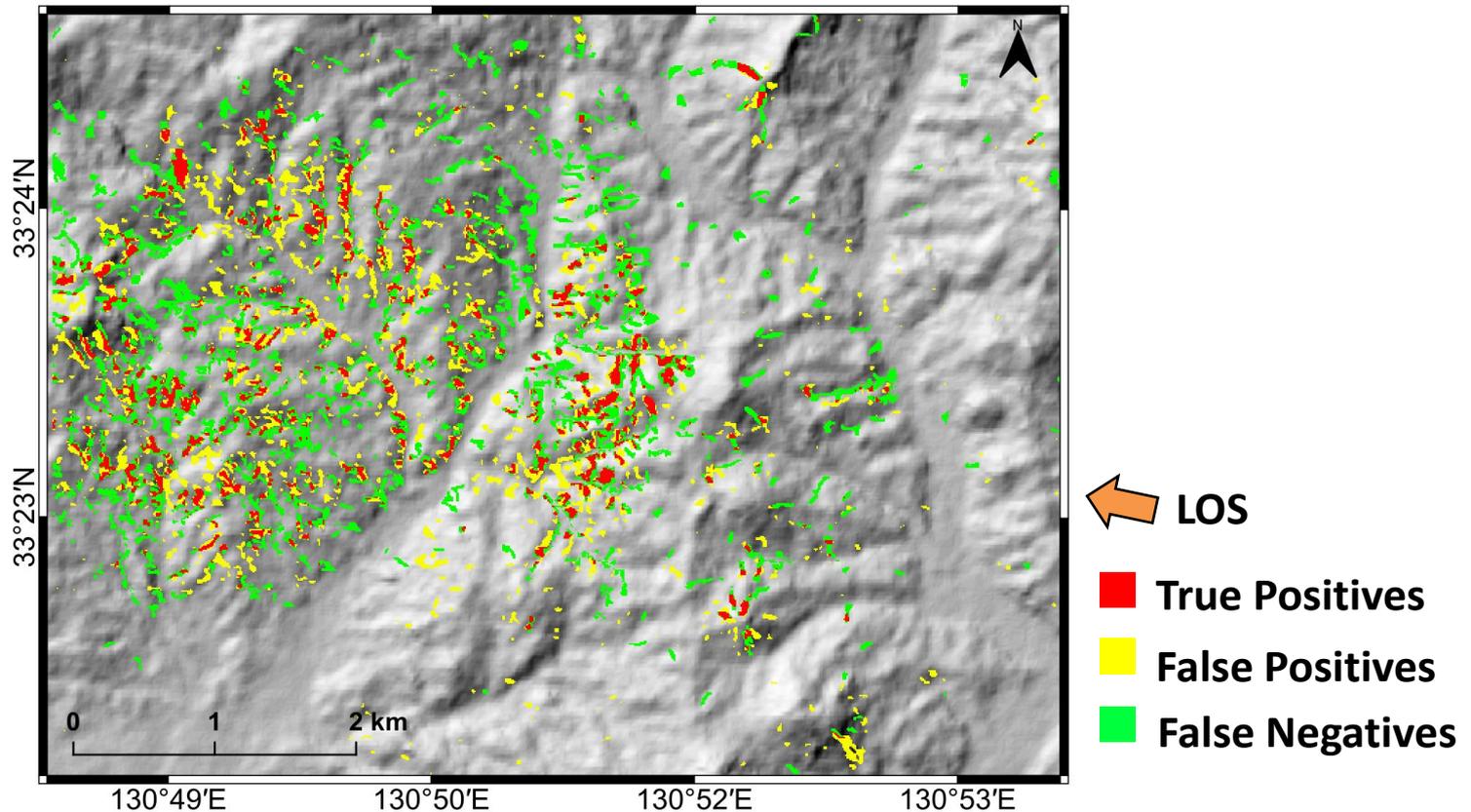


- Landslide Inventory data
- Detection Results

2018年胆振東部地震における検出結果の一例（光学画像観測日：2019/05/25）

検出結果（2017年九州北部豪雨）

Training：全4事例 Test：2017年九州北部豪雨



Recall(%)	Precision(%)	kappa
19.98	37.97	0.254

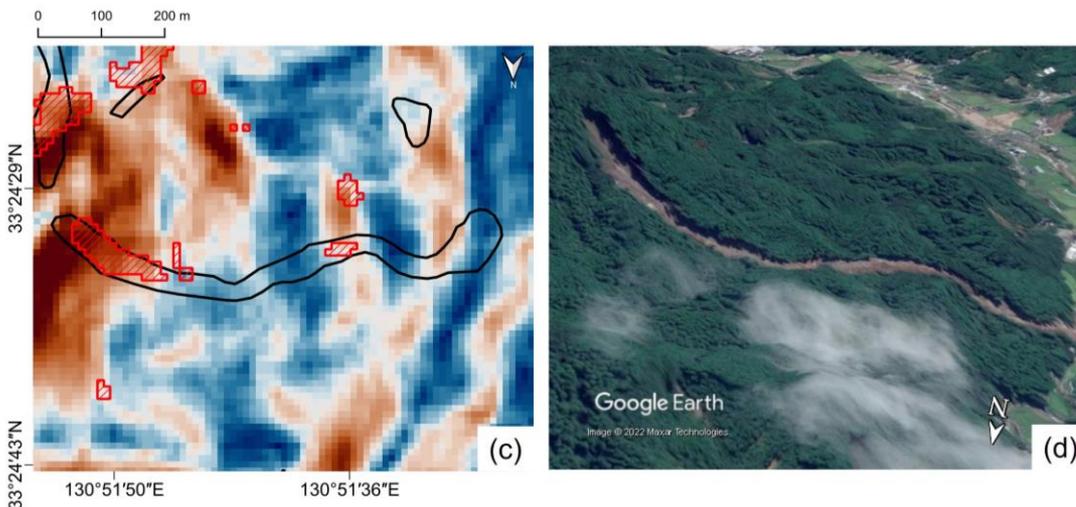
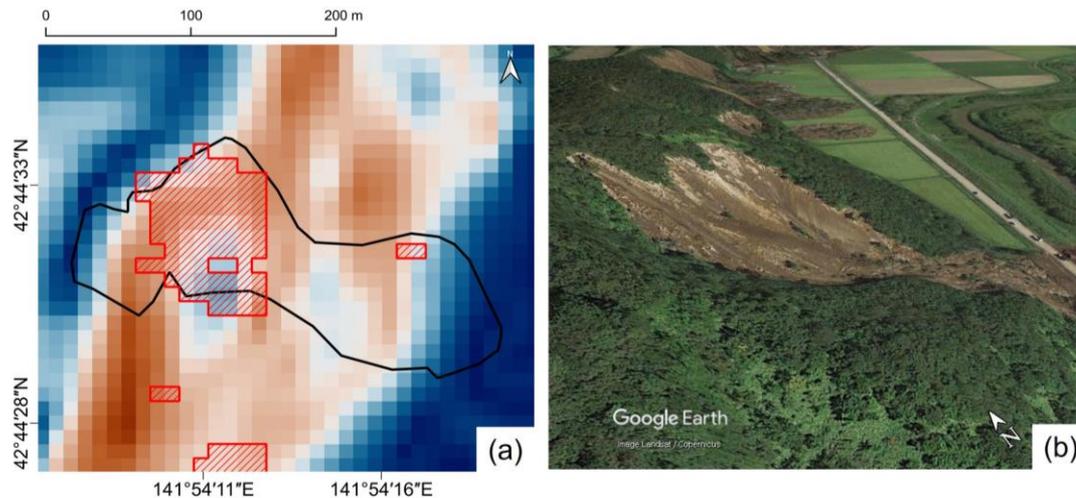
▶ 誤検出・未検出が目立つ

— 小規模な土石流や複雑な形状を捉えることが困難か

▶ 大局的な被害集中地域の把握は可

検出箇所の特徴

- ▶ 多くの場合、土砂移動の**崩壊部**に該当する箇所を検出
 - 土砂流出経路の途中などでは強度変化が小さいか
- ▶ 観測方向に対して奥側の斜面（=LIA大きい）における未検出も多め



0 35

Slope (°)

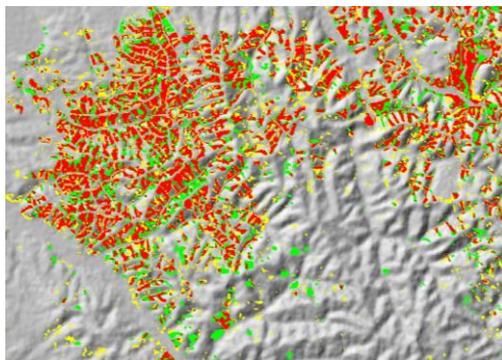
□ Landslide Inventory data

▨ Detection Results

(※光学画像：Google Earth)

まとめと今後の展望

- ▶ 発災直後の**Sentinel-1強度情報**と**深層学習**を用いることにより、衛星SARデータから土砂移動の一部を検出をすることに成功
 - 航空観測では検出できていない土砂移動も一部検出
 - 土石流のような細長い形状の土砂移動検出には課題
- ▶ 同一事例を学習させた場合に比べ、異なる事例で学習させた場合は検出精度が低下
- ▶ 複数事例を学習させることによる検出モデルの汎用性向上が示唆



発災時・直後

- ▶ 被害が甚大な地域把握
- ▶ 適切な救助・避難・輸送ルートを選定
- ▶ 二次被害の防止

災害後

- ▶ 迅速な復旧
- ▶ 詳細な被害調査
- ▶ 今後の災害対策

今後も異なる事例や衛星SAR用いた更なる検証が必要

謝辞

本研究を行うにあたり、使用させていただいたソフトウェアおよびデータの関係者各位に心より感謝いたします。

■ European Space Agency (ESA)

- Sentinel-1
- Sentinel-2
- SNAP

■ 国土地理院

- 2017年九州北部豪雨、2018年北海道胆振東部地震における土砂移動箇所分布図

■ 広島大学平成30年7月豪雨災害調査団（地理学グループ）

- 平成30年7月豪雨による広島県の斜面崩壊分布図

■ Ferrario 2018

- 2018年インドネシア・ロンボク島地震における土砂移動データ