

レーダー・アメダス及び自己組織化マップを用いた阿蘇市における土砂災害の要因分析

BASIC FACTOR ANALYSIS OF GEODISASTER AT ASO-CITY

USING RADAR-AMEDAS AND SELF-ORGANIZATION MAP

笠間 清伸¹・川上 司²・西山 浩司³

Kiyonobu KASAMA, Kawakami KAWAKAMI and Koji NISHIYAMA

¹九州大学大学院工学研究院社会基盤部門（〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地）

E-mail: kasama@civil.kyushu-u.ac.jp

²九州大学大学院工学府建設システム工学専攻（〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地）

E-mail: t.kawakami.706@s.kyushu-u.ac.jp

³九州大学大学院工学研究院環境社会部門（〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地）

E-mail: nishiyama@civil.kyushu-u.ac.jp

Key Words: debris flow, slope failure, Radar-AMeDAS, Self-organization map

1. はじめに

2012年7月に九州北部豪雨が発生し、熊本県阿蘇乙姫では、最大24時間降水量507.5mmを観測するなど、熊本県阿蘇市を中心に土石流やがけ崩れなどの土砂災害による死者が発生した¹⁾。

土砂災害への対策として、降雨量を用いた予測及び土砂災害が発生する恐れのある斜面に対しての事前防災が行われている。

そこで本文では、九州北部豪雨で被災した熊本県阿蘇市を対象に、土砂災害発生原因となる誘因と素因に着目して分析を行い、降雨と土砂災害発生の関係及び土砂災害の発生しやすい斜面について検討した。

2. 誘因分析

対象とした土砂災害は、平成24年7月九州北部豪雨によって熊本県阿蘇市で発生した土石流68件とがけ崩れ9件である。阿蘇地域全域で土砂災害発生基準を超える降雨が生じているが、今後土砂災害が発生しなかつた降雨パターンも含む他の降雨事例や他の地域における比較分析することを考慮して誘因による考察結果も

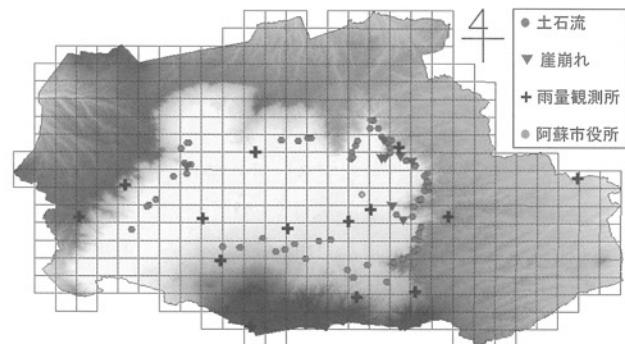


図-1 阿蘇市での土砂災害発生個所

掲載する。土石流とがけ崩れの発生個所を図-1に示す。誘因分析においては、図のように阿蘇市内を1km四方の348メッシュに分割し、災害発生個所に該当するメッシュの降雨量に着目して分析した。

各メッシュの降雨量は、気象業務支援センターが提供する6月10日から7月15までの解析雨量を用いた。図-1に示す阿蘇市の各1kmメッシュにおいて、短期降雨指標として1.5時間実効雨量、長期雨量として72時間実効雨量、地盤中の水分貯留量を表す土壤雨量指数を計算した。各雨量指標に着目した土砂災害発

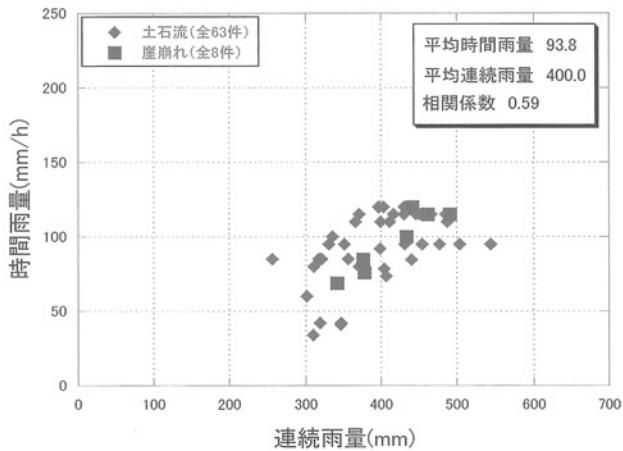


図-2 災害発生時の時間雨量と連続雨量

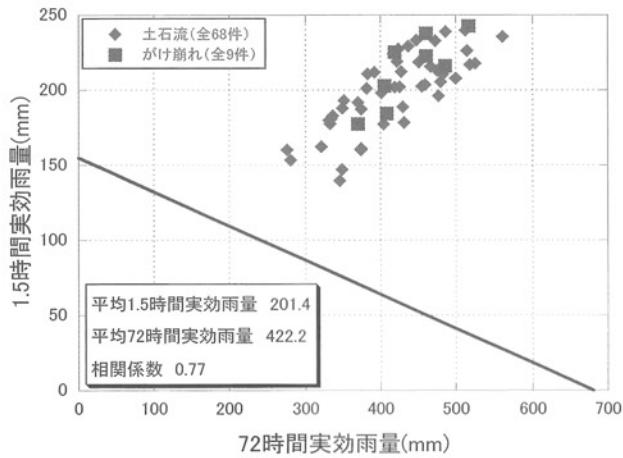


図-3 災害発生時の実効雨量

生基準の精度を評価するために、的中率、捕捉率、空振り率、見逃し率を用いて検討した。

図-2に土砂災害発生時における降り始めからの連続雨量と時間雨量の関係を示す。時間雨量と連続雨量には、相関係数 0.59 と正の相関がみられた。土砂災害発生時の平均時間雨量は 93.8mm と非常に強い雨が降っていた。

図-3に、土砂災害発生時における 1.5 時間実効雨量と 72 時間実効雨量の関係を示す。なお、実効雨量は、以下の式(1), (2)で与えられる。

$$R_w = \sum \alpha_{1i} \times R_{1i} \quad (1)$$

$$\alpha_{1i} = 0.5^{i/T} \quad (2)$$

ここに、 R_w : 実効雨量, R_{1i} : i 時間前の 1 時間雨量, α_{1i} : i 時間前の減少係数, T : 半減期(時間)である。

土砂災害発生時における 1.5 時間実効雨量と 72 時間実効雨量の相関係数は 0.76 となった。図-3中に阿蘇市が設定する土砂災害発生基準線を示しており、この基準を超える場合、土砂災害発生する危険が高まっていると判断される²⁾。今回の九州北部降雨において、阿

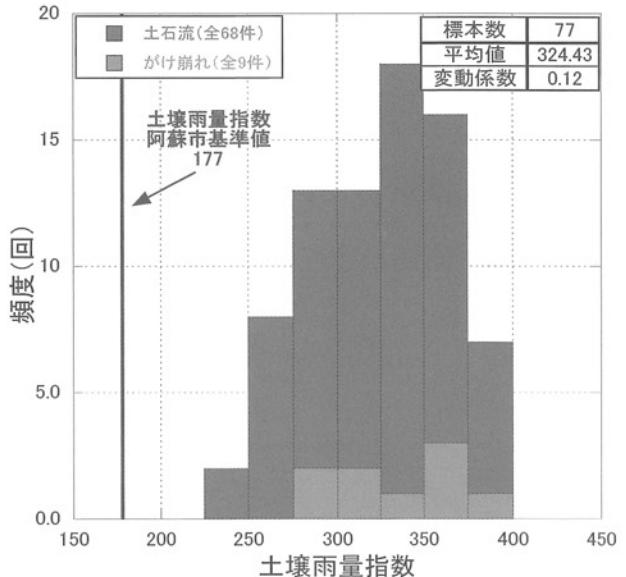


図-4 土砂災害発生時の土壤雨量指数

表-1 雨量指数による危険度判定の結果

		実際の土砂災害	
		発生	非発生
実効雨量と雨量 指数による判定	危険	A	B
	安全	C	D

表-2 信頼度の評価指標

評価指標	
的中率	$((A+D)/(A+B+C+D)) \times 100$
捕捉率	$(A/(A+B+C+D)) \times 100$
空振り率	$(B/(A+B+C+D)) \times 100$
見逃し率	$(C/(A+B+C+D)) \times 100$
スレットスコア	$(A/(A+B+C)) \times 100$

表-3 阿蘇市における評価指標の計算結果

評価指標	
的中率	18.3%
捕捉率	18.3%
空振り率	81.7%
見逃し率	0%
スレットスコア	18.3%

蘇市で土砂災害が発生した全地点において、この基準を超過していた。

図-4 に土砂災害発生時の土壤雨量指数のヒストグラムを示す。土砂災害発生時の土壤雨量指数の平均値は 324.43 と、阿蘇市が定める土砂災害発生基準値 177 の 1.8 倍となり、土砂災害発生の危険が高まっていたこ

とがわかる。

実効雨量および土壤雨量指数から、土砂災害発生時の的中率、捕捉率、空振り率、見逃し率の4つの評価指標を定義した。計算法を表-1と表-2に示す。雨量指数及び実効雨量を超えた場合を危険と判定し、実際の土砂災害の発生の有無と比較した。判定結果の信頼性が高い場合、AとDの数が大きくなる。得られたA～Dの値を用いて、表-2に示す式で4つの評価指標を計算した。計算結果を表-3に示す。見逃し率が0%となり、土砂災害が発生した地点では、必ず危険度判定結果は危険となっていたことがわかる。しかしながら、空振り率が81.7%と高くなり、これは阿蘇地域全体で降雨量が多くかったためと、解析雨量が1km四方で解析され、対象メッシュの全体数が増えるためだと考えられる。

3. 素因分析

素因分析には自己組織化マップ(SOM)を用いた。自己組織化マップとは、Kohonenによって提唱された教師なしニュートラルネットワークの一種である³⁾。SOMは入力層と競合層の二層からなる。競合層は二次元配列であり、各ニューロンには入力ベクトル $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ と同じn次元の参照ベクトルが $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ 割り当てられ、SOMによる学習後、多次元の入力ベクトルの特徴が二次元マップ上の各参照ベクトルによって表現される。この際、互いに類似した特徴を持つニューロン群は二次元マップ上で近い位置に分類され、異なる特徴を持つニューロン群は遠い位置に分類される。

素因分析では、阿蘇市で土砂災害が実際に発生した77個所に加えて、対象となる斜面を、(a)メッシュ分割、(b)ポイントデータおよび(c)土砂災害危険箇所の3つの手法を用いて抽出した。抽出した斜面を、「地形区域」、「地形区分」、「地質」、「土壤」の4項目の素因に着目して、自己組織化マップを用いて、64のパターンに分類した。表-4に各素因の分類を示す。図-5に阿蘇市における急傾斜地崩壊危険箇所を示す。なお、斜面の「地形区域」、「地形区分」、「地質」および「土壤」のデータは、国土交通省が提供する中で、阿蘇地域の縮尺が最も小さい「20万分の1土地分類基本調査」を用いた⁴⁾。

(1) メッシュ分割データによる分析

図-1示すように同様に阿蘇市内を348メッシュに分割した。抽出したのはメッシュの中心点の各素因データである。また、各パターンに分類された斜面のうち、実際に崩壊した斜面の割合を用いて各パターンの土砂災害の発生確率を計算した。図-6にメッシュデータによる自己組織化マップの分析結果を示す。図において1～64の数字を持つ四角で示されているものが、分類され

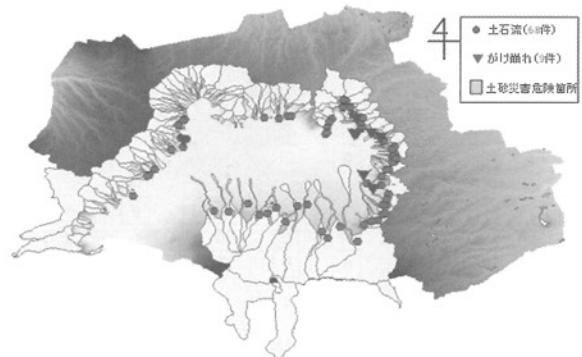


図-5 分析対象斜面

表-4 土砂災害素因の分類

地形区域		
阿蘇火山	阿蘇火口原	
地形区分		
山麓堆積団	火山麓地	大起伏火山地
中起伏火山地	小起伏火山地	扇状地性低地
地質		
未固結 (碎屑物)	未固結 (砂・礫・粘土)	火山性 (ローム)
火山性 (火山碎屑物)	火山性 (熔結凝灰岩(旧))	火山性 (安山岩)
	火山性 (熔結凝灰岩(新))	
土壤		
未熟土	泥炭土	褐色森林土
赤黄色土	灰色低地土	黒ボク土
	岩石地	

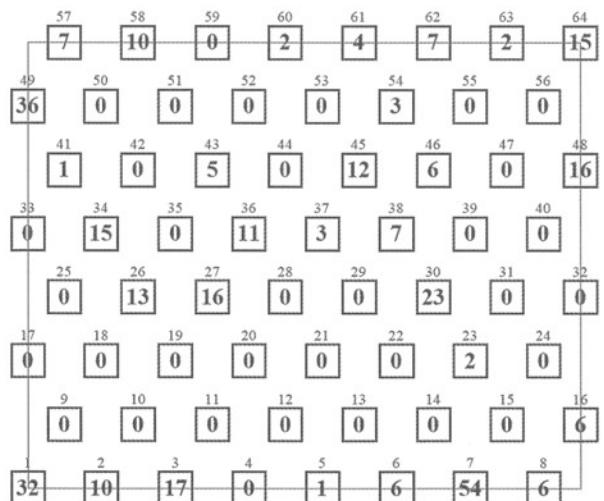


図-6 メッシュ分割データを用いた自己組織化マップ

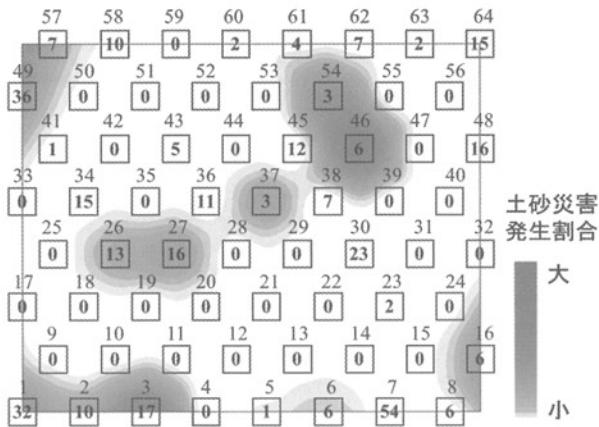


図-7 メッシュ分割データを用いた土砂災害発生割合

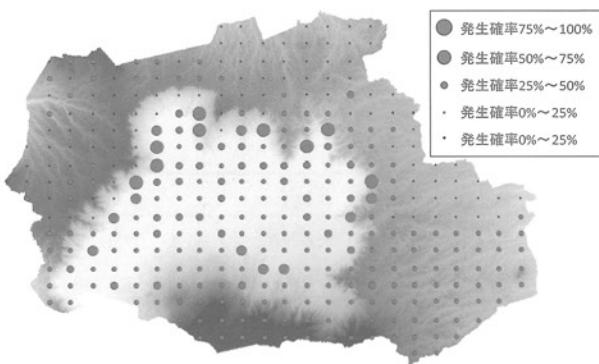


図-8 メッシュ分割データによる土砂災害発生確率分布

る64パターンを示している。また、図の四角の中の数字は各パターンに分類された斜面の数を示している。パターン1とパターン2のように距離の近いパターンは素因の性質が似ており、パターン1とパターン64のように距離が遠いパターンは素因の性質が異なる。

図-7に各パターンにおける土砂災害の全体発生割合を示す。全体発生割合とは、全斜面数に対して、各パターンで発生した土砂災害の件数の割合である。割合が大きいほど濃い赤色で示している。図-7より、パターン64やパターン48では土砂災害が発生しにくいことがわかる。一方、パターン64と性質が異なるパターン1、パターン2では土砂災害が発生しやすいことが分かる。また、パターン7においては54件と多くの斜面が分類されたが、土砂災害が発生した斜面はなかった。土砂災害が多く発生したパターンにおける素因は、地形区域として阿蘇火山、地形区分として山麓堆積、地質として未固結・火山性、土壤として褐色森林土のものが多く分類された。土砂災害が発生しにくいパターンにおける素因は、地形区域として火山麓地が多く分類された。

図-8にメッシュ分割による素因分析によって得られた阿蘇市における各地点の発生確率を示す。図より阿蘇

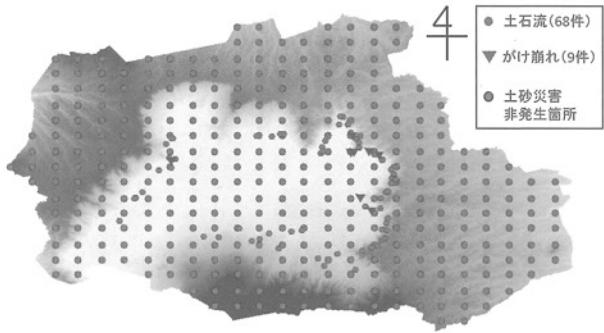


図-9 ポイントデータの抽出点

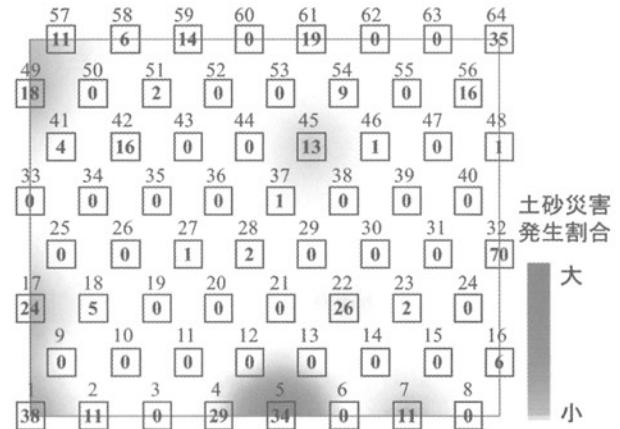


図-10 ポイントデータを用いた土砂災害発生割合

市の外輪山周辺において発生割合が大きく、外輪山頂上付近では発生割合は小さくなつた。これは実際に土砂災害が発生した箇所と一致しており、妥当な結果と考えられる。しかし、土砂災害が発生しないはずの平地（地図中央付近）においても発生割合が大きくなつていた。これはメッシュの大部分が平地であつても、メッシュの一部に崩壊箇所が含まれることがあるためだと考えられる。そこで、次項では地域をより細かく分割し、崩壊箇所を別箇に抽出したポイントデータによる分析を行う。

(2) ポイントデータによる分析

図-9に示す非崩壊箇所348地点と土砂災害発生箇所77地点の計425地点からポイントデータとしてデータを抽出し分析に用いた。図-10に各パターンにおける全体発生割合を示す。図よりパターン5において最も土砂災害発生割合が高かつた。また、マップの左側と下側の部分に発生が集中していることがわかる。メッシュデータにおける土砂災害発生割合（図-7）と比較すると、ポイントデータで分割した方が土砂災害の発生したパターンが集中している。土砂災害が多く発生したパターンにおける素因は、地形区域として阿蘇火山、地質として未固結・火山性、土壤として黒ボク土が多く分類された。

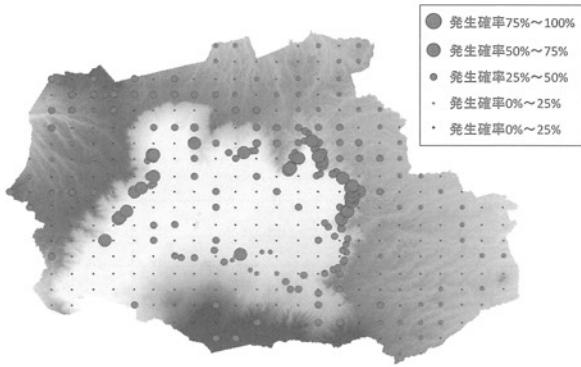


図-11 ポイントデータによる土砂災害発生確率分布

土砂災害が発生しにくいパターンの素因は、地質として固結堆及び固結堆積物、深成岩、変成岩においては土砂災害が1件も発生しなかった。

図-11にポイントデータによる素因分析から得られた阿蘇市における各地点の発生確率を示す。図-8と同様に阿蘇市外輪山周辺での発生割合が大きくなつた。一方で、阿蘇市平地における発生割合は小さくなつており、土砂災害発生個所の素因をより詳細に求めて素因分析を行うことで、より正確な予測ができると考えられる。一方で、平地付近に発生確率が0%でない地点も存在し、対象を阿蘇地域に絞った場合に、平地と土砂災害発生個所の素因が似ている箇所が生じてしまうためだと考えられる。

(3) 土砂災害危険箇所のデータを用いた分析

図-2に示す阿蘇市における土砂災害危険箇所344箇所ならびに土砂災害発生個所77箇所の計421箇所からデータを抽出して分析を行つた。土砂災害危険箇所の位置や範囲は、国土交通省が発行する「国土数値情報」より入手した⁵⁾。土砂災害危険箇所における素因のデータの抽出には、その危険箇所に含まれるもっとも該当する素因を代表値として用いた。

図-12に土砂災害危険箇所による各パターンの全体発生割合を示す。図より、メッシュ分割データやポイントデータによる結果と比べて多くのパターンで土砂災害が発生した。これは、解析対象区域を土砂災害危険箇所及び土砂災害発生個所に限定したこと、抽出した素因データが土砂災害の発生しやすい性質のものに偏つたためと考えられる。

表-5に斜面が分類された28パターンの中で、土砂災害発生割合が大きい上位12個と下位5個の各パターンにおける素因を示した。今回土砂災害発生割合が83%と最も高かつたパターンNo.27では、地形区域として阿蘇火山、地形区分として、小起伏火山地、地質として火山碎屑物、土壤として黒ボク土と分類された。

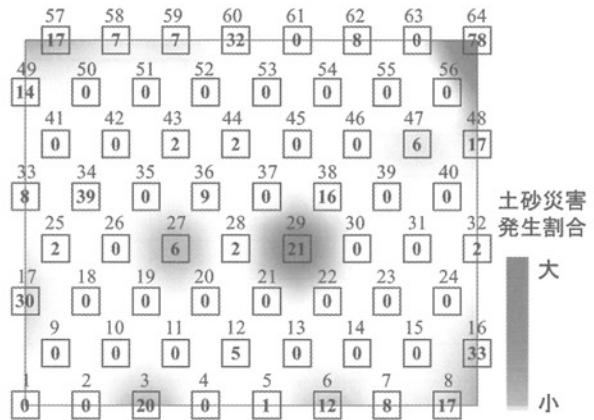


図-12 土砂災害危険箇所を用いた土砂災害発生割合

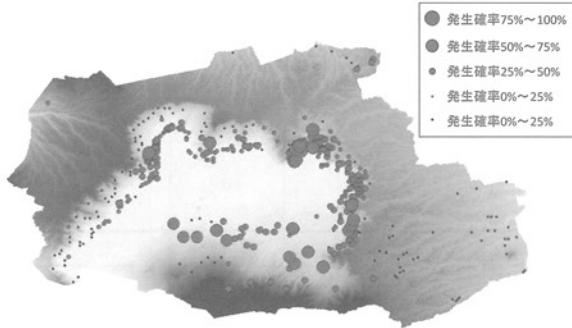


図-13 土砂災害危険箇所を用いた土砂災害発生確率分布

図-13に土砂災害危険箇所のデータを用いた阿蘇市における各地点の発生確率を示す。図より外輪山周辺が高く、特に阿蘇市の南部及び東部では土砂災害の割合が大きいことがわかる。

(a)～(c)の分割法を比較すると、いずれの方法でも阿蘇市外輪山周辺で土砂災害発生割合が高く、中でも阿蘇市東部及び南部の外輪山周辺及び阿蘇山北側で発生確率が75%を超える点が多かつた。一方で、(a),(b)の手法では外輪山北東部の発生確率が高く、(c)の手法では外輪山南東部の発生確率が高くなつた。これは、(a),(b)の手法と(c)の手法では入力データ及び自己組織化マップの分類が大きく異なつたため、分類されるパターンの構成に違いが生じたと考えられる。(a)と(b)を比較すると、(b)の方が発生確率と実際に土砂災害が発生した箇所が一致しており、入力データが多いほど正確な予測ができると考えられる。

4. 結論

本研究では土砂災害の発生要因である誘因と素因の2つから平成24年7月九州北部豪雨による土砂災害の分析を行つた。得られた知見は、以下のように

表-5 土砂災害に関する素因分析の結果

ランキ ング	災害発生 割合(%)	該当斜 面数	土石流 発生件数	崖崩れ 発生件数	地形区域	地形区分	地質	土壤
1	83.3	6	5	0	阿蘇火山	小起伏火山地	火山碎屑物	黒ボク土
2	52.4	21	11	0	阿蘇火山	小起伏火山地, 扇状地性低地	碎屑物	黒ボク土
3	33.3	78	25	1	阿蘇火山	山麓堆積	碎屑物	黒ボク土
3	33.3	12	2	2	阿蘇火口原	扇状地性低地	砂・礫・粘土, 碎屑物	泥炭土
3	33.3	6	2	0	阿蘇火山	火山麓地	碎屑物	黒ボク土
6	29.4	17	4	1	阿蘇火山	山麓堆積	熔結凝灰岩(旧)	黒ボク土
7	28.6	7	2	0	阿蘇火山	山麓堆積	安山岩	黒ボク土
7	28.6	7	2	0	阿蘇火山	火山麓地	火山碎屑物	黒ボク土
9	25.0	20	5	0	阿蘇火山	小起伏火山地, 中 起伏火山地, 大起 伏火山地	安山岩, 熔結凝灰岩 (旧), 火山碎屑物	未熟土
10	17.6	17	1	2	阿蘇火口原	扇状地性低地	碎屑物	黒ボク土
10	17.6	17	3	0	阿蘇火山	山麓堆積	砂・礫・粘土	黒ボク土
12	12.5	8	0	1	阿蘇火口原	扇状地性低地	砂・礫・粘土, 碎屑物	赤黄色 土, 褐色 森林土
24	0	16	0	0	阿蘇火山	中起伏火山地	碎屑物	黒ボク土
25	0	2	0	0	阿蘇火山	中起伏火山地	火山碎屑物	黒ボク土
26	0	2	0	0	阿蘇火山	中起伏火山地	ローム	黒ボク土
27	0	14	0	0	阿蘇火山	火山麓地	熔結凝灰岩(旧)	黒ボク 土, 灰色 低地土
28	0	32	0	0	阿蘇火山	火山麓地	ローム	黒ボク土

なる。

- (1) 自己組織化マップを用いて行った素因分析では、阿蘇市において土砂災害が発生した箇所の特徴を分類できた。阿蘇市については南部および東部の土砂災害の危険度が高かった。入力データを多くすることで予測の正確度が上昇した。
- (2) 平成24年7月九州北部豪雨では阿蘇市全域で土砂災害発生基準を超過しており、土砂災害が実際に発生した箇所と発生しなかった箇所の誘因の差は小さく、発生非発生には素因の影響が大きいことが分かった。

謝辞：熊本県阿蘇市の土砂災害の情報は、熊本県防砂課に提供いただいた。記して、各位には深甚の謝意を表したい。

参考文献

- 1) (公社)地盤工学会 平成24年7月九州北部豪雨による地盤災害調査団: 平成24年7月九州北部豪雨による地盤災害調査報告書, 2013年.
- 2) 社団法人地盤工学会:豪雨時における斜面崩壊のメカニズム, pp.97-146, 2006.
- 3) Kohonen T.: Self-Organized Formation of Topologically Correct Feature Maps, Biological cybernetics, No.43, 1982.
- 4) 国土交通省「国土情報課」, 20万分の土地分類基本調査及び土地保全基本調査
(http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/land/l_national_map_20-1.html)(閲覧日:2013年1月30日)
- 5) 国土交通省(2010)「国土数値情報、土砂災害危険箇所データの詳細」
(<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-A26.html>)
(閲覧日:2012年12月20日)

(2014.5.9受付)