



# 地形発達過程を考慮した土砂移動 危険斜面の推定

防災科学技術研究所マルチハザード評価研究部門  
佐藤昌人

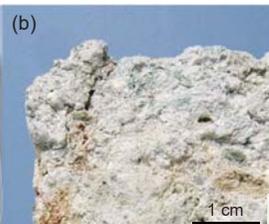
## 経歴

- 2019.3 筑波大学大学院 生命環境科学研究科 地球環境科学専攻  
地形学分野 博士後期課程修了  
岩石の風化、とくに塩類による岩石の破壊について実験・研究を行う
- 2010.4～ 防災科学技術研究所 水・土砂防災研究分門 若月強氏のもとで  
2018.3 短時間アシスタントスタッフとして、
  - ・土砂移動分布図の作成
  - ・災害・崩壊地調査補助
  - ・岩石・土質試験
 などに携わる。
- 2019.4～ 防災科学技術研究所  
マルチハザードリスク評価研究部門 契約研究員

## 経歴



(a) 3 cm



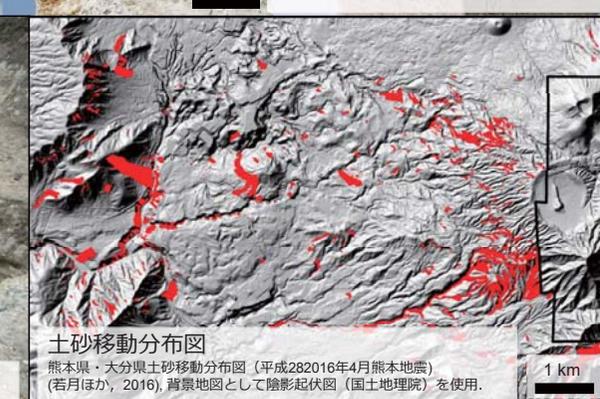
(b) 1 cm



(c) 岩石風化実験 (Sato and Hattanji, 2018)



土石流堆積物調査 (津和野町)



土砂移動分布図  
熊本県・大分県土砂移動分布図 (平成28年4月熊本地震)  
(若月ほか, 2016). 背景地図として陰影起伏図 (国土地理院) を使用。  
1 km

## 斜面における土砂移動現象とは...

斜面を構成する土層もしくは岩盤までが、おもに重力により斜面下方に移動する現象

- ・地すべり(深層崩壊)
- ・表層崩壊, 土石流

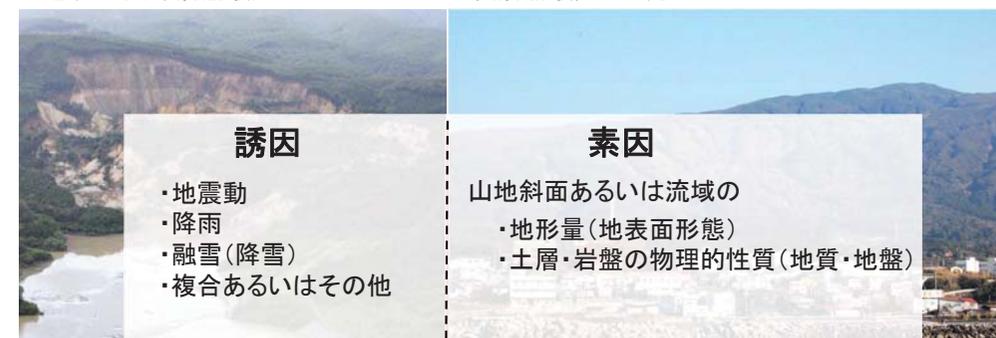
### 誘因

- ・地震動
- ・降雨
- ・融雪(降雪)
- ・複合あるいはその他

### 素因

山地斜面あるいは流域の

- ・地形量(地表面形態)
- ・土層・岩盤の物理的性質(地質・地盤)



伊豆大島土砂災害 (2013年) によって発生した表層崩壊・土石流



荒砥沢地すべり: 岩手・宮城内陸地震 (2008年) によって発生した最大の地すべり (井口隆氏提供)

## 地質による土層構造の違い

地質ごとの風化形態・土層構造の違い



表層崩壊・土石流の発生頻度に強く影響

### 花崗閃緑岩地域

- ・岩盤内部まで風化しており、土層との境界が不明瞭
- ・降雨が地中深くまで浸透
- ・表層崩壊が発生しにくい

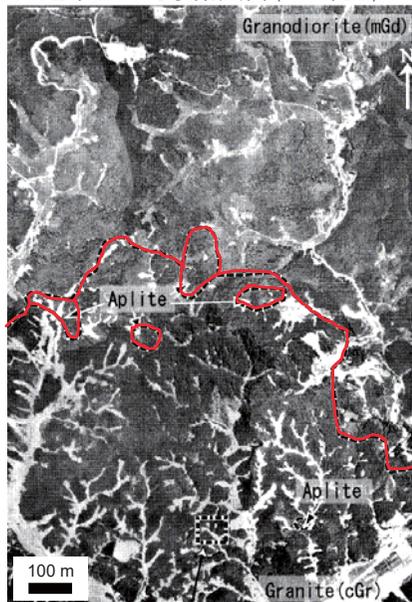


### 花崗岩地域

- ・岩盤と土層の境界がはっきりしている
- ・土層と岩盤の境界に飽和帯（帯水層）が生じた
- ・数多くの表層崩壊が発生

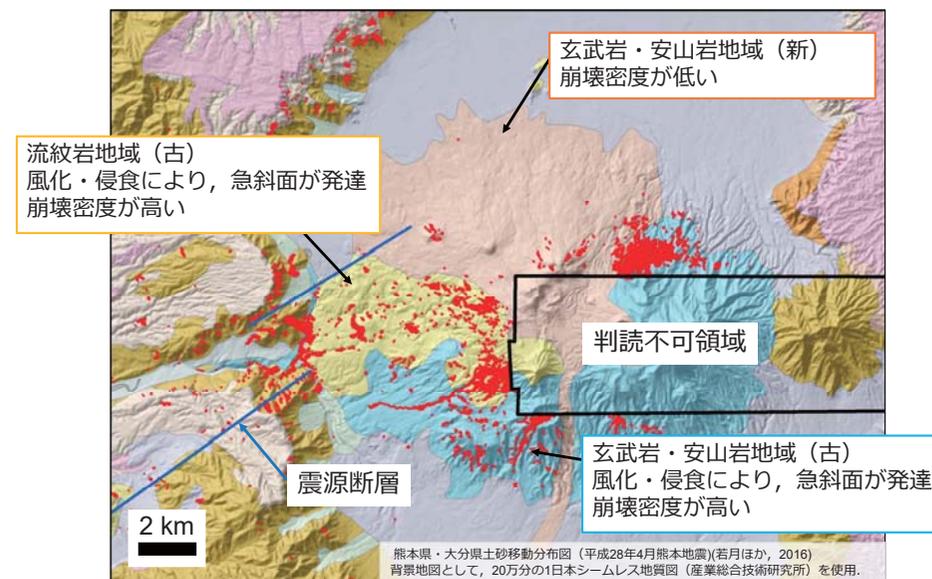


1972年西三河豪雨災害 (戸邇ほか, 2007)



## 斜面発達度による土砂移動分布の違い

火山灰土壌の崩壊：形成時期が古く、急斜面が発達した地域で崩壊が多発



熊本県・大分県土砂移動分布図 (平成28年4月熊本地震)(若月ほか, 2016) 背景地図として、20万分の1日本シームレス地図図 (産業総合技術研究所) を使用。

## 地形発達過程が類似した場所で発生する地すべり

2018年に発生した地すべりの周りには地すべり地形が多数分布  
地形発達過程 (地表面形態, 地質, 土層・岩盤構造) が類似した場所で地すべりが発生



右：地すべり地形分布図に重ねた大分県中津市2018年4月11日に発生した地すべり (回中、赤) (1:50,000地すべり地形分布図 第37集「福岡・中津」, 清水ほか, 2008)  
左：大分県中津市山深町で発生した地すべりの現場 = 2018年4月11日撮影 (毎日新聞HPより)

## 過去の地すべり地形の再滑動

地すべり地形分布図に記載された過去の地すべり地形で  
新たな地すべりが発生 ➡ 地すべりの再滑動



荒砥沢地すべり：岩手・宮城内陸地震 (2008年) によって発生した最大の地すべり (井口隆氏提供)

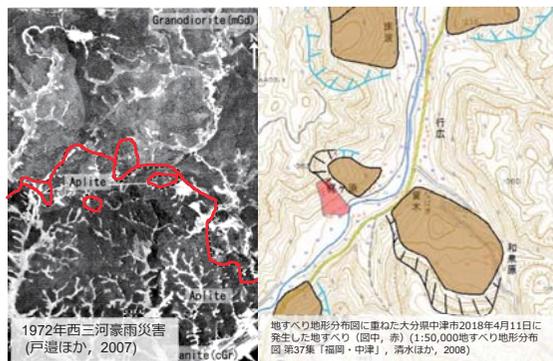
1:50,000地すべり地形分布図 第1集「新庄・坂田」, 清水ほか, 2008)

### 山地斜面の地形発達過程

- 地質 (岩石種, 形成時期)
- 岩盤の風化形態
- 気候, 地殻変動 (地震動・火山)

- 地形 (地形種)
  - 地表面形態 (斜面傾斜など)
  - 土層および岩盤構造, 物理特性

斜面における土砂移動発生に強く影響



### 南海トラフ地震の被害想定域の地質

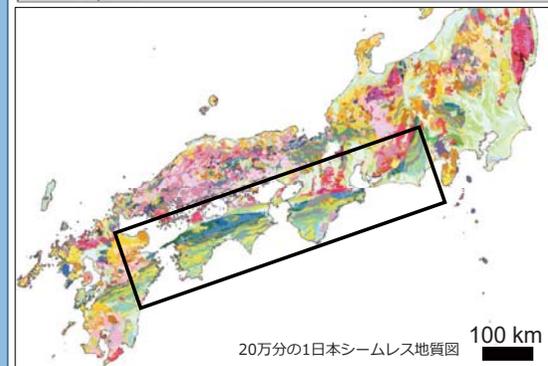
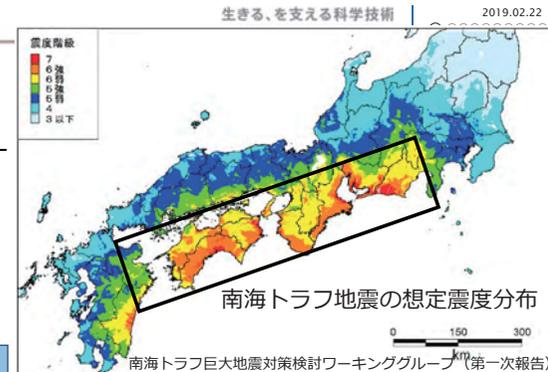
非常に複雑な地質構造 (付加帯地域)

- 砂・泥質堆積物
- 遠洋性チャート
- 玄武岩, 斑れい岩
- 石灰岩
- それらの変質物 などが混在

各地質の土層の厚さや風化特性, 強度といった地盤 (土層および岩盤) 内部の性質

- 綿密な現地調査, 岩石・土質試験による知見の蓄積
- 風化による土層形成モデルを用いた広域での推定

土砂移動危険斜面の推定・危険度評価



### 1:50,000地すべり地形分布図の活用・高度化

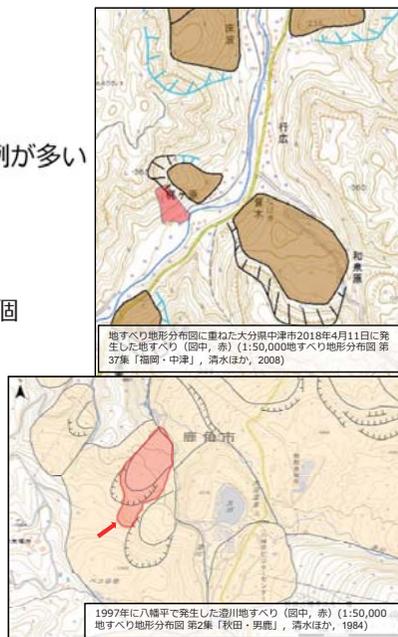
過去の土砂移動 (地形発達過程) の記録

- 過去の地すべり地形の再滑動
- とくに移動体内部の地すべり地形が再滑動する事例が多い
- 地形発達過程が類似した場所で発生する地すべり

地すべり地形分布図に示された地すべり: 約40万個

再滑動, 周辺での新規地すべり事例は限られる

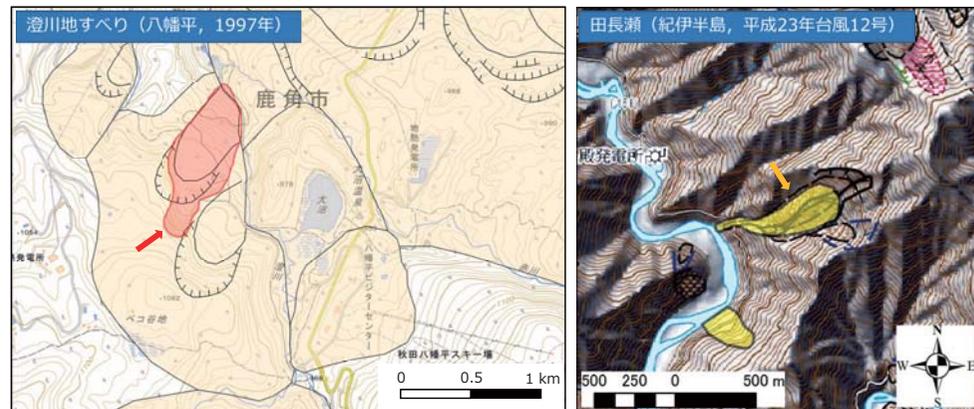
再滑動の可能性が高い地すべりを抽出



### 1:50,000地すべり地形分布図の活用・高度化

内部構造から活動度の推定

- 移動体内部の地すべり地形
  - 複数の地すべりが重なり合う構造の地形
- で地すべりの再滑動が発生.



# 1:50,000地すべり地形分布図の活用・高度化

地すべり地形分布図凡例：地すべりの新旧・新鮮度が表現されている

**・滑落崖と側方崖**

- 新鮮なまたは開析されていない冠頂を持つ滑落崖
- 部分的に開析されている冠頂を持つ滑落崖
- 冠頂が著しく開析された滑落崖
- 冠頂が丸みを帯びて不明瞭になった滑落崖
- 開析されて無くなった冠頂・滑落崖の推定復元位置
- 共通の冠頂を持ち、互いに反対方向を向いた滑落崖
- 中・緩急の緩傾斜すべり面が地表に露出し、滑落崖にあたる急傾斜を呈しない斜面冠頂は尾根の反対側斜面とすべり面との交線
- 後方崖、多重稜線等

**・移動体の輪郭・境界**

- 後方に滑落崖があり、移動体の輪郭が明瞭ない判定可能
- 後方の滑落崖は明瞭であるが、移動体の輪郭の判定が困難
- 滑落崖はほとんど開析された過去の移動体の一部(不安定土塊)が残存している
- ほかの移動体や堆積物におおわれた部分
- 斜面体の移動の初期状態、基岩から分離していないとしても不安定域・移動域と推定される範囲
- 斜面移動体かどうか判定できない山岳・小丘

図 4a 地すべり地形分布図の凡例(輪郭構造)  
Fig. 4a Symbols for landslide map: Boundary structures.

➡ 滑落崖、移動体の新鮮度に基づく地すべり地形の再分類

平成30年7月豪雨により四国中央部三波川変成帯の地すべり密集地域で発生した大規模崩壊(木村ほか, 2019)

・地すべり地形分布図凡例(一部)

滑落崖	移動体/内部構造
新鮮な冠頂をもつ滑落崖	輪郭の明瞭な斜面移動体
部分的に開析された冠頂をもつ滑落崖	不安定域・移動域と推定される範囲
著しく開析された冠頂をもつ滑落崖	斜面移動体かどうか判定できない山岳・小丘
冠頂にあたる急傾斜を呈しない斜面	二次・小滑落崖
後方崖、多重稜線等	

➡ 滑落崖、移動体の新鮮度に基づいて3種類に分類

- a) 新期地すべり  
まだ開析が進んでおらず  
滑落崖も移動体も輪郭が明瞭
- b) 古期地すべり  
特に滑落崖で開析が進む
- c) 重力斜面変形  
後方崖、多重稜線等と不安定域

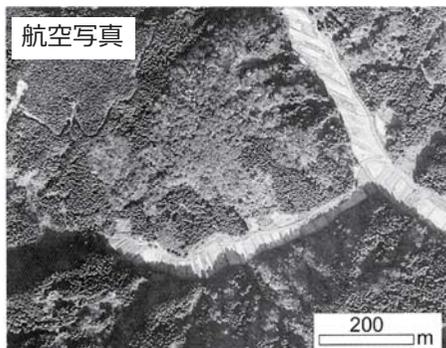


・崩壊面積上位8箇所の大規模崩壊地は、いずれも新鮮な滑落崖や輪郭の明瞭な移動体をもつ新期地すべり地形(の一部)が崩壊したものだ。

# 1:50,000地すべり地形分布図の活用・高度化

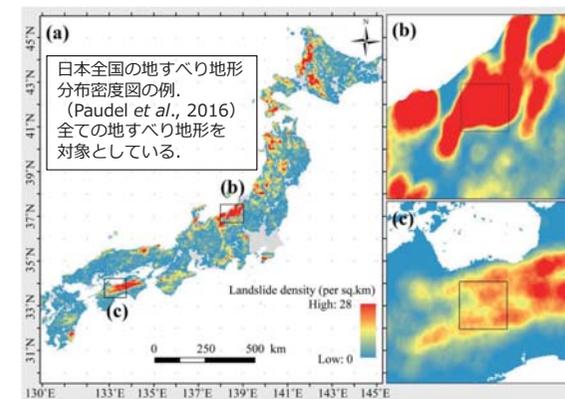
↑ 航空写真から判読

- ・レーザー航空測量(LP)やドローンにより取得した詳細地形図を用いた地すべり地形分布図の再判読
- ・より正確な判読(判読漏れ, 誤判読の減少)
- ・植生の影響を除去
- ・地すべり移動体の内部構造から活動度の推定



# 1:50,000地すべり地形分布図の活用・高度化

活動的な地すべり地形に限定した“活地すべり”地形分布密度図の作成



International Journal of Geosciences, 2016, 7, 156-161  
Published online May 2016 in IJGSS. http://www.iiste.org/journals/index.php/IJGSS  
DOI: 10.4236/ijgss.2016.75016

**Multi-Resolution Landslide Susceptibility Analysis Using a DEM and Random Forest**

Uttam Paudel<sup>1</sup>, Takashi Ipeuchi<sup>2</sup>, Yuki Hayakawa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Natural Environmental Studies, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Kashiwanaka, Kashiwa, Japan  
<sup>2</sup>Center for Spatial Information Science, The University of Tokyo, Kashiwanaka, Kashiwa, Japan  
Email: Uttam.paudel@gmail.com, ipeuchi@sis.u-tokyo.ac.jp, hayakawa@sis.u-tokyo.ac.jp

Received 21 April 2016; accepted 27 May 2016; published 27 May 2016  
Copyright © 2016 by authors and Scientific Research Publishing Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

**Abstract**  
Landslide susceptibility (LS) mapping is a requisite for safety against sediment related disasters, and considerable effort has been exerted in this discipline. However, the site heterogeneity and distribution of landslides still impose challenges in selecting an appropriate scale for LS studies. This requires identification of an optimal scale for landslide sensitive parameters. In this study, we propose a method to identify the optimum scale for each parameter and use multiple optimal parameter-scale combinations for LS mapping. A random forest model was used, together with 16 geomorphological parameters extracted from 10, 20, 40, 80, 120, 150, and 300 m digital elevation models (DEMs) and an inventory of historical landslides. Experiments in two equal sized (213 km<sup>2</sup>) areas in Niigata and Ibaraki, Japan, with different geological and environmental settings and landslide density, demonstrated the efficiency of the proposed method. It incorporated all other single scale LS models with a prediction accuracy of 79.7% for Niigata and 74.2% for Ibaraki. Values of area under receiver operating characteristics (ROC) curves (AUC) of 0.877 and 0.870 indicate the application of the multi-scale model.

**Keywords**  
Multi-Resolution, Landslide Susceptibility, DEM, Random Forest

➡ “活地すべり地形”の分布密度を対数・段階評価で表現

- ・地すべり地形周辺で新たに発生する地すべりの可能性を含む
- ・誤判読, 読み落としの影響を軽減
- ・グリッドサイズの検討