

Detection of landslides in the 2015 Gorkha, Nepal earthquake using satellite imagery

土田理彩子¹・〇リュウ ウェン²・山崎文雄³

Risako Tsuchida, Wen Liu and Fumio Yamazaki

Abstract : On April 25, 2015, an Mw7.8 earthquake struck the Gorkha district of Nepal. Since the focal zone was located in the mountainous area, many landslides and avalanches were generated. Therefore the purpose of this study is to extract the landslides caused by the earthquake using the pre- and post-event ALOS-2 PALSAR-2 images and Landsat-8 images. We clarified the specific characteristics of landslide areas and performed an automated extraction method. The results were evaluated by comparing with that by visual interpretation of the optical images. By this comparison, landslides were characterized in the PALSAR-2 images considering the orientation and slope angle of mountains.

Keywords : 2015 Gorkha earthquake, landslide, PALSAR-2, Landsat-8, backscattering coefficient.

1. はじめに

2015年4月25日ネパールのGorkha付近、深さ15kmを震源としたMw7.8の地震が発生した。山岳地域で災害が発生した場合、地上からの情報収集は困難であるが、救助・救援活動のためには広範囲の被災状況を早急に把握しなければならない。このような時にはリモートセンシングが有効である。特に地球観測衛星は定期的に地表面の画像を取得しており、災害発生後の緊急撮影画像に加えて、災害前のアーカイブ画像も得られていることが多く、これらの変化抽出による災害状況把握が盛んに行われている¹⁾。2014年に打上げられた日本の地球観測衛星ALOS-2はPALSAR-2センサを搭載するが、これによる斜面崩壊抽出に関する事例は、未だ数少ない。

本研究では、災害前後に得られたPALSAR-2画像を用いて、斜面崩壊域の後方散乱特性を把握する。また、Landsat-8画像より斜面崩壊域を抽出し、これと比較することで、合成開口レーダ(SAR)画像による斜面崩壊域の抽出の可能性と精度を検討する。

2. 使用データと研究の流れ

本研究における対象地域をFig.1に示す。広範囲にわたって斜面崩壊や落石、雪崩が多く報告されているTrishuli川とLangtang川に沿った谷を中心に行う。

また衛星画像は、地震前後に撮影されたLandsat-8²⁾とPALSAR-2によるものを使用した。地震前のLandsat-8画像は2015年2月9日、地震後は同年6月1日に撮影されたものである。対象地域のDEMデータとしてはASTER GDEMを用いた。PALSAR-2画像は、上昇軌道のHHとHV偏波のもので、地震前は2015年2月11日、地震後は同年5月2日に撮影されたものを使用した。また下降軌道のHH偏波で、地震前2014年11月7日、地震後2015年5月8日に撮影されたものも使用した。

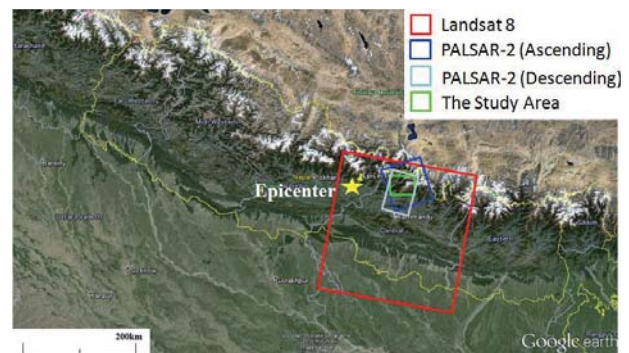


Fig. 1 The study area and the satellite images used

まずLandsat-8を用いた斜面崩壊の抽出を行った。前処理としてキャリブレーションを行った後、パンシャープン処理を施して、解像度約15mの画像を作成した。斜面崩壊の場合、災害前に存在した植生が斜面下方に流出し裸地が露出することが多い。したがって、標準化植生指標(NDVI)を用いて、地震前後の画像からNDVIが減少する範囲を斜面崩壊として検出する方法を試みた。またDEMを用いて、斜面崩壊の特徴を考察した。その後、地震後画像のみを用いた教師付き分類も行った。最後にNDVIによる差分抽出および教師付き分類による斜面崩壊抽出結果を目視判読結果と比較し、精度評価を行った。

次にPALSAR-2画像を用いて斜面崩壊を抽出した。前処理としてまず放射輝度補正を行った。またスペックルノイズを除去するために、5x5ピクセルのウィンドウによるEnhanced Leeフィルタを適用した。その後、斜面崩壊域の後方散乱係数の特性を把握し、地震前後の相関係数と差分を用いて、それらの抽出を試みた。

3. Landsat-8画像を用いた斜面崩壊域の抽出

まずNDVIを用いて抽出を行った(Fig. 2)。地震前に植生だった箇所が斜面崩壊によって土壌へと変化した場合、検出は概ね良好であった。しかし、崩壊箇所が、地震前に裸地や岩、氷雪であった場合は検出が困難であった。

¹非会員 元千葉大学 工学部 都市環境システム学科

²正会員 千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻

(所在地 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町1-33)

(連絡先 Tel:043-290-3528、E-mail: wen.liu@chiba-u.jp)

次に地震後画像のみ用いて教師付き分類を行った(Fig. 3). 目視による判読結果³⁾と比較すると, 谷に沿って発生した斜面崩壊の抽出結果は, 非常に類似していることが分かった. また DEM を用いて崩壊域の特徴を調べたところ, 傾斜角 10°未満の箇所での誤抽出が多かったため, このエリアを検出対象から除去した. NDVI 差分抽出と教師付き分類の結果を Table 1 に示す. いずれも崩壊面積が 675m²を境として検出率に大きく差があった. 675 m²以下の崩壊を検出できた割合は 5 割を下回ったが, 675 m²以上の崩壊に関しては 9 割程度を検出することができた.

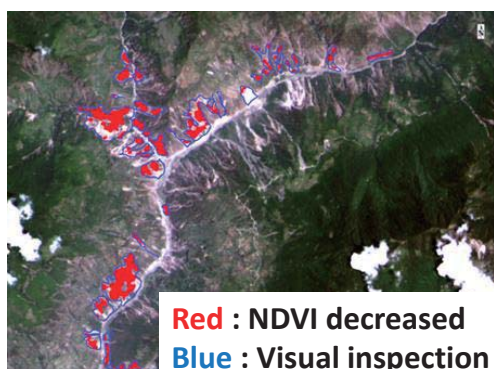


Fig. 2 Landslide extraction from reduced NDVI values (Trishuli valley)

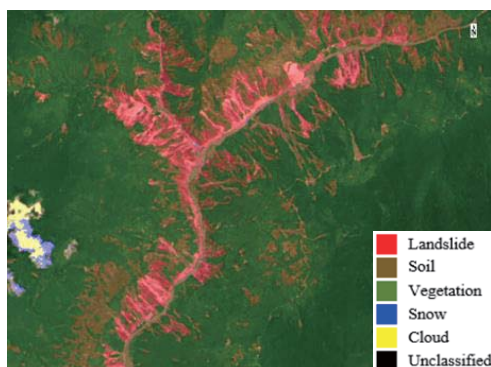


Fig. 3 The result of supervised classification (Trishuli valley)

Table 1 The number of extracted landslide location based on visual inspection, NDVI difference and the classification

Landslide areas	Visual inspection	From NDVI	Classification of the post-event LS-8 image
Smaller than 675m ²	254	119(46.9%)	121(47.6%)
Larger than 675m ²	318	284(89.3)	295(92.8)
Total	572	403(70.5)	416(72.7)

4. PALSAR-2 画像を用いた斜面崩壊の抽出

4.1 SAR 画像における後方散乱係数の特徴

対象地域は起伏の激しい山岳地帯であるため, 地表面の物質や状況よりも斜面方位や傾斜角の方が, SAR の後方散乱強度を決定する重要な要因である.

Fig. 4(a)は, 下降軌道の HH 偏波における斜面方位と後方散乱係数の関係である. 斜面方位は, 0°を北として時計回りに 360°で斜面の向きを示す. 下降軌道の場合, 東側からマイクロ波が照射されるため, マイクロ波と正対

する斜面(105°)で値が最も高くなる. そこで, 後方散乱係数の最大となる方位から $\pm 30^\circ$ を類似した斜面方位の範囲としみなした.

Fig. 4(b)は下降軌道の HH 偏波のうち, 類似した斜面方位の範囲における, 後方散乱係数と傾斜角の関係を示す分布図である. 下降軌道の場合, レーダの入射角が 32.4°であり, その時の後方散乱係数が最も高いことが分かる. これらの結果から, 斜面方位と傾斜角が地表面の物質や状況よりも, SAR の後方散乱を決定する重要な要因であることが確認できた.

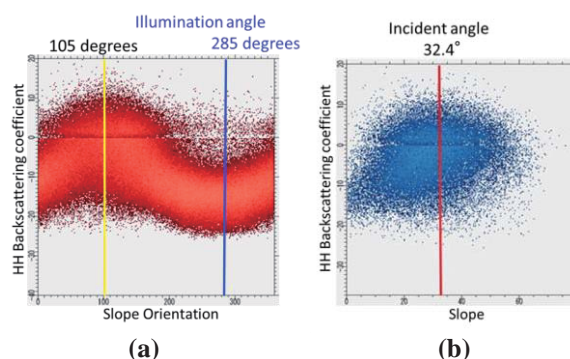


Fig. 4 Relationship between the backscattering coefficients and slope orientation (a), and the backscattering coefficients and slope angle (b)

次に後方散乱係数と土地被覆の関係を調べた. また対象地域の特徴を考慮して, 斜面方位と傾斜角を限定し, 地形の幾何学的形状がある程度似た範囲で検証を行う. 後方散乱係数は地震後の下降軌道 HH 偏波と HV 偏波を用い, 土地被覆分類には Landsat-8 を用いた教師付き分類の結果を使用した. 主に斜面崩壊(赤), 斜面崩壊ではない土壌(茶), 植生(緑)の関係を調べた.

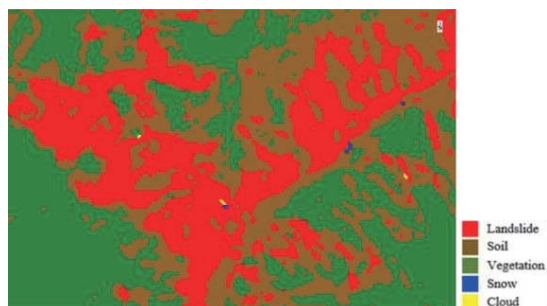
Fig. 5, Fig. 6 に Trishuli 谷の類似した地形における後方散乱係数と土地被覆の関係, および各対象物の平均と標準偏差を示す. 各範囲のうち一部には, 斜面崩壊のエリアのみ他の対象物と比べ後方散乱係数が低い傾向も見られたが, ほぼ全ての範囲において植生と土壌にあまり相関が見られず, HH 偏波と HV 偏波の後方散乱係数だけを用いて土地被覆の区別を行うことは困難であった.

この理由には後方散乱係数を決定する要因として, 地形の幾何学的形状だけでなく, 植生の状態(種類, 葉の生い茂り, 枝の太さ, 幹の形など)や岩の大きさや形, 雪の状態(含水率や積雪量)などの様々な地表面の状態が大きく関係しているためである. そのため, 光学画像を用いた目視による判読では明らかに異なる対象物でも, マイクロ波の反射特性が類似してしまう場合もあることが分かった. 特に植生に関しては, L バンド SAR センサで植生と判読できる範囲と光学画像で植生と判読できる結果は大きく異なる. L バンドの場合, 木の幹などでマイクロ波が反射されると一般に言われているが, 光学画像のみで幹の太さや木の高さなどの区別を行う事は非常

に困難である。それらを把握するためには、光学画像のデータだけでなく、現地の状況に関する詳細なデータを収集し、対象地域の中でも個々に検討を行う必要があるといえよう

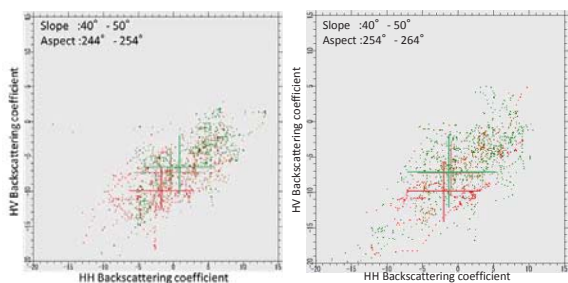


(a) Post-event Landsat-8 image



(b) The result of supervised classification

Fig. 5 Landsat-8 images for Trishuli valley



(a) 244°~254°

(b) 254°~264°

Fig. 6 Relationship between land-cover and backscattering coefficients for the Trishuli valley for different slope orientations

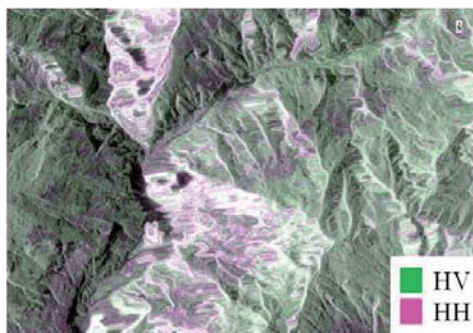
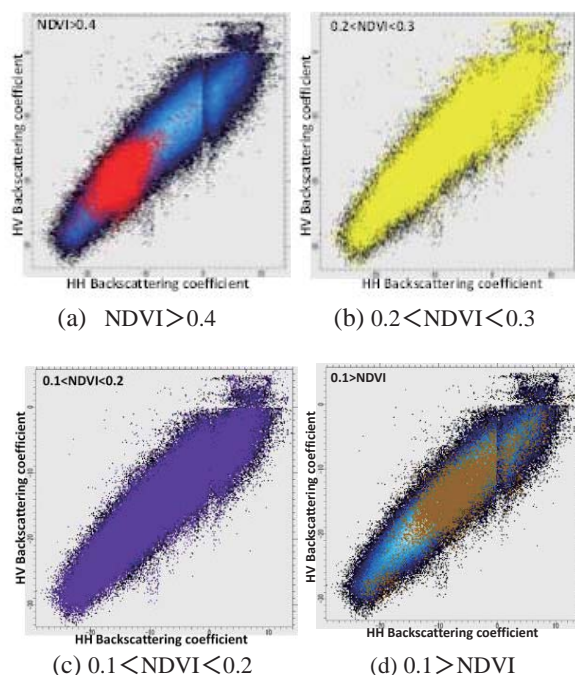


Fig. 7 Color composite of the HH and HV polarizations for the Trishuli valley

斜面崩壊の抽出方法としては、主に後方散乱係数の 2 時期の相関係数と差分を用いた。対象地域では、植生や氷雪の増減などの季節的変化が HV 偏波に非常に大きく影響するため、HH 偏波のみを用いて抽出を行うことにした。しかし、HH 偏波においても植生の増減など季節的な変化に反応していることから、同時期の HH 偏波と HV 偏波における植生部の反射の違いを利用して、植生の除去ができるかどうか検討を行った。Fig. 7 に下降軌道における HH 偏波と HV 偏波のカラー合成を示す。この図より HH 偏波の場合、崩壊地での後方散乱強度が大きく、森林では小さくなり、HV 偏波の場合、森林での後方散乱強度が大きく、崩壊地では小さくなる様子が見られた。



(a) NDVI > 0.4

(b) 0.2 < NDVI < 0.3

(c) 0.1 < NDVI < 0.2

(d) 0.1 > NDVI

Fig. 8 Relationship between the backscattering coefficients and NDVI values for the Trishuli valley

そこでTrishuli谷における後方散乱係数と植生の関係を詳細に調べた(Fig. 8)。後方散乱係数は地震後の下降軌道 HH 偏波と HV 偏波を用い、植生を判定する土地被覆には Landsat-8 画像による NDVI の結果を用いた。Fig. 8(a)における NDVI の範囲を光学画像による目視判読結果と比較すると、高木が密集している濃い植生であり、その範囲における HH 偏波と HV 偏波の後方散乱係数は、全体的に低い値を示すことが分かった。一方で NDVI の値が(c)の場合は、光学画像より裸地や水域と判読され、その範囲における後方散乱係数は全体的にやや高い値となった。しかし、濃い植生域(a)と裸地(d)の分布は重なり合う範囲が多く、NDVI の値のみでこれらを区別することは難しい。(b)、(c)においては、目視判読より低木や草で覆われた範囲となっており、L バンドを使用している本研究の場合は、後方散乱係数が広い範囲に分布している。

4.2 斜面崩壊域における差分, 相関係数の特徴

後方散乱係数と地形の幾何学的形状をより詳細に調べるため, 類似した地形における差分, 相関係数と土地被覆の関係を検討した. **Fig. 9** は Trishuli 谷における差分, 相関係数と土地被覆の関係, および各対象物の平均と標準偏差を示す. 後方散乱係数は上昇軌道と下降軌道の HH 偏波を使用し, 土地被覆は教師付き分類の結果を使用した. **(a)**より, 地震前後における土壌や植生の後方散乱係数の変化は非常に類似した傾向であるが, 斜面崩壊のデータが最も差分と相関係数が低くなった. **(b)**は絶対値の差分, 相関係数と土地被覆の関係を示す. 斜面崩壊の差分値が他対象物の平均値より高くなったことで, 植生のデータと土壌 (斜面崩壊, 斜面崩壊ではない土壌)のデータは, ほぼ同じマイクロ波の反射傾向となり, この条件での判別は非常に難しいことが分かった.

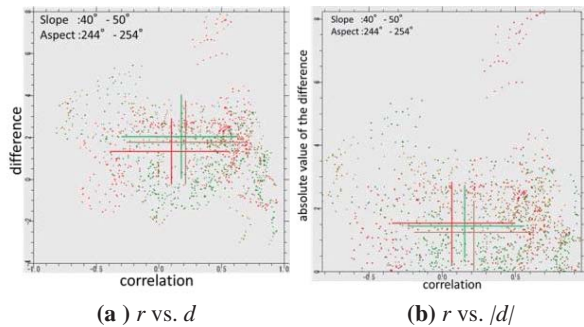


Fig. 9 Relationship between the land-cover and the difference (d) and the correlation coefficient (r) for the Trishuli valley

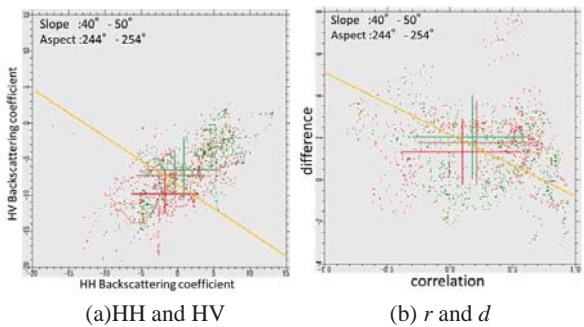


Fig. 10 Relationship between the land-cover and the backscattering coefficients for the Trishuli valley

Table 2 Extraction accuracy of landslides by area (pixels) from PALSAR-2 images for the Trishuli valley

Extraction Accuracy (%)	HH and HV	d and r
Producer Accuracy	54.2	52.1
User Accuracy	56.4	55.2

4.3 斜面崩壊域の抽出

後方散乱係数と土地被覆の関係を検討した結果より, 斜面崩壊域の抽出を試みた. **Fig. 6 (a)**および **Fig. 9 (a)**を用いて植生と斜面崩壊域の間に閾値を設定し, その値以

下になる斜面崩壊域を抽出して精度評価を行う (**Fig. 10**). 閾値を設定するにあたり, それぞれの平均値や標準偏差を考慮し, 平均値が双方から最も離れた値で設定する. 結果を **Table 2**に示す. HH 偏波と HV 偏波を用いた場合, 地震後のデータのみ使用しており, 差分と相関係数を用いた場合では, 地震前後の HH 偏波のデータのみを使用した結果となっている. 抽出精度の結果より, HH 偏波と HV 偏波を用いた抽出の方が, 差分と相関係数を用いた抽出よりも精度のやや高い結果が得られたが, いずれも 5 割を超える程度であった.

本研究のように斜面方位や傾斜角で対象を限定し, 地形の幾何学条件が似た範囲のみで斜面崩壊域の抽出を行っても, 地表面の詳細な状況が把握できなければ, 地形や季節変化が複雑な地域での土地被覆を SAR 画像のみで把握することは, 非常に難しいといえよう.

5. まとめ

本研究では地震前後の Landsat-8 画像と PALSAR-2 画像を用い, 2015 年ネパール Gorkha 地震で発生した斜面崩壊域の抽出を行った. Landsat-8 画像を用いた場合は, NDVI の差分による抽出と教師付き分類による抽出を試みた. いずれの方法も, 675m²以上の大きさの崩壊域に関しては 9 割程度を検出することができた.

PALSAR-2 画像を用いた抽出では, まず対象地域の地形特性を把握した. 後方散乱係数と斜面方位, 傾斜角の関係を調べたところ, これらが地表面の物質よりも後方散乱に大きな影響を与えており, これを決定する重要な要因であることが分かった. 次に後方散乱と土地被覆および NDVI の関係を調べたところ, 植生と裸地におけるマイクロ波の反射特性は非常に類似しており, SAR 画像からのみで区別することは難しいことが分かった. また 2 時期の後方散乱係数の差分, 相関と土地被覆の関係からも同様の結果が得られた. 以上の検討結果より, 地形の幾何学的形状が類似した範囲に限定して, 差分と相関係数を用いて斜面崩壊域の抽出を行ったが, 精度は 5 割を超える程度であった. したがって, 地形が複雑な山岳地域における SAR 画像のみからの斜面崩壊域の抽出は容易ではないといえよう.

謝辞: 本研究で使用した ALOS-2 データは, JAXA 災害衛星画像解析ワーキングを通じて貸与されたものである.

【参考文献】

- 1) Liu, W., Yamazaki, F.: Damage Detection of the 2008 Sichuan, China Earthquake from ALOS optical images. 28th Asian Conference on Remote Sensing, Paper No. 119, 6p, 2008.
- 2) U.S. Geological Survey: Landsat Missions, <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>
- 3) British Geological Survey, Nepal earthquake response 2015, 2015, from <http://www.bgs.ac.uk/research/earthHazards/epom/nepalEarthquakeResponse.html>.