

2020 年 7 月 3～4 日熊本県西部の土砂災害における 衛星画像からの斜面変動範囲抽出の試み

国立研究開発法人 防災科学技術研究所

水・土砂防災研究部門 秋田寛己・若月 強・檀上 徹

マルチハザードリスク評価研究部門 佐藤昌人

1. はじめに

2020 年 7 月 3 日から 7 月 31 日にかけて、日本付近に停滞した前線の影響によって暖かく湿った空気が継続して流れ込み、九州各地では大雨となり、人的被害や物的被害が発生した¹⁾。この大雨により、全国では土砂災害が 8 月 31 日 18:00 時点で 941 件(うち、土石流等 146 件、地すべり 80 件、がけ崩れ 715 件)発生し、熊本県が 222 件と最大であった²⁾。全国の被害状況を見ると、死者 17 名、家屋の全壊 26 戸、半壊 16 戸、一部損壊 118 戸という状況である²⁾。

過去の例では、平成 30(2018)年 7 月豪雨や令和元(2019)年東日本豪雨など、近年は土石流や斜面崩壊などの斜面変動による土砂災害が広域的に発生するケースが増えており、救助活動や早期の復旧のために斜面変動範囲を即時に把握することが求められている。

防災科学技術研究所では、斜面変動範囲の早期把握を目指し、本災害のあった熊本県芦北町・津奈木町付近で現地調査を行なった。現地での斜面変動の発生状況をふまえた上で、災害前後の衛星画像から作成した NDVI 差分画像を使用し、斜面変動範囲の抽出を試みた結果を報告する。

2. NDVI 差分画像について

地表の物体は種類により、波長帯ごとに電磁波を反射する強さ(=反射率)が異なることが知られている³⁾。図 1 に土砂・植物・水における波長帯の反射特性を示す。横軸は波長、縦軸は反射の強さである。植物の葉に含まれるクロロフィルは、短波長赤外域の電磁波を吸収しやすく、近赤外域の電磁波を反射する特性があり、土砂はその逆の特性がある。衛星画像は複数の波長帯(マルチバンド)の電磁波の反射率を記録しているため、GIS(地理情報システム)ソフト上で演算を行なうことで、地表の物体の種類を広域的に把握することが可能である。

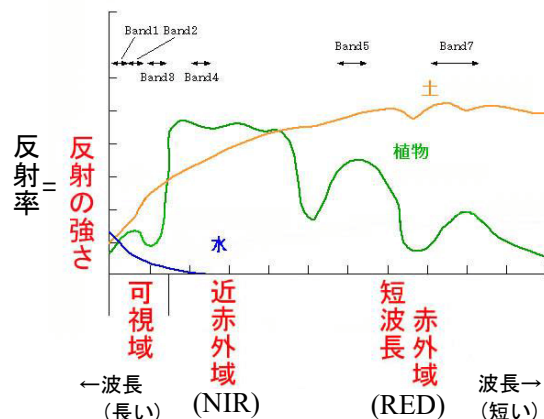


図 1 土砂・植物・水における波長帯の反射特性
(ESRI JAPAN の説明図³⁾を改変し使用)

このような地表の物体の反射率の特性を利用した指数の 1 つとして、(1)式で表わされる Normalized Difference Vegetation Index (NDVI: 正規化植生指数)⁴⁾は、植物の活性度の指数として裸地や植生の広域的な判別に用いられる。

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、NIR は近赤外域の反射率であり、RED は短波長赤外域の反射率である(図 1)。NDVI 値は-1.0～1.0 の範囲になり、短波長赤外域の反射率に対して近赤外域の反射率が大きいほど値が増大する。そのため、植物・水の NDVI 値は大きく、土砂の NDVI 値は小さくなる。また、市街地の NDVI 値は大きい傾向がある。

図 2 に災害前の熊本県芦北町・津奈木町を主な範囲とした Sentinel-2 衛星画像(2020 年 6 月 10 日撮影:分解能 10 m、L2A)から作成した NDVI 画像を示す。なお、L2A は衛星画像の処理レベルをあらわしており、今回使用した衛星画像にはオルソ補正と大気補正が適用されている⁵⁾。図 3 は、同範囲での災害後の NDVI 画像(2020 年 8 月 19 日撮影:分解能 10 m、L2A)である。これらを見ると、山間部などの植生が存在する範囲は NDVI 値が大きく、土砂が露出した裸地・市街地・水域などは NDVI 値が小さくなることが読み取れる。斜面変動が発生すると、植生の生育する範囲が裸地化して土砂が露出するため、発生前よりも NDVI 値が減少すると考えられる。

また、(2)式を用いると災害前後の 2 時期の NDVI の差分値を計算し、NDVI 差分画像を作成することができる。

$$NDVI \text{ 差分値} = NDVI_{\text{befor}} - NDVI_{\text{after}} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、NDVI_{befor} は災害前の NDVI 値であり、NDVI_{after} は災害後の NDVI 値である。差分することにより、災害後の画像に示された裸地(土砂露出範囲)から、過去の斜面崩壊地や造成地など既存の裸地を除去できると考えられる。すなわち、斜面変動などにより新たに裸地化した場所は NDVI 差分値が大きくなり、災害前後の地表の変化が少ない場所は、NDVI 差分値が 0 に近づく。なお、使用している衛星画像は分解能 10 m であるため、面積 100 m²(10 m×10 m)以下の変化は捉えることができない。

4 章ではこの NDVI 差分画像を使用して、斜面変動範囲を抽出することを試みた。なお、本報告の GIS 解析作業には、ArcGIS Pro 2.6(ESRI JAPAN)を使用した。

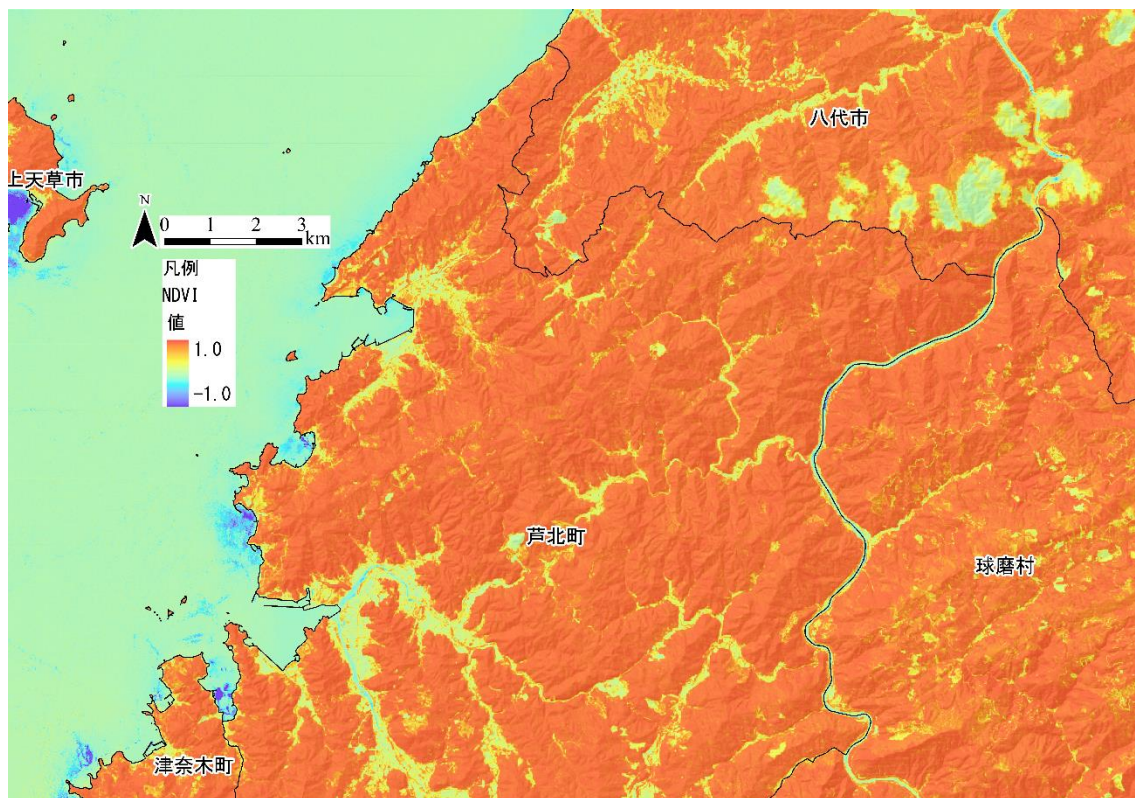


図2 災害前の NDVI 画像(2020 年 6 月 10 日撮影:分解能 10 m、L2A)。

背景の地形は国土地理院 10 m DEM を使用。黒線は国土数値情報の行政区。

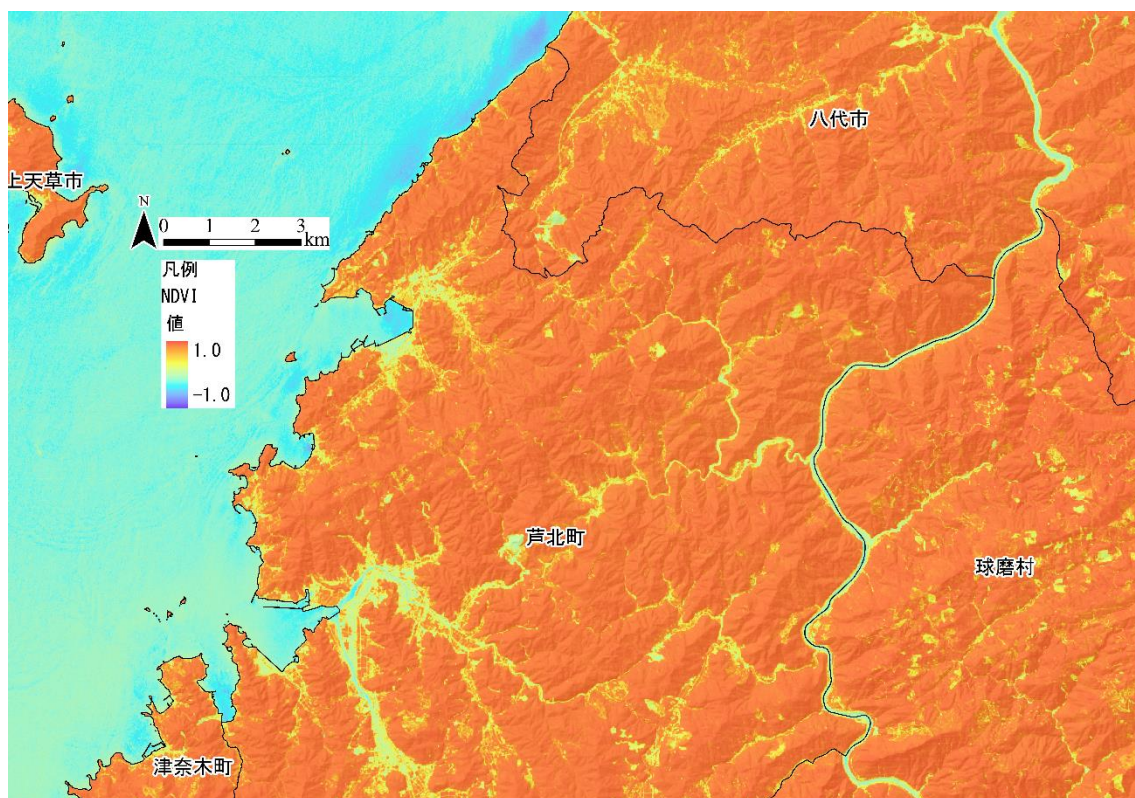


図3 災害後の NDVI 画像(2020 年 8 月 19 日撮影:分解能 10 m、L2A)。

背景の地形は国土地理院 10 m DEM を使用。黒線は国土数値情報の行政区。

3. 現地で確認した土石流の位置

NDVI 差分画像を用いた抽出結果を確認するため、本災害により熊本県内で発生した土石流の位置と発生状況を把握するための現地調査を実施した。その結果、芦北町で 10 地点、津奈木町・八代市・球磨村で各 1 地点の計 13 地点の土石流を確認した（これらは、今回の豪雨で発生した全数ではない）。各土石流の位置を図 4 に、発生状況を図 5 にそれぞれ示す。

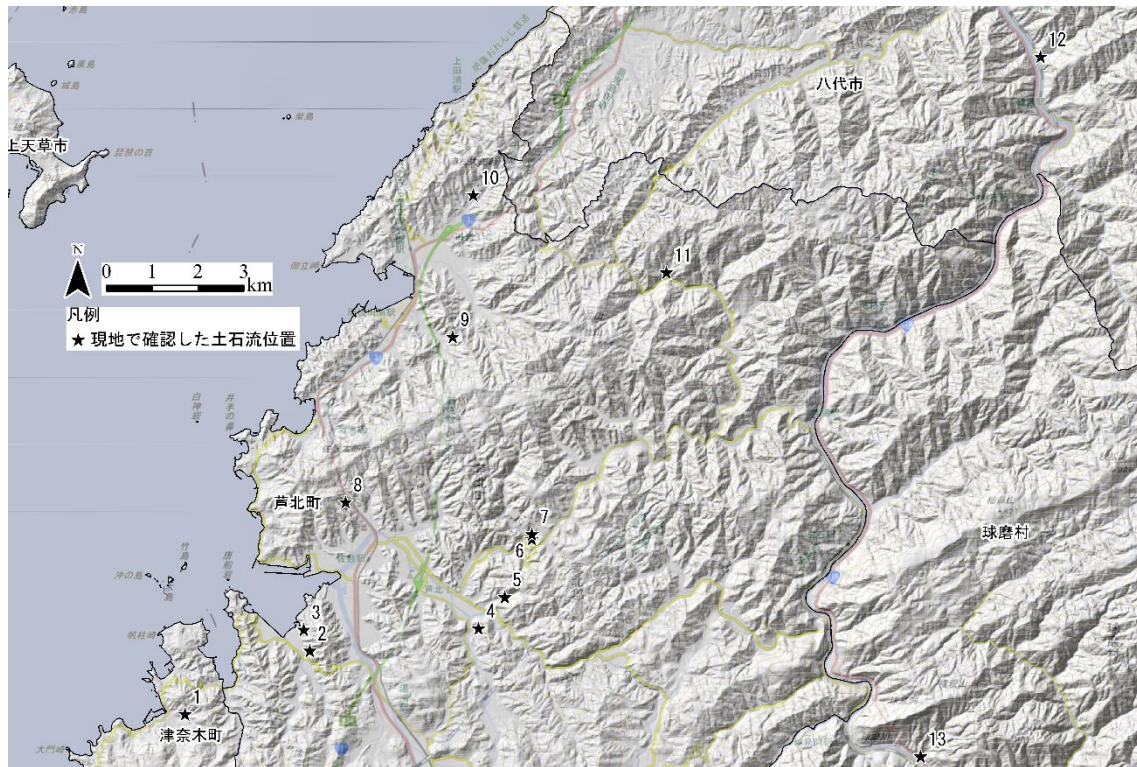


図 4 現地で確認した土石流の位置。

背景の地形は国土地理院 10 m DEM を使用。黒線は国土数値情報の行政界。

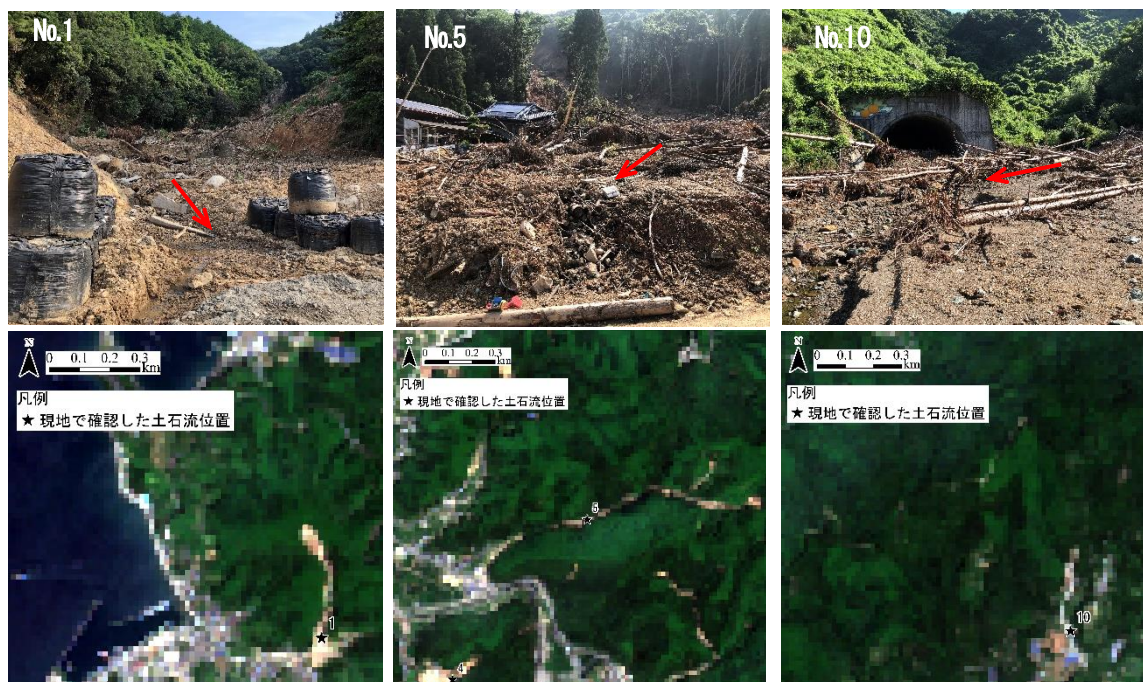


図 5 土石流の様子(上)と Sentinel-2 衛星画像(下)。★は写真撮影地点であり、赤矢印は流向である。

4. NDVI 差分画像を用いた斜面変動の抽出の試み

NDVI 差分画像を用いた斜面変動範囲の抽出の流れを図 6 に示す。すなわち、NDVI 差分値と斜面勾配のそれぞれについて、閾値を定めることで、斜面変動範囲を抽出する。そして、抽出結果と現地状況との比較を行なった。

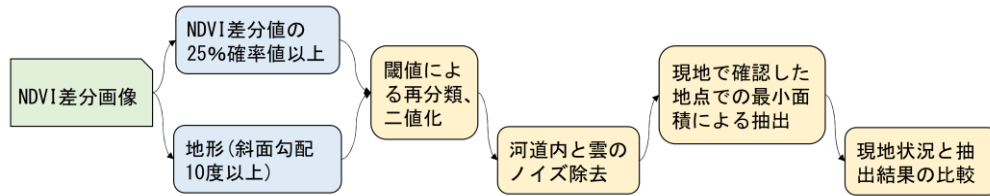


図 6 NDVI 差分画像を用いた斜面変動範囲の抽出フロー

(1) NDVI 差分値と斜面勾配の閾値の設定による二値化画像の作成

図 7 に作成した NDVI 差分画像を示す。斜面変動などにより裸地化した範囲は NDVI 差分値が大きくなり、白色で示されている。なお、災害前の衛星画像に雲が存在する範囲は NDVI 差分値が小さくなり(黒色)、災害後に雲が存在する範囲は NDVI 差分値が大きくなる(白色)。

調査した土石流(★印)の付近には、土石流により土砂が移動したと推察される白色の帯状の範囲が存在している。しかし、図 7 には市街地や水域などにも白色が散見され、斜面変動が発生した範囲と市街地・植生・水域の NDVI 差分値の境界が不明瞭であるため、発生範囲の抽出が難しい。

そこで、NDVI 差分値に閾値を定めることで、斜面変動範囲の抽出を行なう。図 8 に、斜面変動範囲(Landslide Area)・市街地(City Area)・植生(Forest Area)・水域(Sea Area)について、それぞれの NDVI 差分値の頻度分布と、頻度分布から作成したボックスプロットを示す。ここで、斜面変動

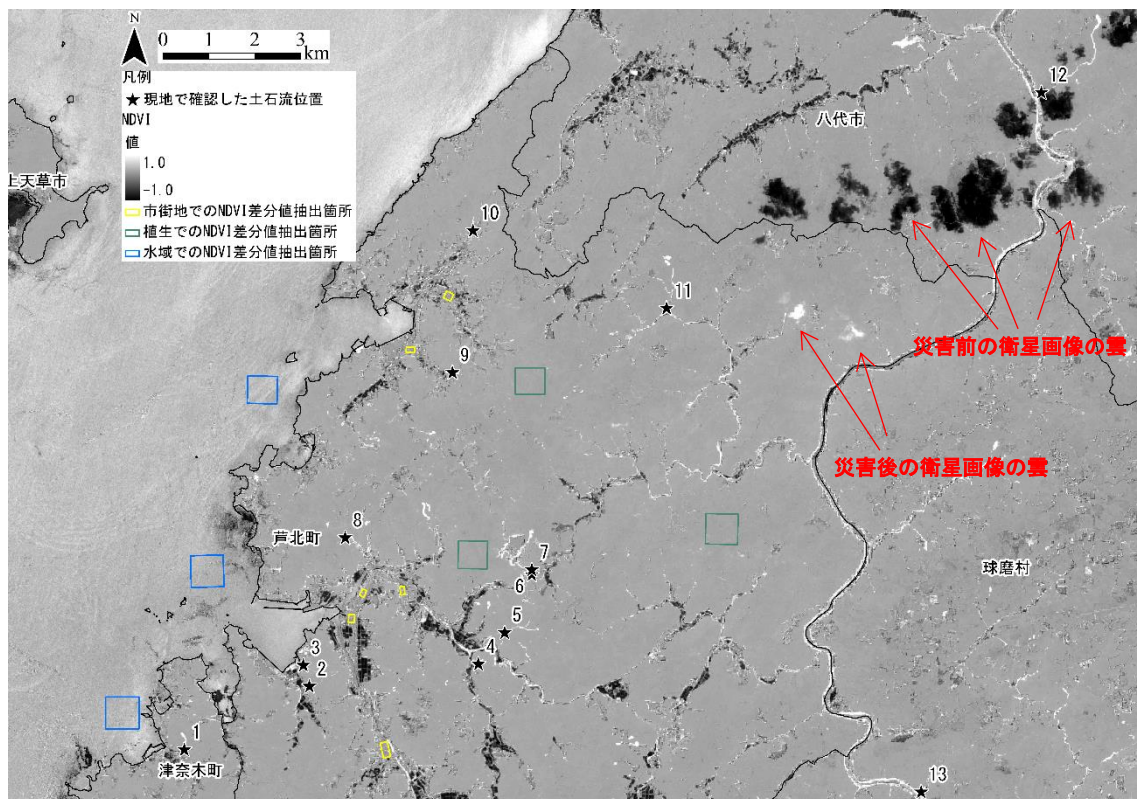


図 7 NDVI 差分画像。黒線は国土数値情報の行政区界。

範囲は、調査した土石流において Sentinel-2 衛星画像上で土砂移動により裸地になったことが確認できた範囲である。市街地・植生・水域は、それぞれ 3～6 カ所を任意で設定した(図 7)。

図 8 より、市街地・植生・水域は、災害前後の地表変化がほとんど無いため、NDVI 差分値は 0 付近に頻度のピークが存在する。一方、斜面変動範囲は、災害前後の地表変化が大きいため、NDVI 差分値が大きい領域に分布している。以上のように、斜面変動範囲の NDVI 差分値は市街地・植生・水域の NDVI 差分値とは異なる傾向を示す。そこで、斜面変動範囲のボックスプロットにおける NDVI 差分値の下位 25%確率値 0.3 を閾値とすると、それ以上の値を示す範囲は、斜面変動範囲にある程度相当すると考えられる。

一方、平地部でのノイズを取り除くため、国土地理院 10 m DEM から作成した斜面勾配を用いて、斜面変動範囲の下限の閾値を設けることにする。すなわち、本報では、一般に土石流流下区間の下限値と言われている斜面勾配 10° を閾値と設定する。

NDVI 差分値と斜面勾配の閾値による二値化画像を図 9 に、現地で確認した土石流付近の拡大図を図 10 にそれぞれ示す。図 10 から、土石流による裸地の場所を概ね抽出できていることがわかる。しかし、図 9 を見ると、現地で確認した土石流のうち、地点 2、6、7 の 3 カ所はうまく抽出できていない。その原因として、地点 2 は裸地の面積が小さいため、衛星画像にほとんど写っていないと考えられる(図 11)。地点 6 と地点 7 は、土砂が比較的長い距離を流下していて、ある程度裸地面積は大きいと思われるが、土砂の流下幅が狭く、流下域を林冠が覆っているため、衛星画像にほとんど写っていないと考えられる(図 12)。

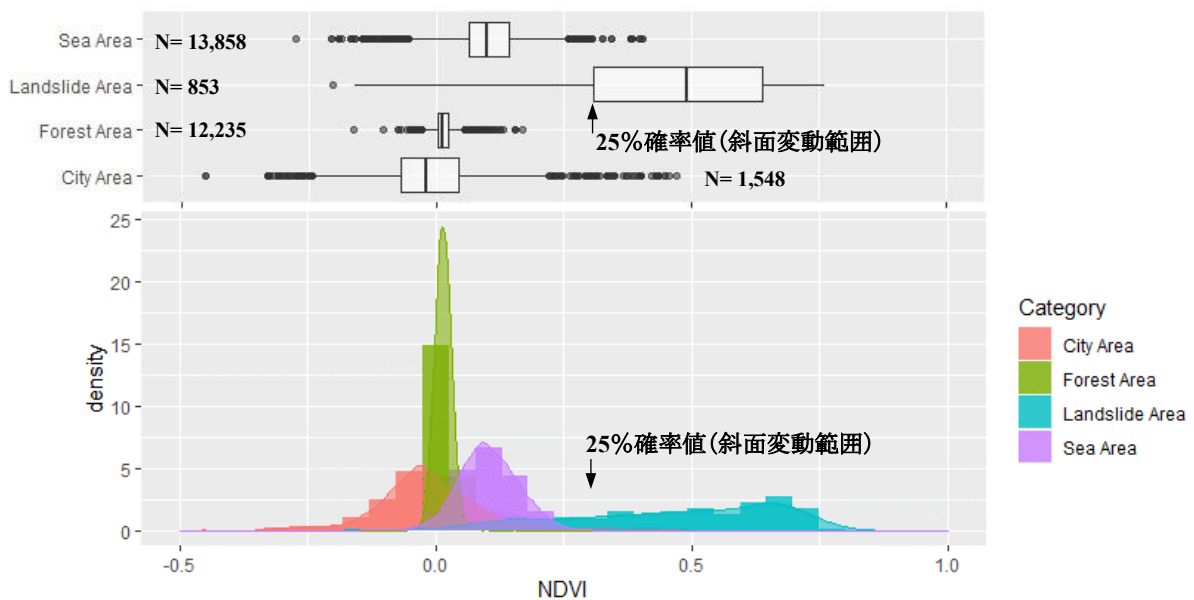


図 8 NDVI 差分値の頻度分布。N は集計したセル数である。

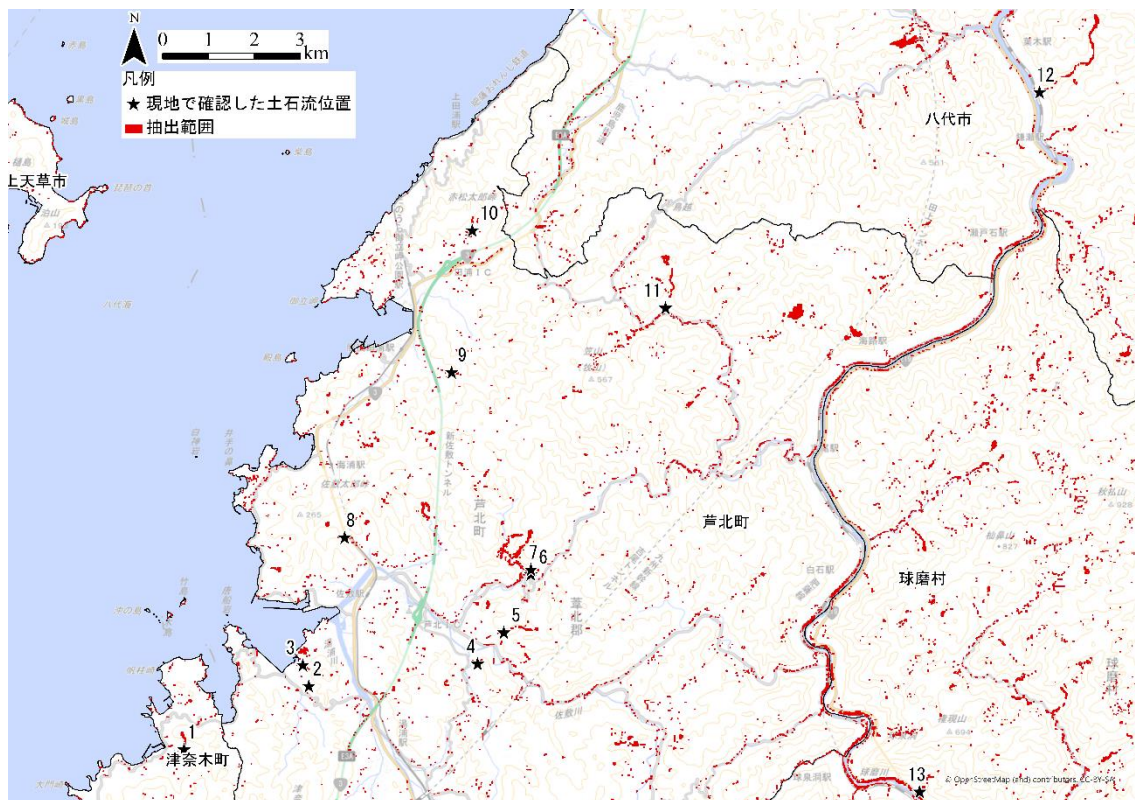


図9 NDVI 差分値と斜面勾配の閾値による二値化画像。

背景は国土地理院の淡色地図。黒線は国土数値情報の行政界。

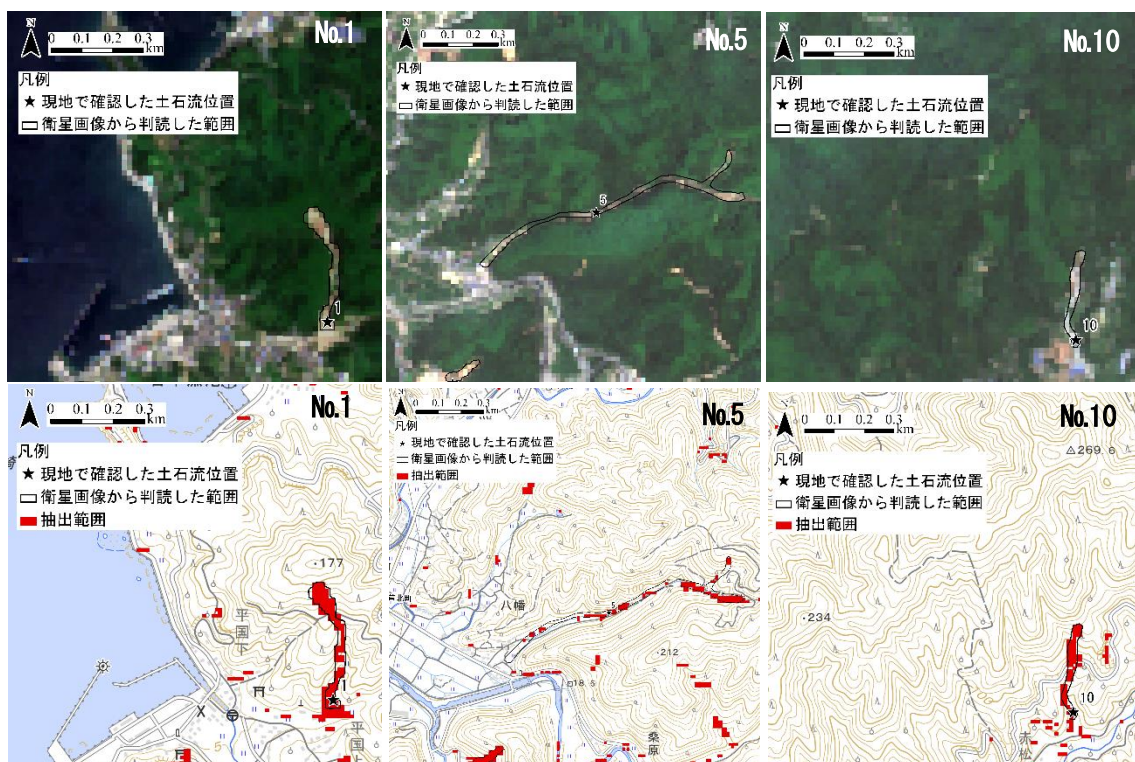


図10 斜面変動範囲が抽出できた事例(地点1、5、10)。(上)土石流付近の衛星画像(Sentinel-2)、(下)上図に対応する二値化画像(図9を抜粋)。下図の背景は、国土地理院の淡色地図。



図 11 斜面変動範囲が抽出できなかった事例(地点 2)。(左)土石流付近の衛星画像 (Sentinel-2)。地点 2 の白枠範囲はあくまで推定。(右)地点 2 の現地写真。赤矢印は流向。



図 12 斜面変動範囲が抽出できなかった事例(地点 6、7)。(左)土石流付近の衛星画像 (Sentinel-2)。白枠の範囲はあくまで推定。(右)地点 6、7 の現地写真。赤矢印は流向。

(2) 二値化画像からのノイズ(河道内の裸地、雲、小面積裸地)除去

図 9 の二値化画像には、河道内の裸地や雲の範囲がノイズとして残っている。そこで、図 13 に示すように、これらにマスクをかけてセルを除去する。河道内については、河道中心線の両側 100 m の範囲をマスクとして、その範囲に入るセルを除去する。河道中心線は ArcGIS Pro 2.6 の Stream Order ツールを使用し、Strahlar 法により作成した。雲は、目視によりマスクを作成した。

また、現地で確認した土石流のうち、二値化画像で抽出できた地点の最小面積を調べたところ、地点 3 の $6,100 \text{ m}^2$ であった。このことから、面積 $6,100 \text{ m}^2$ 以上を示す抽出範囲は斜面変動である可能性が高いが、 $6,100 \text{ m}^2$ 未満の範囲は斜面変動では無い可能性も存在する。そこで、二値化画像から面積 $6,100 \text{ m}^2$ 未満の範囲を小面積裸地として除去する。なお、斜面変動範囲の中には、図 14 に例を示すように形状が分離して抽出されるものが見られる。これらは本来、一つのまとまりの裸地と考えられる。そのため、災害後の衛星画像と等高線を目視で確認し、同一の谷地形の中で形状が分離された斜面変動範囲は一つのまとまりの面積として扱い、その上で小面積を除去した。これらの作業により、一般に崩壊面積が小さい崩壊深が 2~3 m 以下の表層崩壊などの規模の小さな斜面崩壊や土石流のほとんどが検出対象外になる。

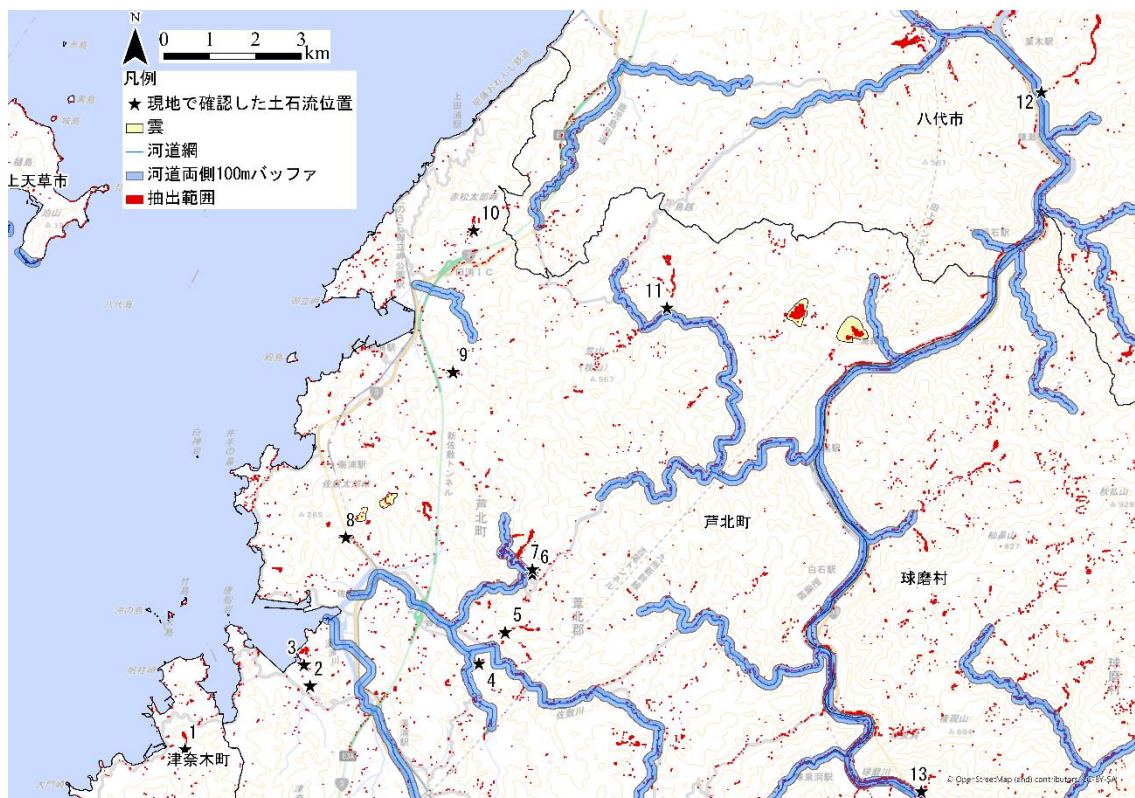


図 13 河道及び雲のマスク。背景は国土地理院の淡色地図。
黒線は国土数値情報の行政界。

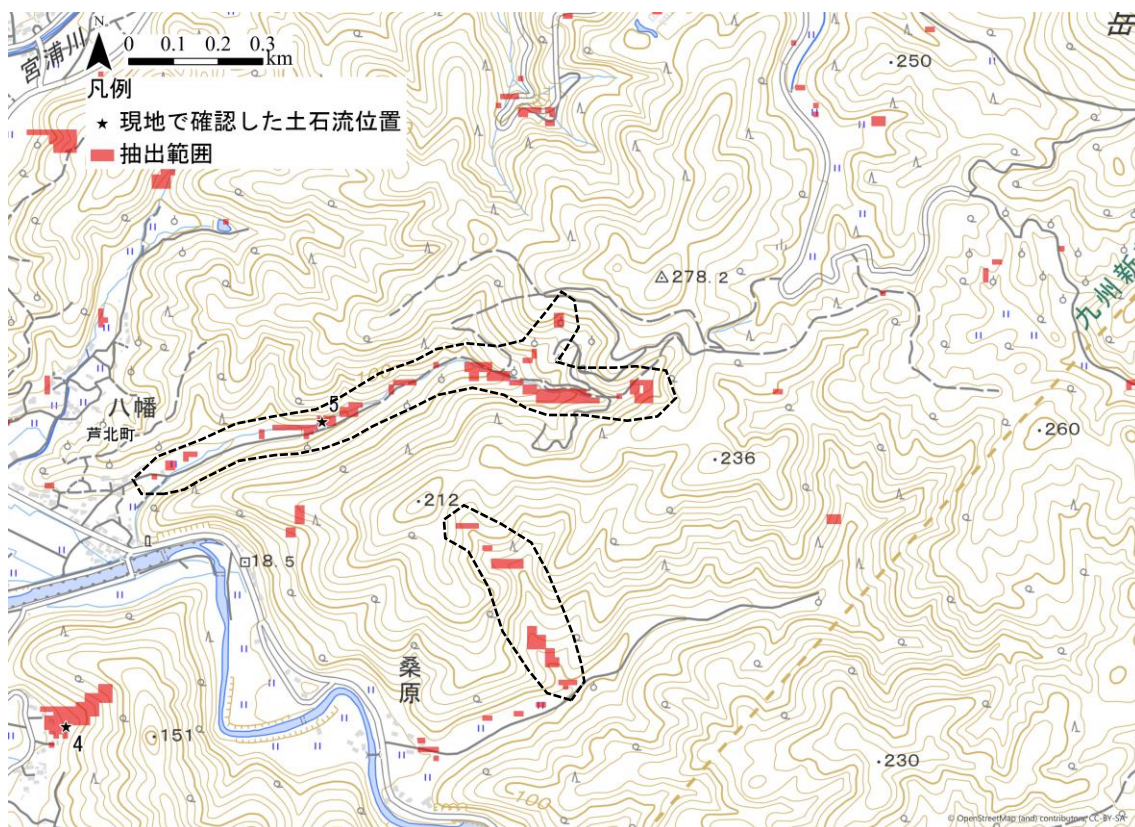


図 14 斜面変動範囲の形状が分離して抽出された例(黒点線の
範囲)。背景は国土地理院の淡色地図。

ノイズ除去の結果を図 15 に示す(この図を斜面変動範囲図と呼ぶ)。現地を確認した土石流の 13 地点中 10 地点(77 %)を抽出することができた。また、確認地点以外にも斜面変動が発生した可能性のある範囲が広域的に存在していることがわかる。これらのほとんどが、山地内の急勾配斜面や流路に位置しており、斜面崩壊や土石流であると推定される。

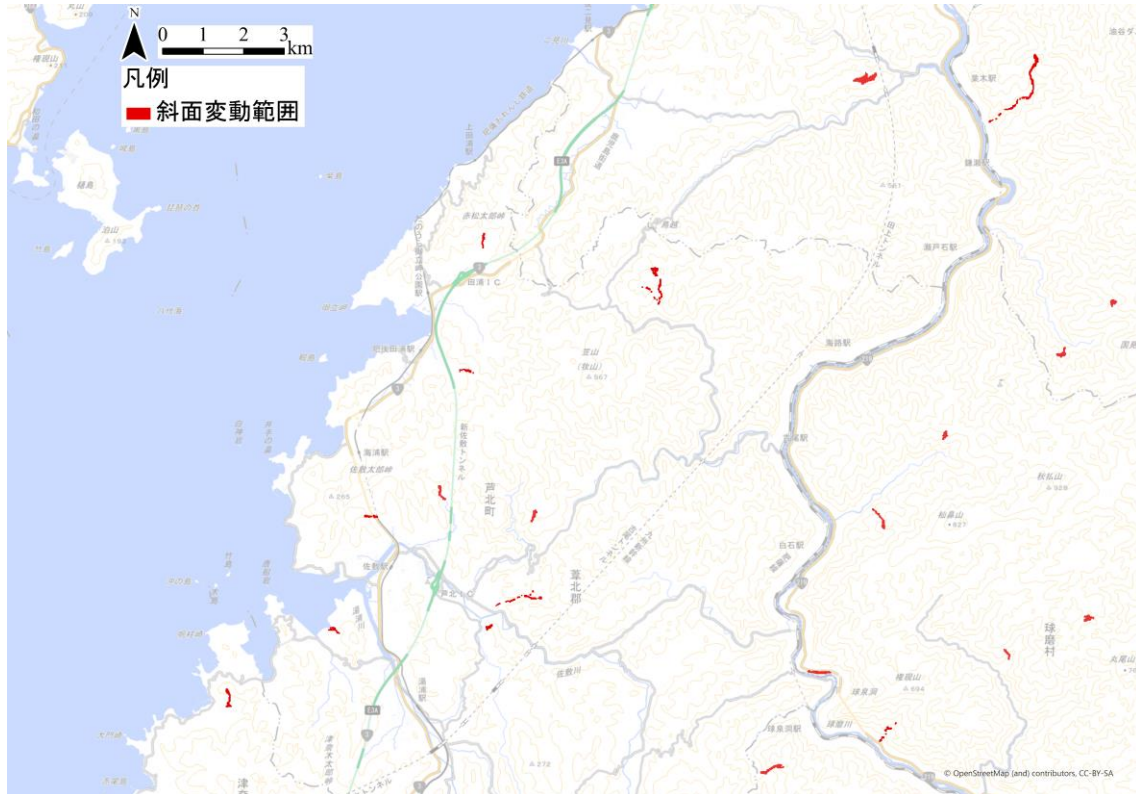


図 15 ノイズ除去された二値化画像(斜面変動範囲図)。
背景は国土地理院の淡色地図。

(3) 土石流面積の実測結果と抽出結果の比較

衛星画像から目視により判読した土石流の面積と NDVI 差分画像から作成した斜面変動範囲図における土石流の面積とを比較する。図 16 に結果を示すように、若干のばらつきはあるが両者は 1:1 の比例関係があり、NDVI 差分画像を用いた本手法はある程度正確に土石流の範囲を抽出できると考えられる。ただし、土石流の面積が大きい地点(例えば地点 5、12、13)では、本手法による面積は小さくなる傾向がある。この傾向は図 17 に示すように流走部が長い土石流によく見られ、流走部の中に部分的に NDVI 差分値が小さいセルが混ざっているためである。この部分は、流走部の上空が林冠で覆われていることなどが考えられる。

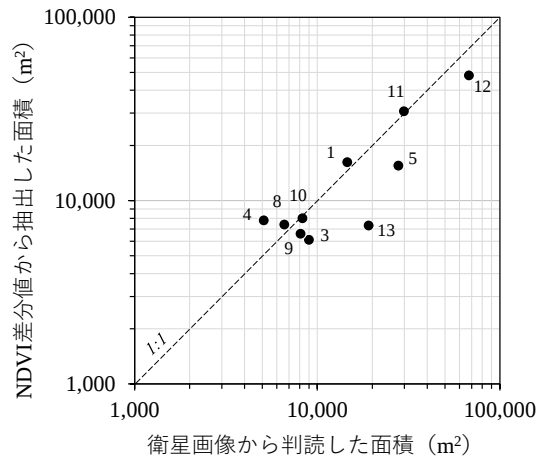


図 16 衛星画像から目視判読した土石流面積と本手法による土石流面積との関係。
プロットの数字は地点番号と対応。



図 17 土石流の流走部が長い場所における斜面変動範囲の抽出漏れの例
(地点 12)

5. まとめ

本報告では、斜面変動範囲の早期把握を目指し、2020(令和 2)年 7 月 3～4 日の熊本県芦北町・津奈木町付近の土砂災害を対象として、災害前後の Sentinel-2 衛星画像(分解能 10 m)を用いて NDVI 差分画像を作成した。さらに、現地調査で確認した斜面変動の発生状況を踏まえ、土石流などの斜面変動範囲の抽出を試みた。その結果は、以下のように示される。

- (1) 裸地化(土砂が露出)する斜面変動範囲は、市街地・植生・水域と比べて NDVI 差分値が大きい傾向があった。この特徴から、NDVI 差分値に閾値を設定することで、斜面変動範囲を抽出できると考えられた。
- (2) NDVI 差分値の閾値に加えて、斜面勾配の閾値(10° 未満を除去)の設定と、各ノイズ(河道内の裸地、雲、小面積裸地)の除去を行なうことにより、斜面変動範囲図を試作した。なお、面積 6,100 m² 未満の抽出範囲を小面積裸地として除去したため、表層崩壊や規模の小さな土石流は検出対象外である。
- (3) 現地で確認した土石流の約 77%(13 地点中 10 地点)が、試作した斜面変動範囲図で抽出されており、その範囲もある程度抽出することができた。
- (4) 今回用いた衛星画像は分解能が低いため、規模が小さい斜面変動の抽出は困難であり、また土石流の流走部のように細長い形状の場所は、上空が林冠で覆われていることが影響し、抽出漏れがあったと考えられた。

今後、分解能が高い衛星画像が使用できれば、表層崩壊などの規模の小さな斜面変動を捉えることができる可能性がある。これからもデータ蓄積や手法の改良を行ない、災害直後の情報発信が可能となるよう目指したい。

参考資料

- 1) 国土交通省気象庁: 令和 2 年 7 月豪雨 令和 2 年(2020 年)7 月 3 日～7 月 31 日(速報)
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2020/20200811/20200811.html>
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局砂防部: 令和 2 年 7 月豪雨による土砂災害発生状況(2020 年 8 月 31 日 18:00 時点)
https://www.mlit.go.jp/river/sabo/jirei/r2dosha/r2_07gouu_2008311800.pdf
- 3) ESRI JAPAN: GIS 基礎解説 マルチスペクトル画像とは?
<https://www.esri.com/gis-guide/imagery/multi-spectrum-image/> (2020 年 9 月 8 日確認)
- 4) Tucker, C. J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment, Vol.8, pp.127-150.
- 5) ESA Sentinel Online: User guides
<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/processing-levels/level-2> (2020 年 9 月 8 日確認)
- 6) 国土交通省国土技術政策総合研究所 (2016): 砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編) 解説, 国総研資料 No.904, p.34.