

# 過去の地表変動と斜面特性の統計解析による 深層崩壊の危険度評価とその検証 ―紀伊山地を事例として―

2016年3月 自然環境 環境情報学分野 47-146628 中村直登

指導教員 教授 小口高

キーワード：深層崩壊、危険度評価、GIS、DEM、ロジスティック回帰

## 1. 序章

深層崩壊とは、基岩部にすべり面のある大規模で急激なマスマーブメントである。発生事例は少ないが、一度生じると甚大な被害を及ぼす。防災に向けて、深層崩壊発生危険度を評価することは重要であるが、その方法は確立されていない。斜面崩壊の危険度評価方法の1つに統計的手法がある。統計的手法とは、斜面特性と斜面崩壊の関係を統計的に分析し、斜面の危険度を評価する方法である。統計的手法による表層崩壊の危険度評価を行っている研究は数多くあるが、深層崩壊を対象とした研究は少ない。これは、前述したように深層崩壊は発生事例が少ないので、統計処理が困難であるためと考えられる。そこで本研究は、事例の多い過去の地表変動と斜面特性の関係を統計的に解析することによって斜面の危険度評価モデルを作成し、それが深層崩壊の予測に有効かを検証する。

## 2. 対象地域および手法

対象地域は、近年深層崩壊が発生した紀伊山地・熊野川流域上流部とする。使用した斜面特性は、斜面方位、傾斜、斜面粗度、断面曲率、平面曲率、河川からの距離、谷密度、流長および断層からの距離である。過去の地表変動には、地すべり地形分布図記載のマスマーブメント地形（深層崩壊、あるいは基岩部にすべり面のある緩慢なマスマーブメントの移動体。以後、MM地形と呼ぶ。）の1,004箇所を使用した。MM地形の多くは、緩慢な移動量の小さいマスマーブメントによって生じた地形である。深層崩壊には、対象地域内でモデル作成に使用したデータの取得後に発生した34箇所を使用した。

効果量（2変数間の関連の強さ）の指標であるクラメールの $V$ を用いた単変量解析を行い、斜面特性ごとのMM地形および深層崩壊の特徴を調べた。その後、深層崩壊の予測モデルを構築し、それが有効であるかを検証した。予測モデルは斜面特性を説明変数、MM地形の有無を目的変数として、ロジスティック回帰分析を用いて構築した。検証には、予測モデルの深層崩壊に対するAUC（ROC曲線の下部面積）を用いた。AUCは、先行研究で広く採用されている予測精度の指標である。また、地形特性（斜面方位、傾斜、斜面粗度、断面曲率、および平面曲率）を算出する際に適切なDEMの解像度を検討した。

### 3. 結果および考察

マスマーブメントの規模あるいは地形特性ごとに、マスマーブメント解析に適切な DEM の解像度は異なる。結果を複合的に考え、本研究では 30-m DEM が最適であると判断したので、以後の検討では 30-m DEM より算出したものを用いた。

クラメールの  $V$  より斜面方位、傾斜、および断層からの距離に関する深層崩壊の特性は MM 地形と異なる可能性が示された。このことを考慮し、説明変数に用いる斜面特性の組み合わせを変えた複数の予測モデルを作成した。その結果、傾斜および断層からの距離を除いた斜面特性を説明変数に使用したモデルの  $AUC$  の値 (0.744) が最大と判明した。この値は、予測モデルとして「可」とされる 0.7 を超えており、先行研究と比べても遜色ない。また、モデルの値によって対象地域を危険度高・中・低の 3 つに分類した (表 1)。全深層崩壊の 79% がマスマーブメント地形以外の場所で発生したが、この深層崩壊の 62% も対象地域全域の 32% に含まれる (表 1)。これらの結果は、MM 地形と斜面特性の関係を統計的に解析することは、深層崩壊の発生場所予測に有効であることを示す。

予測モデル、頻度分布図、およびクラメールの  $V$  から、傾斜および断層からの距離を除いた斜面特性に関する深層崩壊の特徴は MM 地形と共通する。また、これらの斜面特性に関する深層崩壊および MM 地形の特徴は、環境条件 (e.g. 地形、地質) が異なる地域での先行研究が報告している MM 地形の特徴と一致している。したがって、他地域でも同様の手法で深層崩壊の危険度評価が行えると考えられる。

一方、傾斜および断層からの距離と深層崩壊との関係は、MM 地形とは異なる。傾斜との関係が異なる理由は、多くの MM 地形は過去のマスマーブメントによって傾斜が小さくなり、安定した斜面になっていることが考えられる。断層からの距離との関係が異なる理由は、移動距離の大きい急激なマスマーブメントにのみ、断層運動による基岩部の破碎とそこでの水の貯留が強く関連しているためと考えられる。

本研究によって、MM 地形と斜面特性 (傾斜および断層からの距離を除く) の統計解析は深層崩壊の発生場所の予測に有効であり、この手法は他地域にも適用可能であることが示唆された。今後は、予測モデルの精度を改善していく必要がある。たとえば、多くの先行研究が、傾斜はマスマーブメントの重要な斜面特性と報告しているので、工夫して傾斜を予測モデルに含めることが必要と考えられる。

表 1 対象地域の危険度評価の結果。危険度は傾斜および断層を除いた斜面特性を説明変数に使用したモデルより算出。

	危険度低	危険度中	危険度高
対象地域 全域	67.8%	21.3%	10.8%
深層崩壊	32.3%	26.7%	41.0%
マスマーブメント地形以外で発生した深層崩壊	38.2%	27.4%	34.4%

# Susceptibility analysis and validation for deep-seated landslides using relict mass movement landforms and slope properties: the Kii Mountains, Japan

Mar. 2016, Department of Natural Environmental Studies 47-146628 Naoto NAKAMURA  
Supervisor: Professor Takashi OGUCHI

Keyword: deep-seated landslides susceptibility, GIS, DEM, logistic regression

## I. Introduction

Deep-seated landslides (DLS) are fast and large scale mass movements whose slip planes are within bedrock. Although the DLS are rare events, a single event can cause catastrophic damage. To avoid such disasters, it is important to estimate susceptibility of slopes for DLS. However, methods to evaluate susceptibility for DLS have not been established yet. One of the ways to evaluate landslide susceptibility is statistical analysis of the relationship between landslides and slope properties (SLPs) using data-driven methods. Although there are many previous studies that analyzed susceptibility of shallow landslides, few studies for DLS have been made, probably because the number of DLS in an area is usually too small for statistical analysis. Considering this problem, this study creates DLS susceptibility models using many relict mass movement landforms (MMLF) that are geographical features made by old mass movements whose slip surfaces are located in bedrock. Then the models are verified with DLS that occurred after the occurrence of the relict mass movements.

## II. Study area and methods

The study area is located in the upper Kumano River basin in Japan where DLS occurred recently. Slope aspect, gradient, roughness, profile curvature, and plain curvature, as well as distance to river, density of valleys, flow length, and distance to fault are taken as SLPs. MMLF data include 1004 MMLF shown in the landslide distribution maps provided by the NIED (National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention), and DLS data include 34 DLS that occurred recently. The MMLF include many slow and short distance mass movements.

To investigate characteristics of both DLS and MMLF corresponding to each SLP, a univariate analysis using Cramer's  $V$  was conducted before model creation. Prediction models were created by logistic regression. The explanatory variables were SLPs, and the response variable was presence or absence of MMLF.  $AUC$  (area under the ROC curve) was used to validate whether the created models predict DLS well. This study also investigated which DEM resolution is best to calculate topographic characteristics (aspect, slope gradient, slope roughness, profile curvature, and plain curvature) for analyzing mass movements.

## III. Result and discussion

Although the best DEM resolution varies for each topographic characteristic or the size of mass movements, the 30-m DEM was often found to be the best in the study area. Therefore, topographic characteristics calculated from the 30-m DEM were used.

Cramer's  $V$  shows that the relationships of slope aspect, slope gradient, and distance to fault with DLS may be different from those with MMLF. Considering this, different SLPs were combined to construct landslide susceptibility models. The model that includes SLPs except for slope gradient and distance to fault has the highest predictive power ( $AUC = 0.744$ ). This value is "acceptable" as a prediction model and comparable to values from previous studies. Using the best model, the study area was classified into three categories of landslide susceptibility: high, moderate, and low (Table 1). DLS that occurred where MMLF were not detected (DLS at MMLF-free) account for 79% of overall DLS. However, 62% of these DLS are located in the high or moderate susceptibility areas which accounts for 32% of the total study area (Table. 1). These results indicate that the statistical analysis of relationships between MMLF and SLPs is useful for evaluating DLS susceptibility.

Relationships of DLS with SLPs except for slope gradient and distance to fault are considered similar to those of MMLF based on the prediction model, Cramer's  $V$ , and frequency distribution. Also the relationships of both DLS and MMLF with SLPs are consistent with those of MMLF reported by researchers whose study areas have various environmental conditions in terms of geomorphology and geology. These suggest that the method developed by this study is also useful for other areas.

On the other hand, relationships between DLS and slope gradient or distance to fault are different from those for MMLF. The difference related to slope gradient can be explained that many MMLF have lower slope gradients due to previous mass movements. The difference regarding distance to fault may reflect that rapid and long distance mass movements tend to occur only where bedrock was crushed and weakened by fault motion.

This study shows that statistical analysis of the relationship between SLPs and MMLF is useful for predicting DLS, because SLPs associated with DLS are similar to those with MMLF except for slope gradient and distance to fault. Future work is needed to improve the prediction accuracy. It is also necessary to include slope gradient in the prediction model, because many previous studies found that slope gradient is important for triggering mass movements.

Table.1 Distribution of DLS for three landslide susceptibility zones. The zonation is based on the model that include all SLPs except for slope gradient and distance to fault.

	Low susceptibility	Moderate susceptibility	High susceptibility
Study Area(%)	67.8	21.3	10.8
DLS (%)	32.3	26.7	41.0
DLS at MMLF-free(%)	38.2	27.4	34.4