

## 学 位 論 文 内 容 の 要 旨

学位論文題目	災害発生後の光学センサ画像および SAR 画像を用いた土砂災害検出手法の開発
氏 名	江口 毅
<p>衛星画像は広域を一度に観測することが可能なことから、被害が広域におよぶ場合や同時多発的な災害が発生した場合において、短時間で広域の被害状況を把握できる有効な手段である。このような背景から国内外において衛星画像を用いた被害状況把握に関する研究が多く行われてきた。</p> <p>既往の研究では災害発生前後の 2 時期の画像の差分や相関をとることで災害による変化箇所を検出する手法が多く用いられている。このような手法では災害発生前後 2 時期の画像が入手できることが前提となる。</p> <p>しかし、地域によってはアーカイブ画像が少なく、災害発生前の古い画像しかない場合や雲が映り込んでいることにより解析に利用できない画像しかない場合がある。また、2 時期の画像が入手できた場合でも、季節の違いによる影響の除去や画像の位置合わせ等の補正処理をデータセット毎に行う必要があり、大量の画像処理を必要とする大規模災害発生時には時間と労力が必要となる。</p> <p>本研究では、災害発生前のアーカイブ画像が入手できない場合やデータセット毎の補正処理を必要としない解析手法の開発を目的とし、災害発生後のみの衛星画像（光学センサおよび Synthetic Aperture Radar: SAR）から災害発生域、ここでは土砂災害発生域を検出する手法の開発を行った。また、本研究で開発した 5 種類の検出手法における、検出精度、災害への適用度、データの入手についての特徴を整理し、各検出手法の有効性について検証した。</p> <p>光学センサ画像を用いた検出手法の開発では、2008 年岩手・宮城内陸地震と 2009 年中国・九州北部豪雨において発生した土砂災害を対象とし、土砂災害の検出に一般的に用いられる正規化植生指数（Normalized Difference Vegetation Index : NDVI）と本研究で新たに考案する NIR, Blue, Red の 3 つの Band を組み合わせた NBR を指標とした 2 種類の検出手法の開発を行った。</p> <p>その結果、NDVI 画像と NBR 画像における土砂移動域・植生域・水域のヒストグラムの交点を閾値とすることで、災害発生後のみの衛星画像からでも土砂災害の原因となる土砂移動箇所を検出できることを示すことができた。</p> <p>具体的には、NDVI 画像を用いた検出では、2008 年岩手・宮城内陸地震では閾値を 0.15~0.62、2009 年中国・九州北部豪雨では閾値を 0.15~0.50 とすることで、500m<sup>2</sup> 以上の規模の土砂移動箇所を、2008 年岩手・宮城内陸地震では検出率 99% 正答率 29%、2009 年中国・九州北部豪雨では検出率 93% 正答率 4% の検出精度で検出でき、土砂移動箇所を見落としが少なく検出できることを示すことができた。</p> <p>NBR 画像を用いた検出では、2008 年岩手・宮城内陸地震では閾値を -0.23~0.13、2009 年中国・九州北部豪雨では閾値を -0.21~0.02 とすることで、500m<sup>2</sup> 以上の規模の土砂移動箇所を、2008 年岩手・宮城内陸地震では検出率 80% 正答率 52%、2009 年中国・九州北部豪雨では検出率 73% 正答率 3% の検出精度で検出でき、NDVI 画像を用いた場合と比べて誤検出が少なく検出できることを示すことができた。</p> <p>SAR 画像を用いた検出手法の開発では、平成 26 年 8 月豪雨において発生した土砂災害を対象として、土砂災害の検出に一般的に用いられる単偏波（HH, HV, VH, VV）画像と本研究で新たに考案する 2 偏波演算画像および 4 偏波演算画像を用いた場合の 3 種類の検出手法の開発を行った。</p> <p>その結果、3 種類全ての検出手法において、衛星から観て ±90 度未満の手前側の土砂移動箇所を概ね検出できた。</p>	

単偏波画像では HH 偏波画像を用いた検出が最も土砂移動箇所を検出することができた。閾値を  $-6.2 \sim -13.4$  と設定することで山の両側の土砂移動箇所を 19 箇所中 18 箇所検出することができ、土砂移動箇所を見落としが少なく検出できることを示すことができた。

2 偏波演算画像を用いた検出では  $-20.70 \sim -2.20$  と  $0.96 \sim 9.71$  の範囲の値、4 偏波演算画像では  $-37.30 \sim -0.64$  と  $0.98 \sim 16.09$  の値を土砂移動箇所として検出することで、衛星から観て山の手前側に位置する土砂移動箇所を 11 箇所中 11 箇所全て検出でき、単偏波画像を用いた場合と比べて誤検出が少なく検出できることを示すことができた。

本研究における成果は、災害発生前のアーカイブ画像が入手できない場合の土砂災害検出に有効であり、今後打ち上げが予定されている ALOS-3 や ALOS-4 が打ち上げられた際、アーカイブ画像が整備されるまでの間に発生した土砂災害の検出に貢献できる。また、データセット毎の前処理が不要であるため、機械学習のトレーニングデータを作成することが可能であり、土砂災害の自動検出にも貢献できる。

# 学位論文審査の結果及び試験，試問の結果報告書

## (論文博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博乙 第 145 号	氏名	江口 毅
最終試験担当者	主 審 査 委 員	長井 正彦 清水 則一 朝位 孝二 中村 秀明 鈴木 素之 三浦 房紀	
<p><b>【論文題目】</b>  災害発生後の光学センサ画像および SAR 画像を用いた土砂災害検出手法の開発  (Development for Detecting the Landslide Areas Using Single Optical Sensor Image and Synthetic Aperture Radar Image)</p>			
<p><b>【論文審査の結果及び試験，諮問の結果】</b>  本研究は、衛星リモートセンシングの光学データと SAR (合成開口レーダ) データを用い、土砂災害の検出を行う研究である。本研究では、災害の前後の衛星データを比較するのではなく、災害後の衛星データのみを使って災害の検出を行う事に大きな特徴がある。土砂災害は発生している箇所のピクセル値のヒストグラムを作成して閾値を求め災害域を検出する手法である。光学衛星データに関しては、近赤外、青、赤の3バンドからインデックスを算出し、そこから閾値を求め災害域を検出した。SAR に関しては、4 偏波 (HH, HV, VH, VV) の画像を用いてインデックスを算出し、そこから閾値を求め災害域を検出した。</p> <p>本論文は6章から構成されており、1章では序論として、既存研究について調査し、研究背景となる技術や課題、本研究の有効性を踏まえて目的を示した。</p> <p>2章では、災害発生後の NDVI 画像を用いた土砂災害の検出手法について説明している。災害発生後の NDVI 画像における土砂移動域 (斜面崩壊などにより土砂が移動した領域)・植生域・水域のヒストグラムの交点を閾値とすることで、災害発生後の NDVI から土砂移動箇所を検出できることを示した。また、NDVI 画像では異なる領域でも同じ値を示すピクセルが存在し、未検出や誤検出なども比較的多くあることを明らかにした。</p> <p>3章では、2章の結果を踏まえ、土砂移動域・植生域・水域がそれぞれ異なる値を示す新たな指標として近赤外 (NIR)、青 (Blue)、赤 (Red) の3バンドを組み合わせた NBR を考案した。災害発生後の NBR 画像を用いて、それぞれの領域のヒストグラムの交点を閾値とし土砂移動箇所を検出できることを示した。また、NDVI 画像と NBR 画像による検出手法を比較し、NDVI 画像を用いた検出手法は土砂移動箇所の見落としが少ない情報を得ることができ、NBR 画像を用いた検出手法は誤検出が少ない情報を得ることができると明らかにした。</p> <p>4章では、災害後に雲の影響がある場合を想定し、SAR (合成開口レーダ) を用いた土砂災害の検出手法について説明している。災害発生後の ALOS-2/PALSAR-2 単偏波 (HH, HV, VH, VV) 画像を用いて土砂移動箇所の検出を行った。土砂移動域・植生域・水域のヒストグラムの交点を閾値とすることで、土砂移動箇所を検出することができた。しかし、誤検出が多く土砂域の形状や位置を把握することが困難であることも分かった。</p> <p>5章では、4章の結果を踏まえ、4種類ある偏波を組み合わせた2偏波演算画像と4偏波演算画像を考案し、土砂移動箇所の検出を試みた。2偏波演算画像用いた場合と4偏波演算画像を用いた場合の検出結果に大きな違いは見られなかった。また、2偏波演算画像および4偏波演算画像を用いた検出では、単偏波画像を用いた検出と比較して、土砂移動箇所の見落としがあるが誤検出が少ない検出結果となった。</p>			



6章では、本研究の成果をとりまとめた。主な成果は以下の通り。

- 1) 本研究で開発した NDVI 画像、NBR 画像、単偏波画像、2 偏波演算画像、4 偏波演算画像を用いた 5 種類の検出手法を示し、それぞれ検出精度、災害への適用度、データの入手について特徴を示した。
- 2) 複数の検出手法を組み合わせることで、より高い検出精度や災害への適用度を実現することができると考えられる。例えば、NDVI 画像を用いた検出結果と NBR 画像を用いた検出結果の両方において検出した箇所を土砂移動箇所とすることで、より信頼性のある情報を得ることが可能になる。
- 3) 本研究で開発した手法は、画像のピクセル値を基準とした閾値を用いて土砂災害の検出を行うため、異なる領域でも土砂移動箇所と同じ値を示すピクセルは区別することができず誤検出してしまいが、誤検出を低減するために、GIS データや裸地マップなどの衛星データ以外のデータを活用することで精度の向上が図れる。

公聴会には、27名の参加があった。公聴会での主な質問は、①開発した5種類の手法で最も良い検出手法や特徴について、②衛星データのピクセル値による検出精度手法について、③実際の災害現場での利用方法について、④次期衛星のALOS-3、ALOS-4への適用について、⑤今後の研究の展望について、であり、活発な質疑応答が行われ、いずれの質問に対しても発表者からは適切な回答がなされた。

以上より本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士(工学)の論文に十分に値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する回答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記の通りである。(関連論文 計3編)

- 1) 江口毅, 三浦房紀, 衛星リモートセンシングを用いた地震および豪雨による斜面崩壊発生箇所の早期発見手法, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 72, No. 1, pp.11-20, 2016年12月.
- 2) 江口毅, 三浦房紀, 災害発生後のみのALOS-2/PALSAR-2画像による斜面崩壊域の早期発見手法, 土木学会論文集 F6 (安全問題), Vol. 74, No.1, pp.1-10, 2018年5月.
- 3) Tsuyoshi EGUCHI, Fusanori MIURA, A study on detecting the locations of slope failure due to earthquakes and heavy rains by using satellite remote sensing, ARMS 8 (8th Asian Rock Mechanics Symposium), 2014.10.14~16.