

阿蘇中央火口丘群北部における崩壊発生場の 60 年間の変遷および地形的特徴

九州大学大学院生物資源環境科学府（現 関東地方整備局高崎河川国道事務所） ○矢野敦久
宮崎大学農学部 篠原慶規
筑波大学大学院生命環境科学研究科（現 森林研究・整備機構 森林総合研究所） 経隆悠
九州大学大学院農学研究院 水野秀明，久保田哲也

1. はじめに

熊本県の阿蘇火山とその周辺域では、2012 年九州北部豪雨と 2016 年熊本地震によって、テフラを崩壊物質とする斜面崩壊が広範囲で発生し、甚大な被害を生じた。特に、その両イベントで斜面崩壊が集中した阿蘇中央火口丘群の北部では、近年にも 1953 年、1990 年、2001 年などと豪雨による斜面崩壊が頻発している。今後、九州地方では梅雨前線による豪雨頻度の増加が予測されており（Manda et al., 2014）、斜面崩壊のさらなる発生も危惧される。よって、当地域で適切な土砂災害対策を立てるためには、これまでの斜面崩壊の発生場所と発生規模を把握することが重要である。そこで本研究では、多時期の航空写真と航空レーザ測量データを用いて、阿蘇中央火口丘群北部における崩壊発生場の約 60 年間の変遷および地形的特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 対象地

対象地は阿蘇中央火口丘群北側斜面に位置する 2.0km² の丘陵地である（図 1）。標高は 620~920m の範囲である。植生は主に草地である。地質は溶岩・火砕岩とそれらを覆うテフラの累層から成る。豪雨による斜面崩壊は、テフラ累層内で、表層の黒色土層とその下層の褐色土層（約 3600 年前に堆積）との間をすべり面として発生しており、崩壊深が 1.0m 程度の表層崩壊であると指摘されてきた（宮縁ら，2004）。

災害報告のある、近年の主な豪雨イベント（1953，1990，2001，2012）では、2012 年が 1，3，6，24 時間雨量で最大級であった。1953 年と 1990 年は 24 時間雨量が、2001 年は 1 時間雨量が大きかった。

3. 方法

3.1. 使用データ

1955 年，1976 年，1990 年の航空写真と 2009 年，

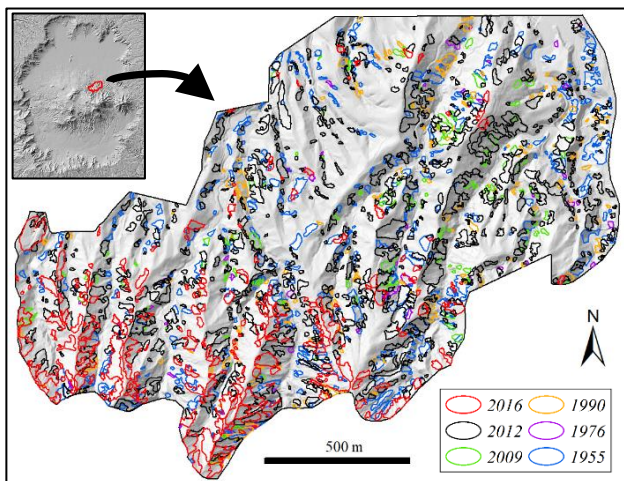


図 1. 対象地の位置および崩壊地の分布

2013 年，2016 年の航空レーザ測量データ（1mDEM およびオルソ画像），2012 年の高解像度オルソ画像を使用した。航空写真は 1270dpi でスキャンされたデジタルデータであった。航空写真の縮尺はそれぞれ 1/22000，1/15000，1/10000 で，1955 年のみ白黒写真であった。熊本地震によって地表変位が発生したため，2016 年の DEM については以前の DEM と位置の適合作業を行った。

3.2. 航空写真のオルソ画像化

崩壊地抽出時のマッピングエラーを減らすために，SfM-MVS（SfM 多視点写真測量，以下 SfM）ソフト（Photoscan Professional，Agisoft LLC.）を用いて，1955 年，1976 年，1990 年の 3 時期の航空写真をオルソ画像化した。座標の付与およびカメラパラメータの調整に用いる GCP（地上基準点）は，分布が均一になるように，砂防ダムの上に各年 7，8 か所ずつ設定した。SfM の精度検証に用いる検証点は，砂防ダムおよび道路の上に各年 17~26 か所ずつ設定した。座標値は ArcGIS 上でオルソ画像と 1mDEM から抽出した。SfM の精度検証の結果，各年の水平方向の RMSE はそれぞれ，1.3m，1.4m，1.0m であった。

3.3. 崩壊地抽出および空間解析

各時期のオルソ画像上で，草地と色調が異なる範囲（裸地部）を崩壊地として抽出した。崩壊地は~10 年ほどで植生回復によって周囲と見分けがつきにくくなるため，各時期の裸地部は概ね新規の崩壊地とみなした。2009 年は主な崩壊イベントから 8 年経過していたため，大まかな崩壊地の位置を確認したのち高解像度地形図上で抽出した。2016 年地震による崩壊地は，崩壊土砂の流下・堆積域や 2012 年豪雨による崩壊地との区別がつかないため，2013 年から 2016 年にかけての 1mDEM の標高変化が -40cm 未満かつ裸地化した範囲を崩壊地とした。なお，解像度の違いが小規模崩壊地の検出の可否に影響を及ぼすことを防ぐため，50m² 未満の崩壊地は除外した。

空間解析として，まず崩壊地の斜面勾配，斜面方位，正規化された尾根までの距離を調べた。その際，地形データとして，2009 年の 1mDEM を 2mDEM に変換したものを用いた。次に，2012 年と 2016 年の各崩壊地の平均崩壊深を調べた。平均崩壊深は，各イベント前後の 1mDEM の標高変化に基づく崩壊深を，各崩壊地で平均化することで算出した。最後に，イベント間での崩壊地の重なりを調べた。

4. 結果と考察

4.1. 崩壊発生場の概要および地形的特徴

崩壊地の分布を図 1 に示した。約 60 年間で対象地の延べ 30% で崩壊が発生した。崩壊地数は総計 1603 であった。崩壊面積は 2013 年が最大で，2016

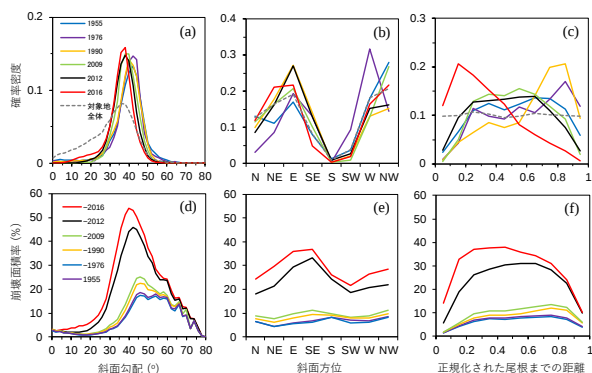


図2. (a-c)対象地全体および各年の崩壊地における、各地形要因の確率密度、(d-f)各年までに累積した崩壊面積率と各地形要因の関係

年、1955年と続いた。これらの年の崩壊面積は、その他の年よりも大きかった。

各年の崩壊地における各地形要因の確率密度を図2a,b,cに、各年までに累積した崩壊面積率(全体面積に占める崩壊面積の割合)と各地形要因の関係を図2d,e,fに示した。各年の崩壊地の平均斜面勾配(36°~40°)は対象地の平均斜面勾配(31°)よりも大きいため、より急峻な斜面で崩壊が多発したことが分かった(図2a)。~2016年には、20°から40°にかけて、累積した崩壊面積率が直線的に上昇する傾向が見られた(図2d)。斜面方位と崩壊発生には、明瞭な傾向は見られなかった(図2b,e)。正規化された尾根までの距離については、2016年に尾根付近で崩壊が多発する傾向が見られた(図2c)。これは地震波が尾根付近で増幅したためと考えられる(石川ら、2016)。一方で、豪雨時にはそのような傾向が見られず、累積した崩壊面積率との間には関係は見られなかった(図2f)。対象地は、雨量分布の影響が小さい狭い領域であるとともに、植生と地質が均一であるため、地形要因が崩壊地の空間分布をより強く支配する。以上より、豪雨と地震を経験する長いタイムスケールにおいて、崩壊発生に最も大きく影響した地形要因は斜面勾配であることが示された。

4.2. 2012年および2016年崩壊地の平均崩壊深

2012年豪雨時および2016年地震時の各崩壊地における、平均崩壊深D(m)と崩壊面積A(m²)の関係を図3に示した。なお、2016年については、地表変位による誤差が小さい南側の崩壊地のみを対象とした。2012年の崩壊深は1~1.5m程度であるのに対して、2016年にはより深い崩壊も多かった。

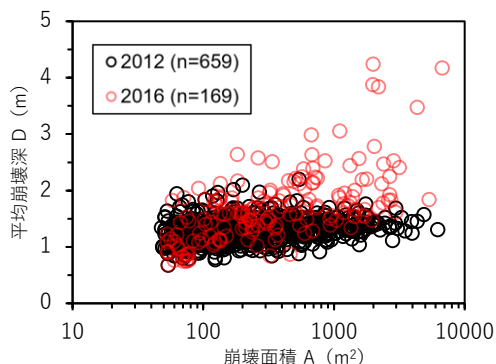


図3. 平均崩壊深と崩壊面積の関係

次に、各崩壊地のDとAを乗じることで崩壊体積V(m³)を算出し、一般に土砂量推定のために用いられる $V=\alpha \times A^\gamma$ に直線回帰で当てはめた。その結果、2012年と2016年の関係式はそれぞれ、 $V=1.00 \times A^{1.05}$ ($R^2=0.98$)、 $V=0.53 \times A^{1.19}$ ($R^2=0.97$)となった。これらの式の指数値は低く、Larsen et al. (2010)に従えば、表層崩壊タイプと判断された。また、2012年のDがAに関わらず一定であるという特徴は(図3)、豪雨時に平滑な斜面が面的に崩れるという、火山地域特有の崩壊発生形態を表現している可能性がある。

4.3. 崩壊発生場の重なり解析

重複率および残存率を表1に示した。重複率は2つのイベント間における、崩壊地の非重複面積に対する重複面積の割合とし、残存率は各年の崩壊地面積のうち現在まで重複しなかった面積の割合とした。なお、表の()内は地震時の崩壊が集中した南側に限定した時の値である。重複率と残存率はそれぞれ、~3.8%と88.4%~であり、ほとんど重複していないことが分かった。そして、重複率の値は経過年数と対応しなかった。このことは、60年程度では、崩壊地の土層が再崩壊の発生に必要な土層厚まで回復しなかったことを示唆する。

表1. 重複率および残存率

年	重複率(%)					残存率(%)
	1955	1976	1990	2009	2012	
1955	—	—	—	—	—	88.4
1976	0.3	—	—	—	—	89.0
1990	1.1	0.9	—	—	—	88.8
2009	1.1	0.0	1.6	—	—	93.1
2012	1.7	0.1	0.6	0.4	—	96.6
2016	1.5 (1.6)	0.3 (0.1)	0.4 (0.4)	0.4 (0.5)	2.3 (3.8)	100.0

対象地では約60年間で、崩壊が発生しやすい35°~45°の斜面の延べ50%が崩壊を経験した。崩壊密度の増加が比較的緩斜面で大きかったことと(図2d)、地震による崩壊が卓越する斜面位置は豪雨時とは異なったことから(図2c)、2012年の記録的豪雨と2016年の大地震によって、今まで崩れにくかった斜面が崩れたと推察される。さらに、重複が少なかったことも踏まえれば、今後、同規模の豪雨ではあまり崩壊が発生しないかもしれない。

5. おわりに

本研究では、崩壊地の空間分布には、斜面勾配と崩壊履歴(土層厚)が大きく影響したことが分かった。より正確かつ長期的に、崩壊発生場・規模を予測するためには、土層回復速度の現地計測が必要であると考えている。最後に、国土交通省国土地理院、国土交通省九州地方整備局、熊本県土木部、鹿児島大学地頭菌隆教授、宮崎大学清水収教授には、航空レーザ測量データとオルソ画像の提供に関して、多大なご協力をいただきました。本研究では、平成29年度砂防学会若手研究助成の支援を受けました。ここに記して感謝申し上げます。

引用文献

宮縁ら(2004) 地形, 25(1) 23-43; 石川ら(2016) 砂防学会誌, 69(3) 55-66; Larsen et al. (2010) Nat. Geosci. 3, 247-251; Manda et al. (2014) Sci. Rep. 4, 5741