2020 年 7 月 7～8 日岐阜県北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
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、岐阜県周辺では 6 日から激しい雨が断続的に降り、7 日から 8 日にかけて記録的な大雨となった [1)]。この大雨により、9 月 4 日 15:00 時点で岐阜県内では土砂災害が 5 件（うち、土石流 2 件、土砂流出 1 件、斜面崩壊 1 件、がけ崩れ 1 件）発生した [2)]。住家被害は、家屋の全壊 6 戸、半壊 37 戸、一部損壊 87 戸である [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、本災害のあった岐阜県高山市・下呂市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

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI：正規化植生指数）[3)]は、（1）式で計算される植物の活性度の指数であり、裸地や植生の広域的な判別に用いられる。なお、NDVI の説明は前報 [4)] にも記述しているため、そちらも参照頂きたい。

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{NIR}-\mathrm{RED}}{\mathrm{NIR}+\mathrm{RED}} \quad \cdots\cdots(1)$$

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。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 1 に災害前の岐阜県高山市・下呂市を主な範囲とした Sentinel-2 衛星画像（2020 年 6 月 29 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 2 は、同範囲での災害後の NDVI 画像（2020 年 9 月 12 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・ダム貯水域などは NDVI 値が小さくなることが読み取れる。なお、図 1 の山間部にまだら状に見える白色や図 2 の右上・右下・左下にある薄い白色は雲である。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。

$$\text{NDVI 差分値} = \text{NDVI}_{\text{befor}} - \text{NDVI}_{\text{after}} \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで、$\text{NDVI}_{\text{befor}}$ は災害前の NDVI 値であり、$\text{NDVI}_{\text{after}}$ 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 m^2（10 m ×10 m）以下の変化は捉えることができない。

4 章では、前報 [4]と同様に 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。

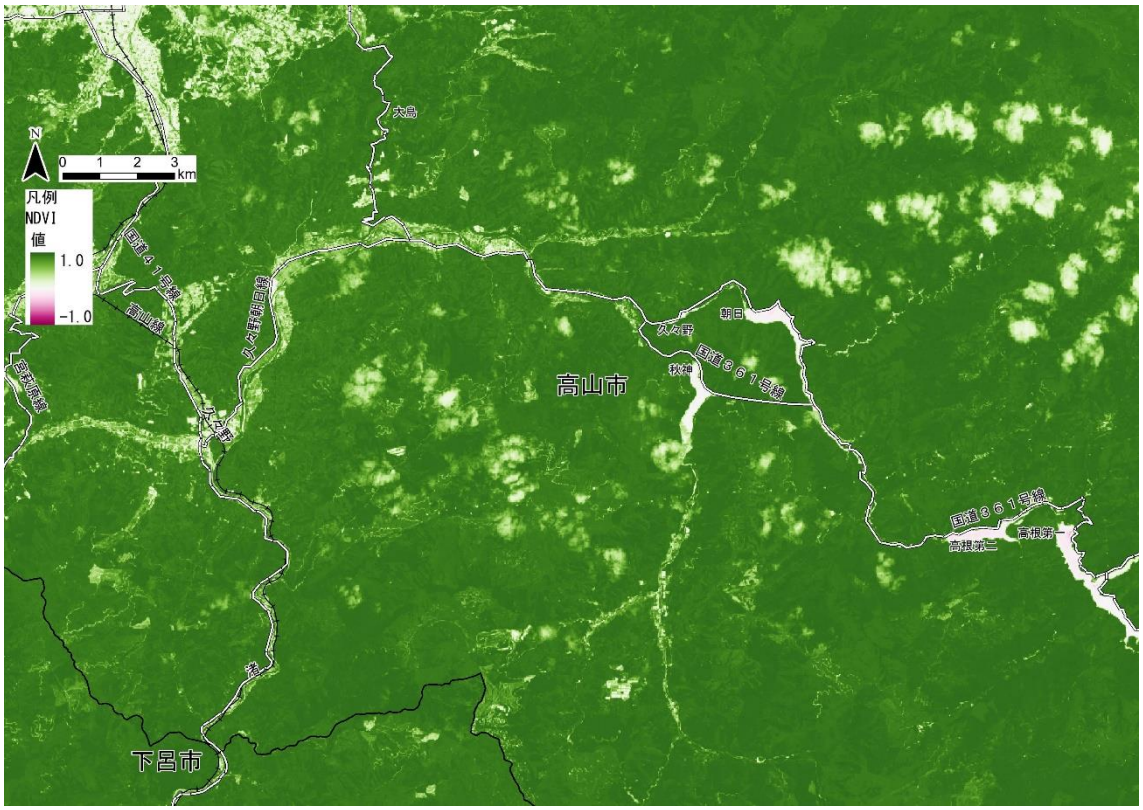

図 1　災害前の NDVI 画像（2020 年 6 月 29 日撮影：分解能 10 m、L2A）。
行政界・道路・鉄道は国土数値情報による。

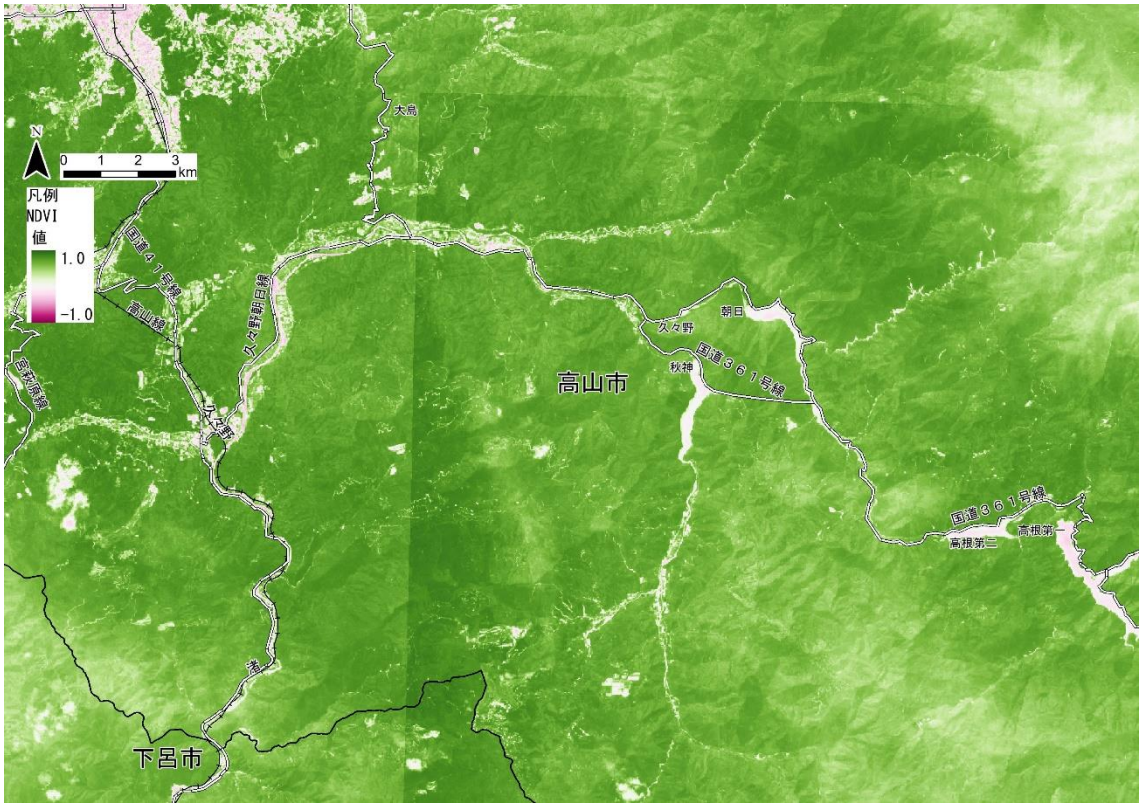

図 2　災害後の NDVI 画像（2020 年 9 月 12 日撮影：分解能 10 m、L2A）。
行政界・道路・鉄道は国土数値情報による。

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、本災害により岐阜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、高山市で 9 地点、下呂市で 1 地点の計 10 地点で流出規模の異なる土石流を確認した（これらは、今回の豪雨で発生した全数ではない）。なお、地点 10 では住家被害が発生している。各土石流の位置を図 3 に、発生状況を図 4 にそれぞれ示す。

図 3　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 4　土石流発生場所の Sentinel-2 衛星画像（左）と現地の様子（右）。 ★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 5 に示す。前報[4)]と同様に、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。

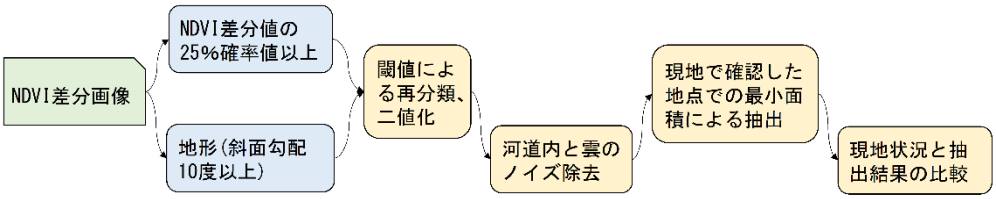

図 5　NDVI 差分画像を用いた斜面変動範囲の抽出フロー

(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 6 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)。これらの範囲からは斜面変動を抽出することができない。図 6 においては画像の約 1/4 の範囲を雲が覆っており、現地で確認した土石流のうち地点 9 が雲で覆われていた。

調査した土石流(★印)の中で、地点 3～6 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 6 には市街地や本川河道沿い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・植生などとの 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。

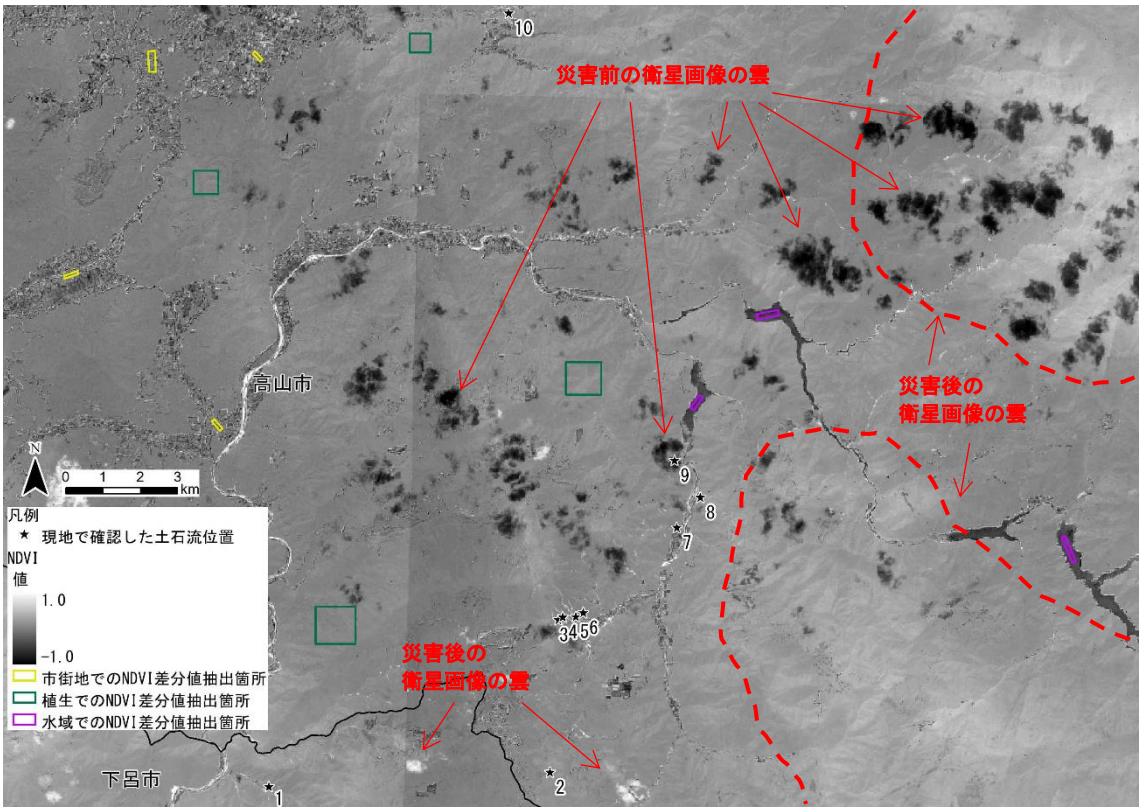

図 6　NDVI 差分画像。　黒線は国土数値情報の行政界。

図 7 に、斜面変動範囲（Landslide）・市街地（City）・植生（Forest）・ダム貯水域（Water）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・ダム貯水域は、それぞれ 3～4 カ所を任意で設定した（図 6）。

図 7 より、市街地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。植生は頻度のピークが 0.1 付近にやや増加し、ダム貯水域は 0.25 付近に減少している。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・ダム貯水域の 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 0.31 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。なお、ここでの NDVI 差分値の閾値 0.31 は前報 [4]の熊本県芦北町・津奈木町の土石流を対象に計算した閾値 0.30 に近い。

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° [6]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 8 に、現地で確認した土石流付近の拡大図を図 9 と図 10 にそれぞれ示す。図 9 と図 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 8 を見ると、現地で確認した土石流のうち、地点 1、2、8 の 3 カ所はうまく抽出できていない。その原因として、前報 [4]でも述べているが、地点 1、2、8 は、土砂が比較的長い距離を流下しており、裸地面積はある程度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かったと考えられる（図 11～13）。

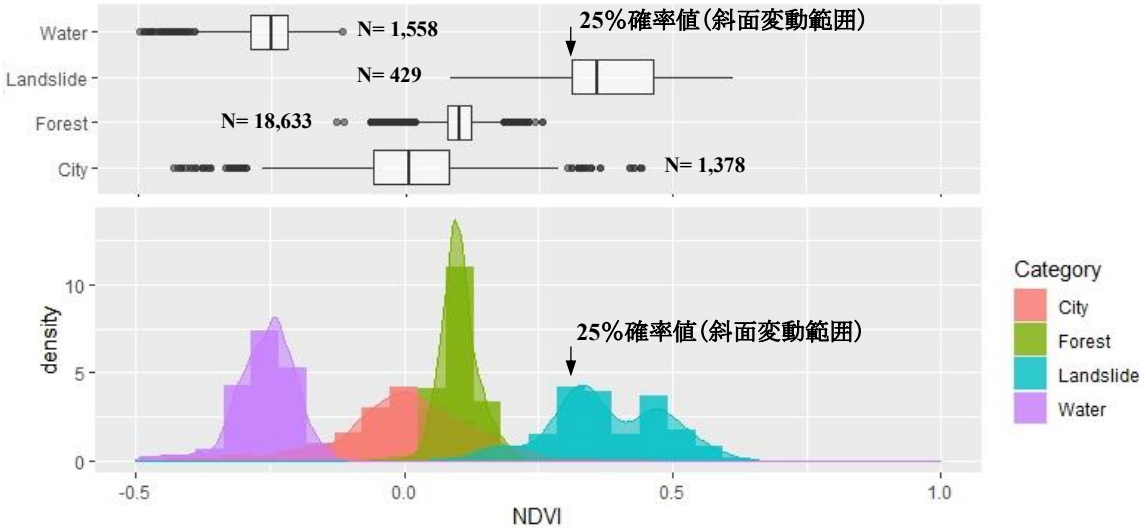

図 7 NDVI 差分値の頻度分布。 N は集計したセル数である。

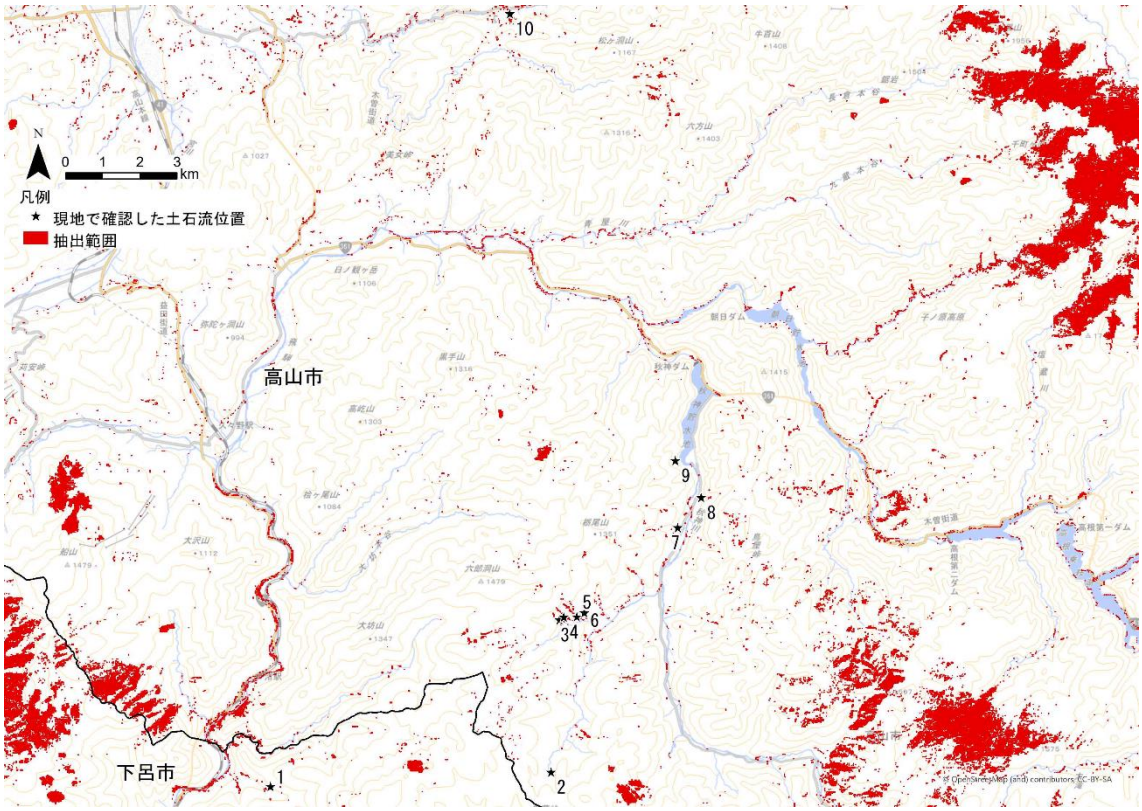

図 8 NDVI 差分値と斜面勾配の閾値による二値化画像。
背景は国土地理院の淡色地図。黒線は国土数値情報の行政界。

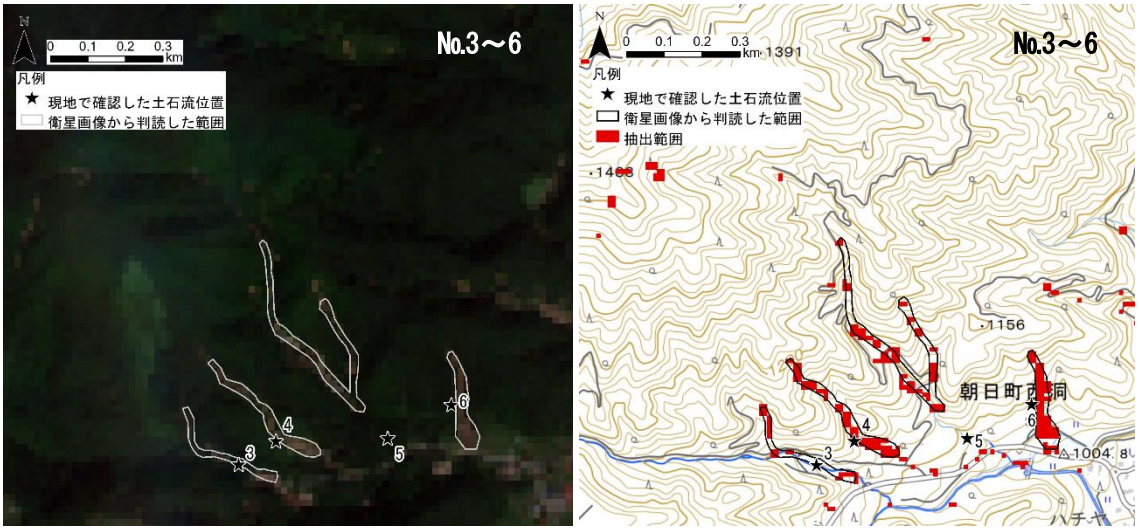

図 9 斜面変動範囲が抽出できた事例（地点 3～6）。（左）土石流付近の衛星画像（Sentinel-2）、（右）上図に対応する二値化画像（図 8 を抜粋）。下図の背景は、国土地理院の淡色地図。

図 10　斜面変動範囲が抽出できた事例（地点 10）。（左）土石流付近の衛星画像（Sentinel-2）、（右）上図に対応する二値化画像（図 8 を抜粋）。下図の背景は、国土地理院の淡色地図。

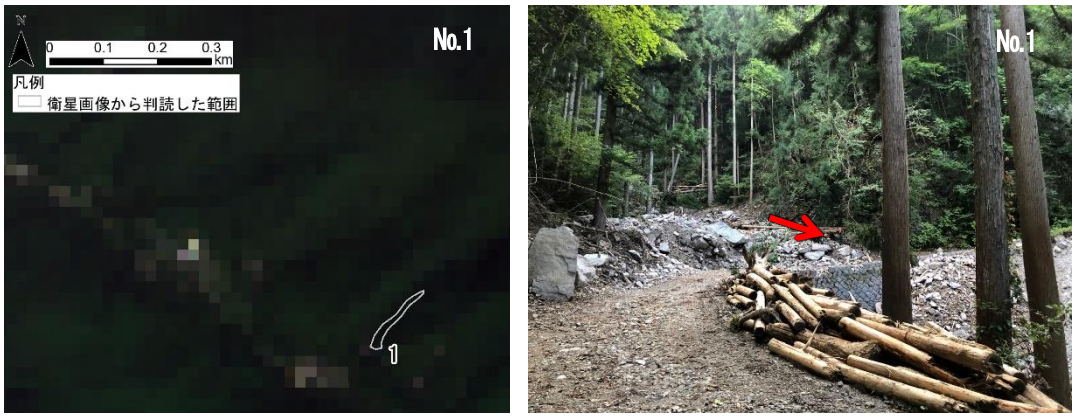

図 11　斜面変動範囲が抽出できなかった事例（地点 1）。（左）土石流付近の衛星画像（Sentinel-2）。地点 1 の白枠範囲はあくまで推定。（右）地点 1 の現地写真。赤矢印は流向。

図 12　斜面変動範囲が抽出できなかった事例（地点 2）。（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 2 の現地写真。赤矢印は流向。

図 13　斜面変動範囲が抽出できなかった事例（地点 8）。（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 8 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 8 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 14 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 2,700 m^2 であった。このことから、面積 2,700 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、2,700 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 2,700 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 15 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。

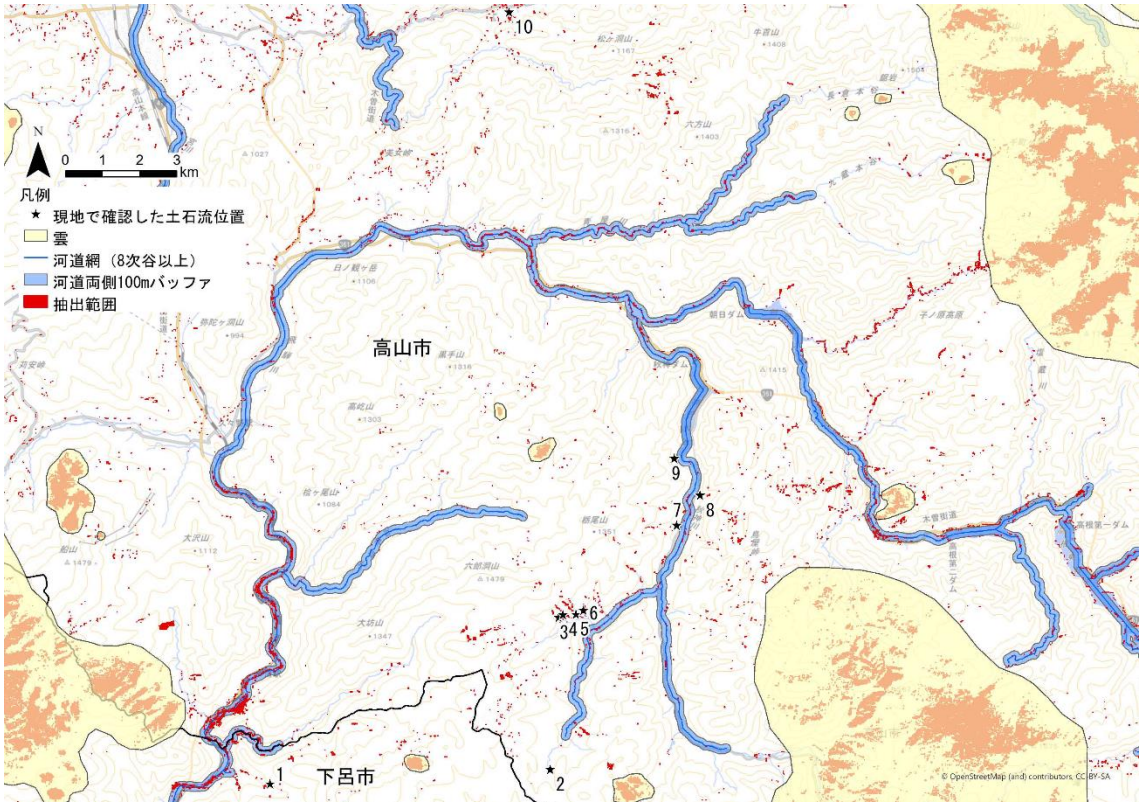

図 14　河道及び雲のマスク。背景は国土地理院の淡色地図。
黒線は国土数値情報の行政界。

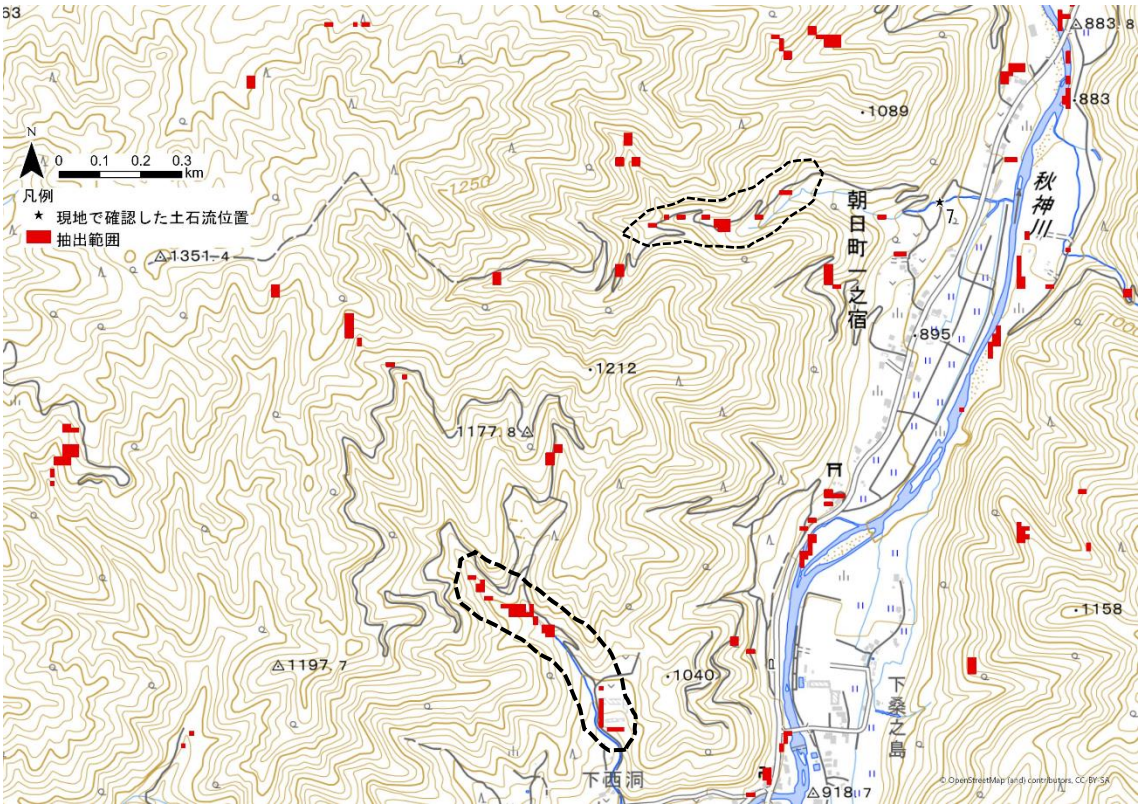

図 15　斜面変動範囲の形状が分離して抽出された例（黒点線の範囲）。背景は国土地理院の淡色地図。

ノイズ除去の結果を図 16 に示す（この図を斜面変動範囲図と呼ぶ）。現地で確認した土石流の 9 地点中 6 地点（約 67 ％ ※地点 9 は災害前の衛星画像に雲がかかるため抽出対象外とする）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。

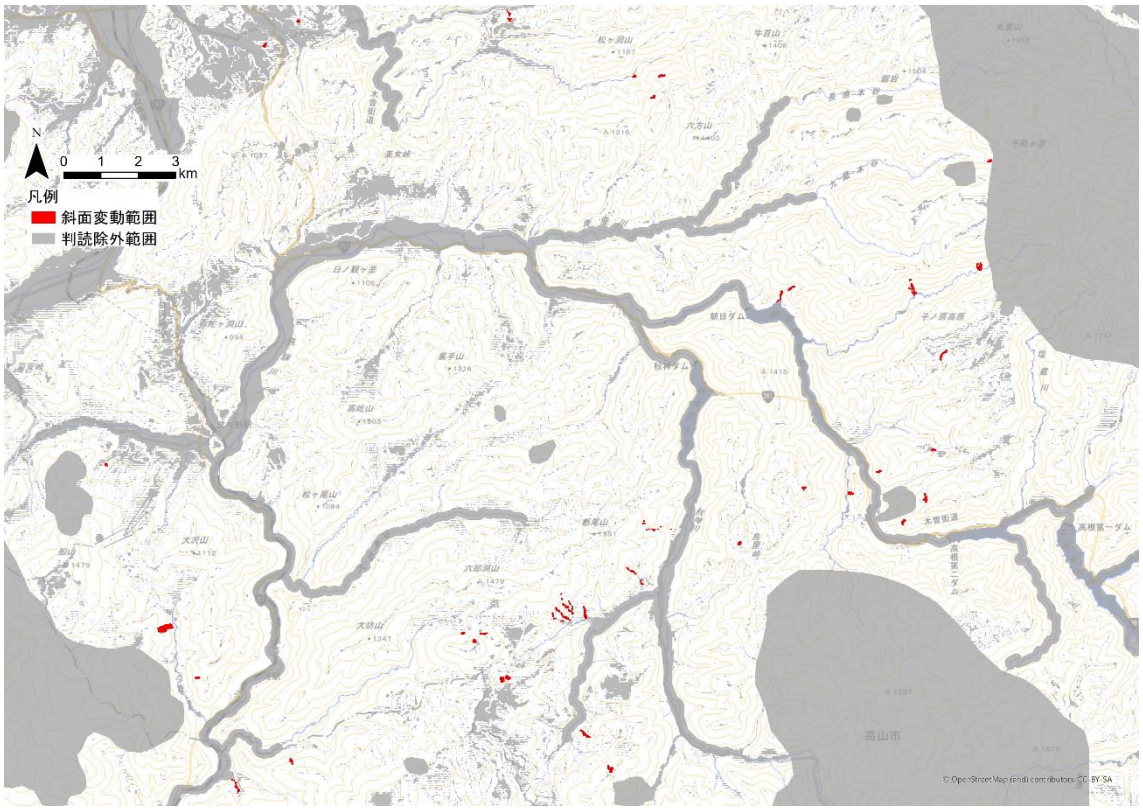

図 16 ノイズ除去された二値化画像（斜面変動範囲図）。
背景は国土地理院の淡色地図。判読除外範囲は斜面勾配 10° 未満の範囲、雲、河道中心線の両側 100 m の範囲をあわせて表示。

（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を比較する。図 17 に結果を示すように、地点 4、6、10 は 1:1 の線形に近くなり、既に住家被害が発生した範囲（地点 10）では土砂の堆積部を含めた明瞭な裸地があらわれるため、本手法で抽出しやすいものと考えられる。他方で、地点 3、5、7 では本手法による面積が小さい傾向である。これは前報 [4]でも記述したように流下幅が狭く、流走部が長くなると、上空を林冠で覆われることの影響をうけ、抽出しにくくなるケース（図 18）がある。また、土石流によって発生した倒木が部分的に裸地を覆うことによっても、抽出しにくくなる可能性があると考えられる（図 19）。

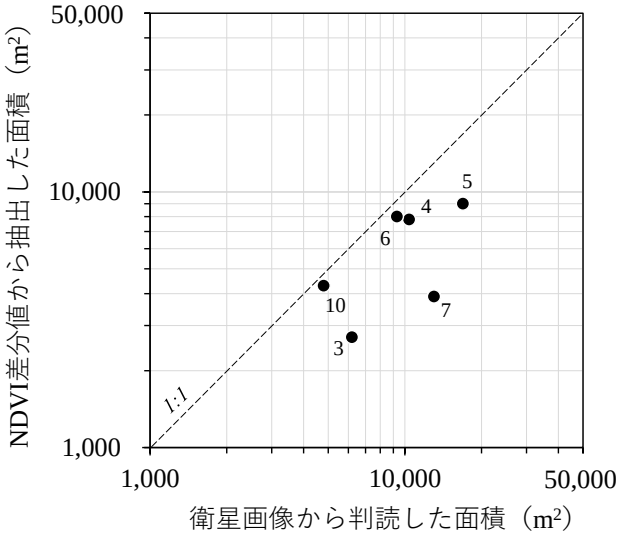

図 17　衛星画像から目視判読した土石流面積と本手法による土石流面積との関係。
プロットの数字は地点番号と対応。

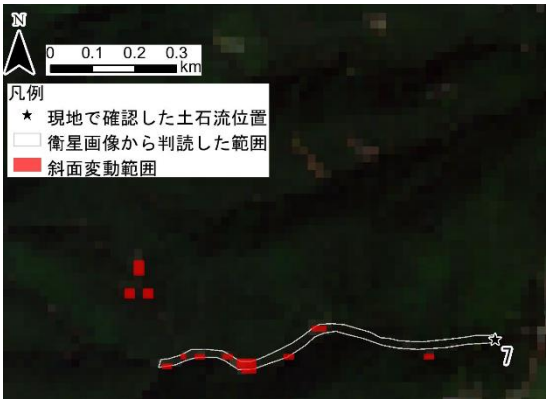

図 18　土石流の流走部が長い場所における斜面変動範囲の抽出漏れの例（地点 7）

図 19　倒木が部分的に裸地を覆っている例（地点 7）

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 7～8 日の岐阜県高山市・下呂市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）前報 [4]と同様に裸地化（土砂が露出）する斜面変動範囲は、市街地・植生・ダム貯水域と比べて 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 2,700 m^2 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 67 %(9 地点中 6 地点)が、試作した斜面変動範囲図で抽出された。既に住家被害が発生した範囲では土砂の堆積部を含めた明瞭な裸地があらわれるため、抽出漏れが少ないと考えられる。

(4) 土石流によって発生した倒木が部分的に裸地を覆うことによって、抽出しにくくなる可能性があると考えられた。

今後は分解能が高い衛星画像を使用し、対象地域での土石流の実測面積の精度を向上させることができれば、その結果を用いて NDVI 差分値の閾値の最適解を分析できると考える。引き続き分析を進め、災害直後の情報発信ができるように本手法の改良を行っていきたい。

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) 岐阜県災害情報: 令和 2 年 7 月豪雨による被害概要等(2020 年 9 月 4 日 15:00 現在(第 45 報))
https://www.pref.gifu.lg.jp/kurashi/bosai/hinan-ankoku/11115/20200706ooame.data/gaiyou0904.pdf

3) Tucker, C. J. (1979): Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation, Remote Sensing of Environment, Vol.8, pp.127-150.

4) 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究部門: 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(2020 年 9 月 16 日初版)
https://mizu.bosai.go.jp/key/2020Kumamoto

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 17 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.