

地理空間情報を活用した研究の紹介

北海道大学農学研究院流域砂防学研究室
笠井美青

地形の粗さ（粗度）

山腹斜面

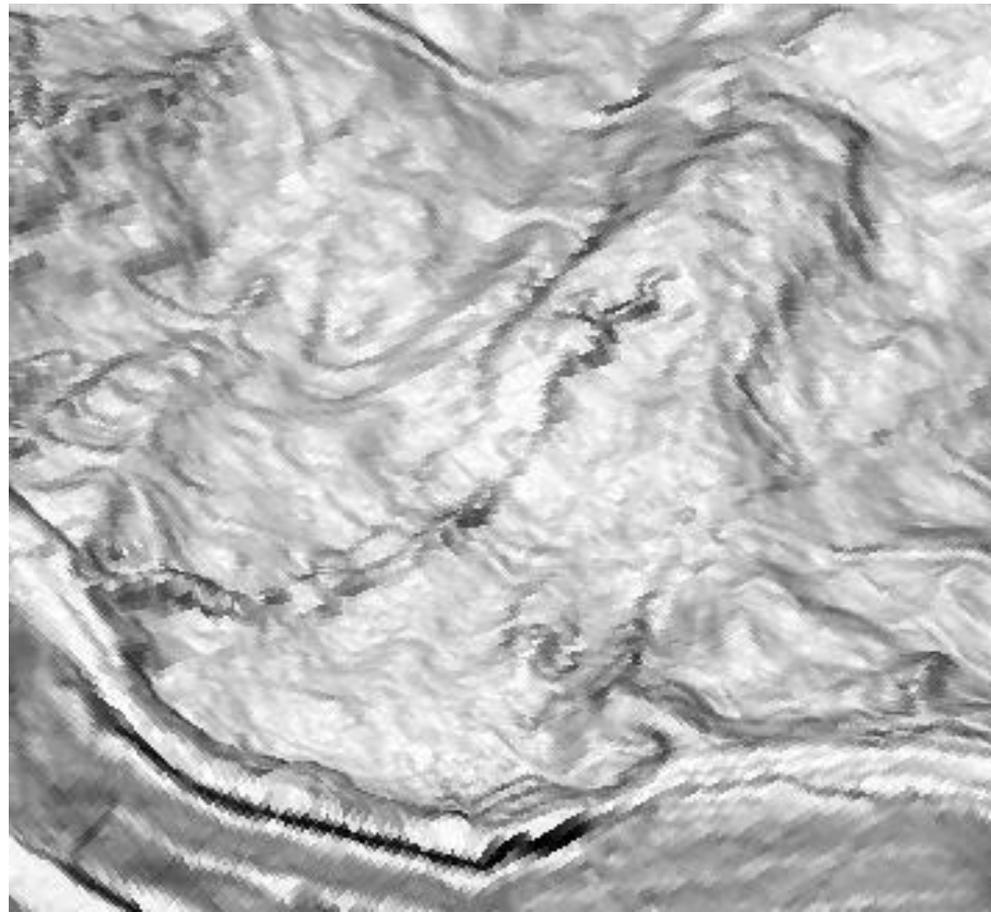
緩慢に移動している/した斜面には亀裂や段差が形成される

斜面が不安定である可能性

➡ 斜面が滑らかではなくなる

地震、豪雨、融雪により急激に滑動する恐れ





地すべりは植生をのせたまま滑動する
ALS(航空レーザー計測): 森林下の微細な地形
(微地形)を表現可能

これまで用いてきた粗度指標

➤ 固有値比 (eigenvalue ratio)

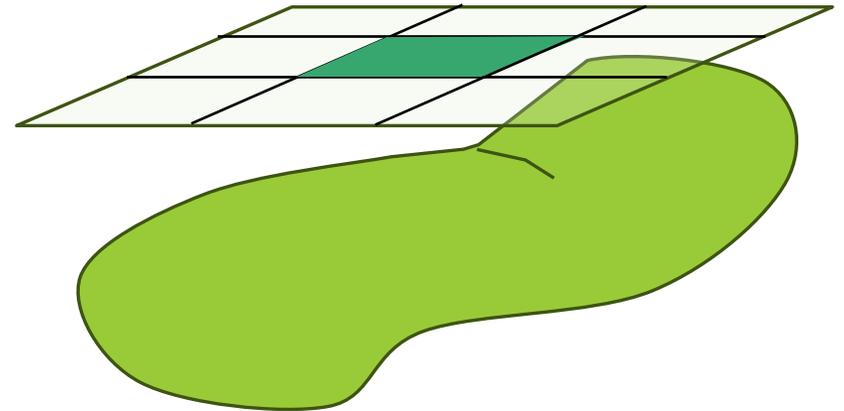
近傍セルの方位と勾配のばらつき → ばらつくほど、粗い

➤ 勾配の標準偏差 (eigenvalue ratio)

近傍セルの勾配のばらつき → ばらつくほど、粗い

➤ ラプラシアン値

近傍セルの標高差を強調



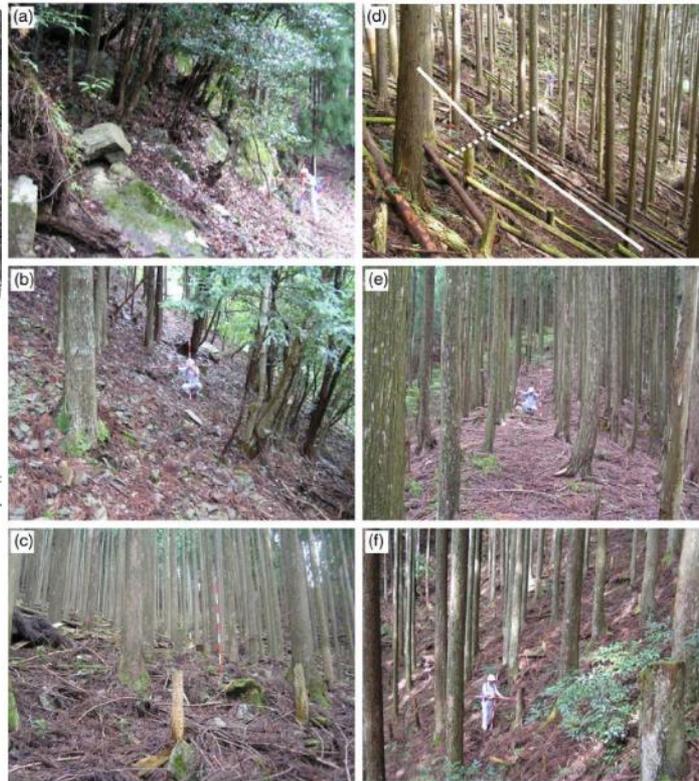
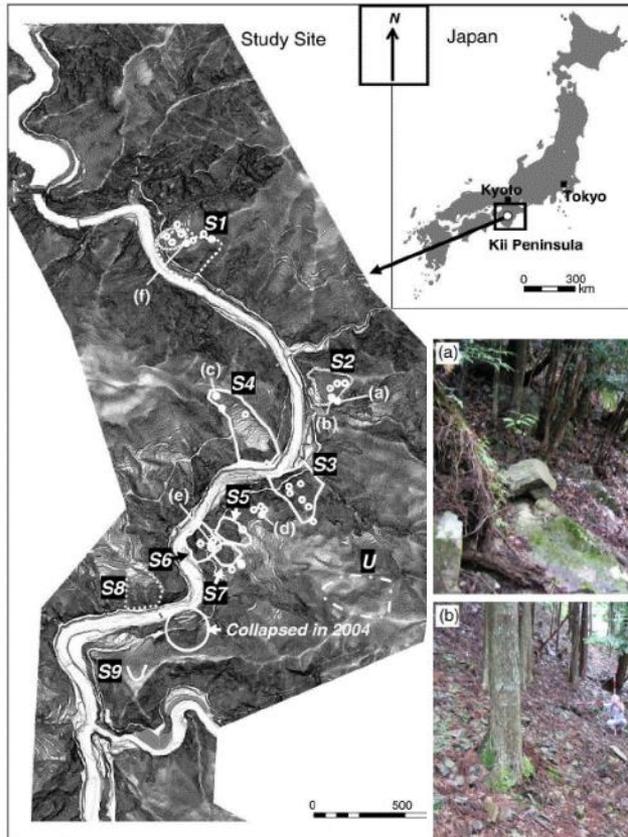
結果に大きな違いはない模様

山腹斜面

緩慢に移動している斜面には亀裂や段差が形成される

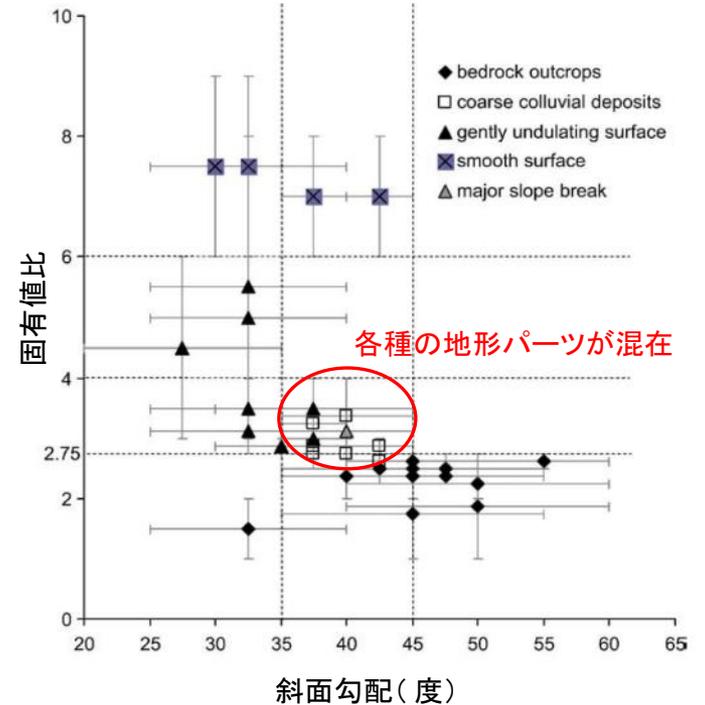


数値で表現 → 崩壊危険斜面を抽出する試み

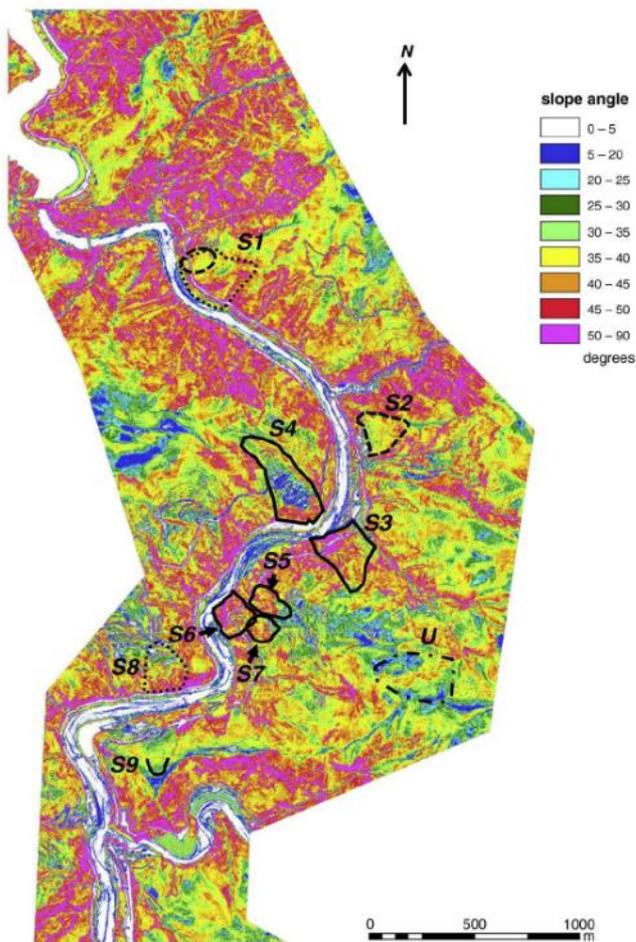


奈良県国道168号沿い
ALSデータから作成した勾配図

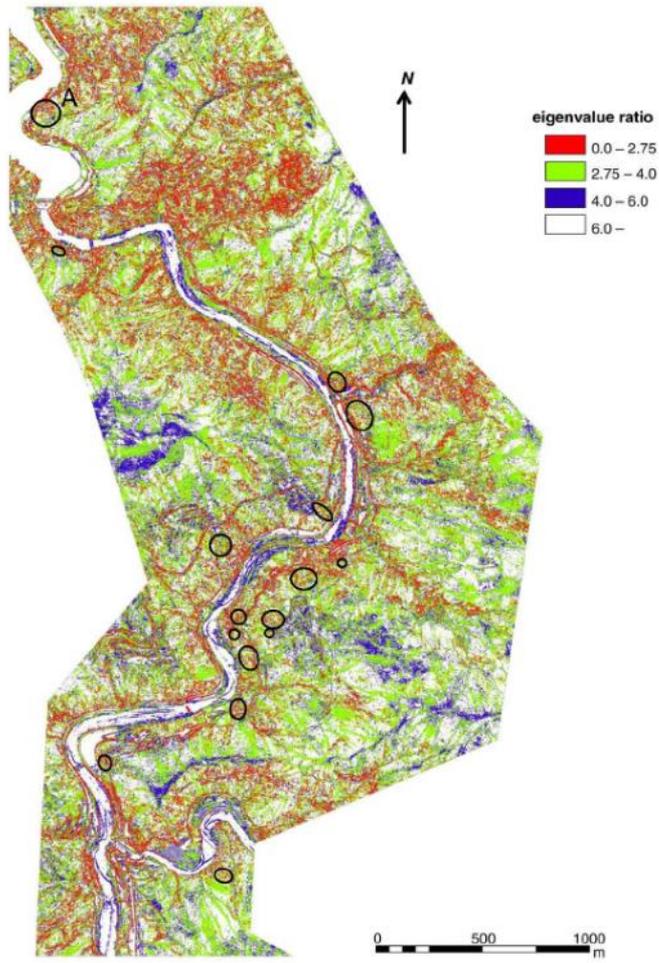
現場写真



Kasai, M.*, Ikeda, M., Asahina, T., and Fujisawa, K. LiDAR-derived DEM evaluation of deep-seated landslides in a steep and rocky region of Japan. *Geomorphology* 113, 57-69 (2009).



斜面勾配



固有値比

崩落する可能性のある斜面を抽出



2011年紀伊半島大水害後

➡ 試みはハズレ 😞

はずれた理由

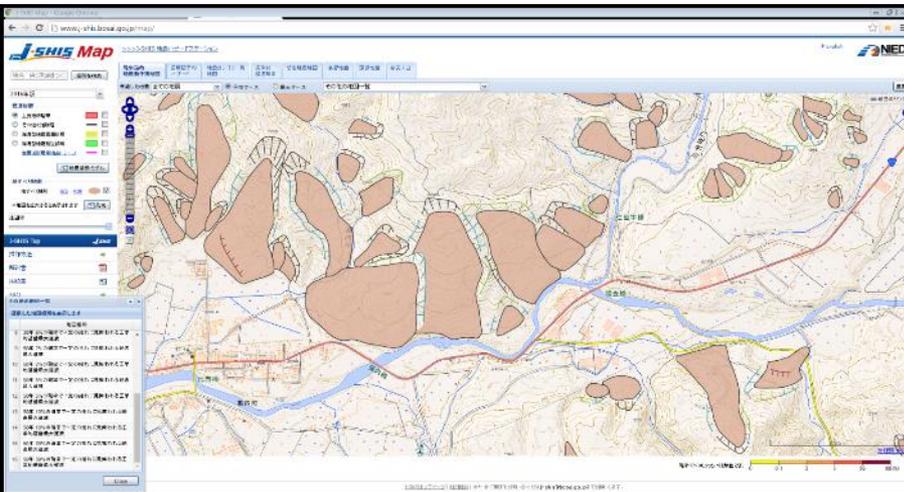
- 亀裂などの微地形は形成されてからも長期間残存する
 - ➡ 現在、滑動中の斜面であるかは不明

- 崩壊には様々な要因が絡む
 - ➡ 粗度指標と勾配で説明できるほど単純ではない

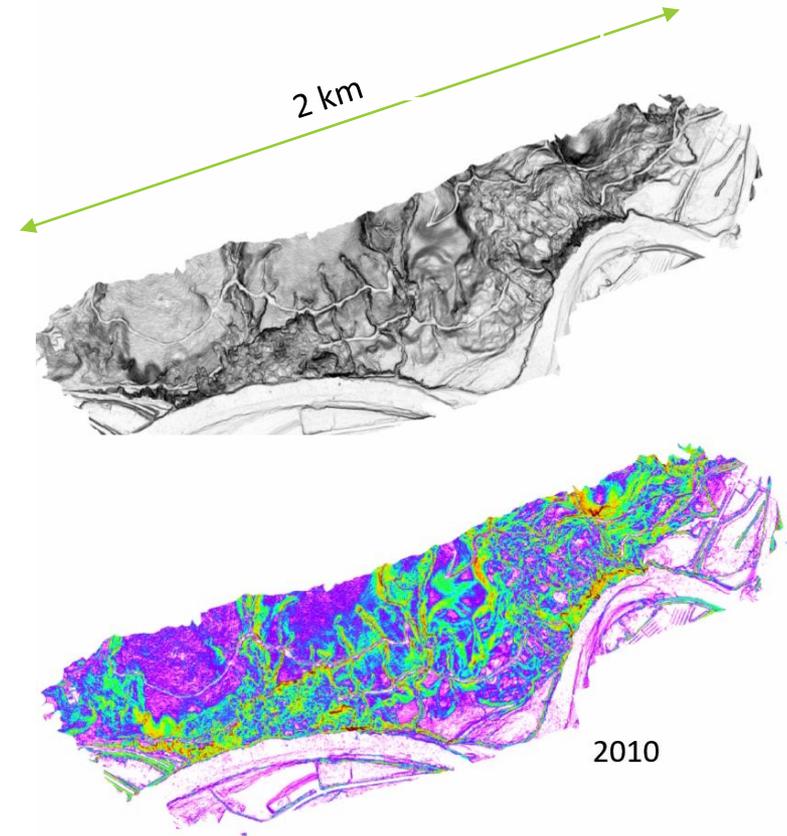
平取町岩知志地区の地すべり多発域を対象に

- 「粗地表セル」(固有値比の値が2.5から5の値を示したセル)を用いて
- 「ホットスポット分析」を実施すること

により、滑動中の斜面を抽出



<http://www.j-shis.bosai.go.jp/map/>

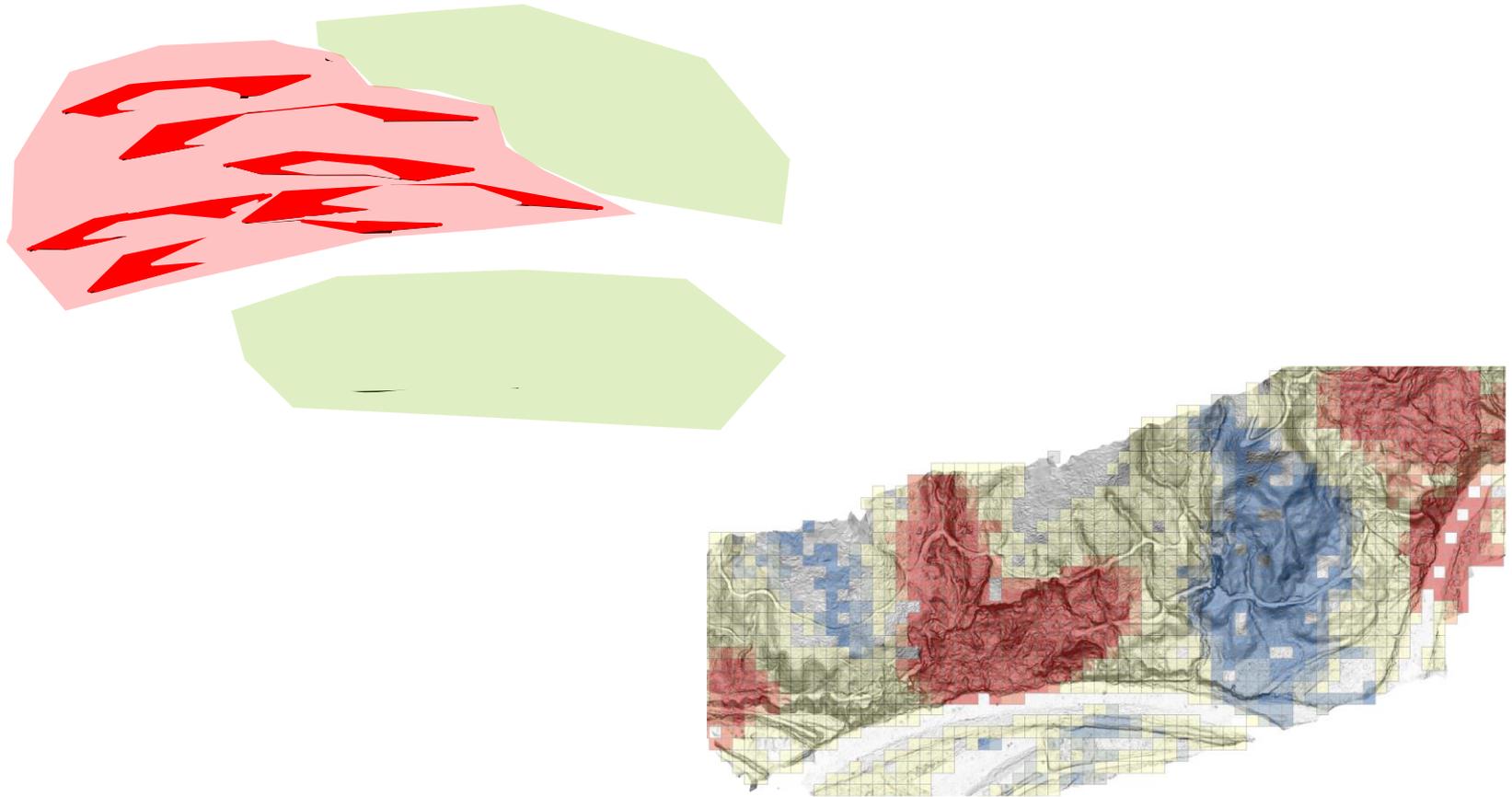


笠井美青 地表粗度指標を用いた最適化ホットスポット分析による活動的な地すべり斜面の抽出. 日本地すべり学会誌 56, 115-123 (2019).

滑動中の斜面を抽出

粗地表セルが新たに出現した箇所が集中している斜面を抽出

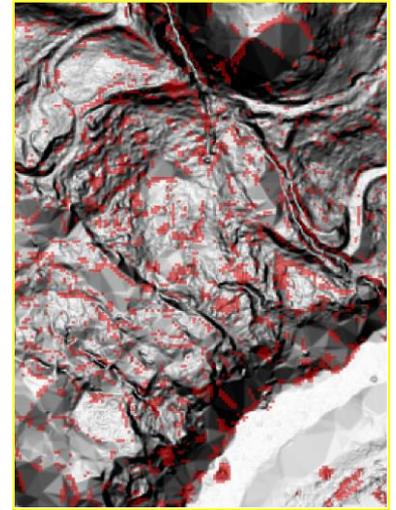
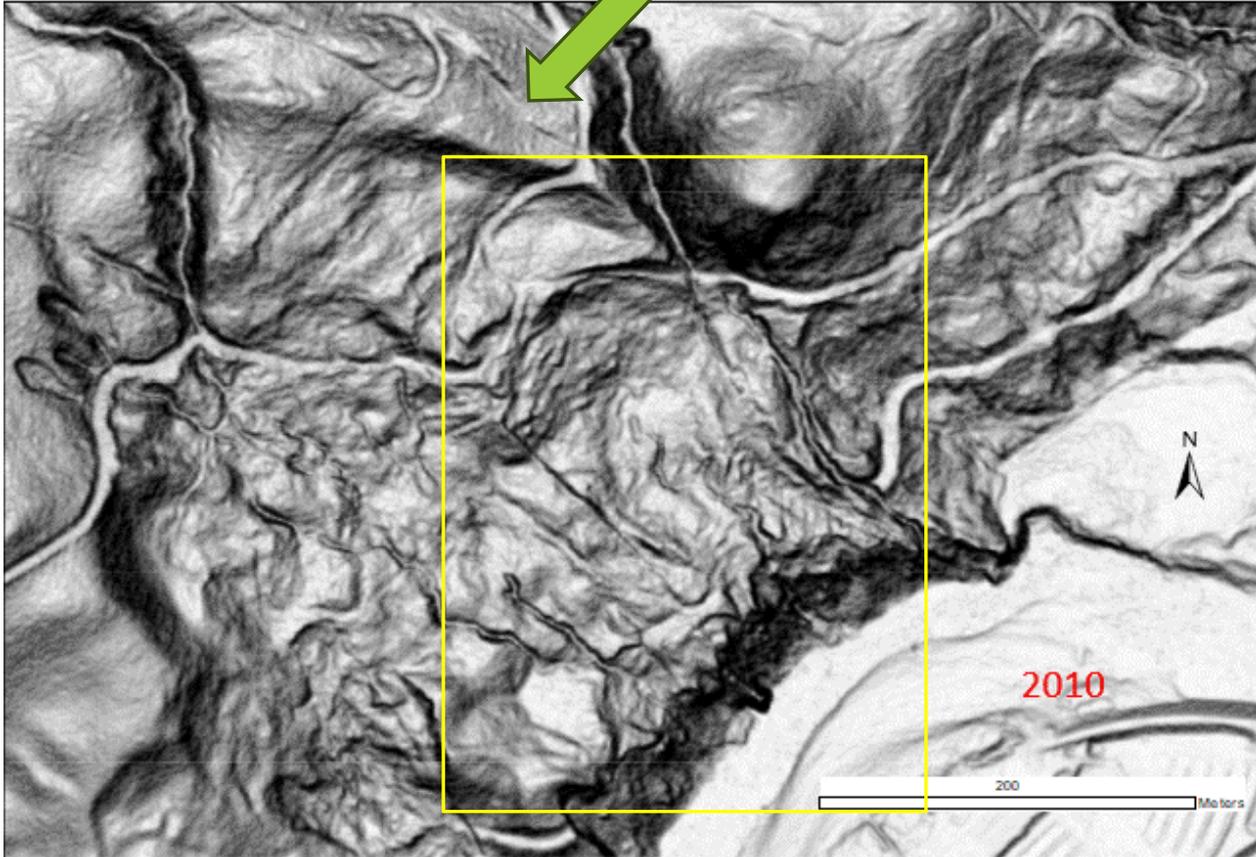
→ Count Incidents Within Fishnet Polygons法を用いた最適化ホットスポット分析



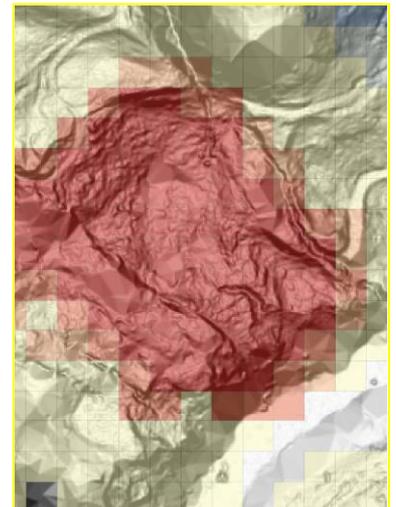
ホットスポット: 新しく粗地表セルが集中して現れた箇所 → 活発な土塊の移動示唆

コールドスポット: 現れなかった箇所 → 土塊としての移動があまりないことを示唆

下方の斜面の移動に伴い滑動



2016-2017年に粗地表セルが増加した箇所



ホットスポット

局所の地形に着目するだけでは、斜面全体の動きを把握しづらい

滑動中の斜面を抽出

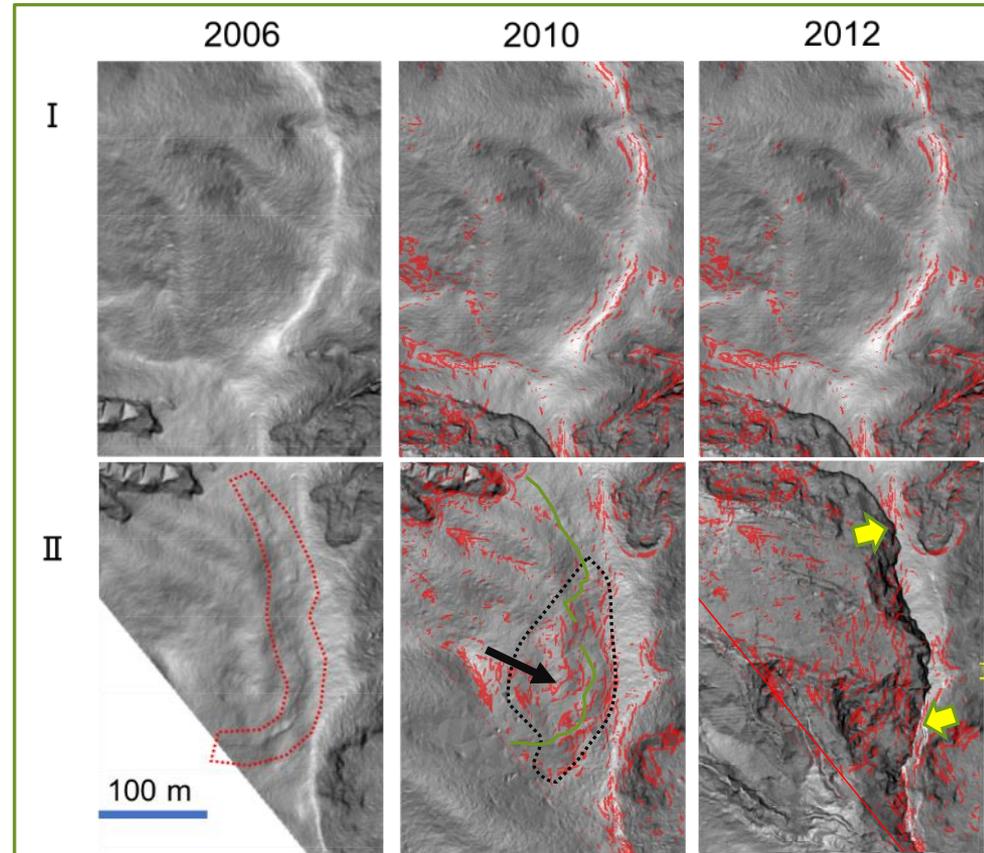
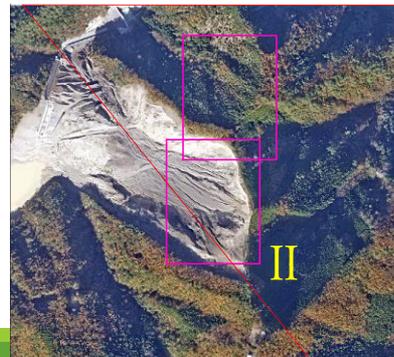
2011年紀伊半島大水害時に深層崩壊が発生した斜面では、事前に滑動に伴う線状凹地の発達が見られた

3×3セル(1 m長)における勾配の標準偏差で表現



Image © 2021 Maxar Technologies

Google Earth



赤: 勾配の標準偏差が前回のALS計測時より0.39から2.32増加した箇所

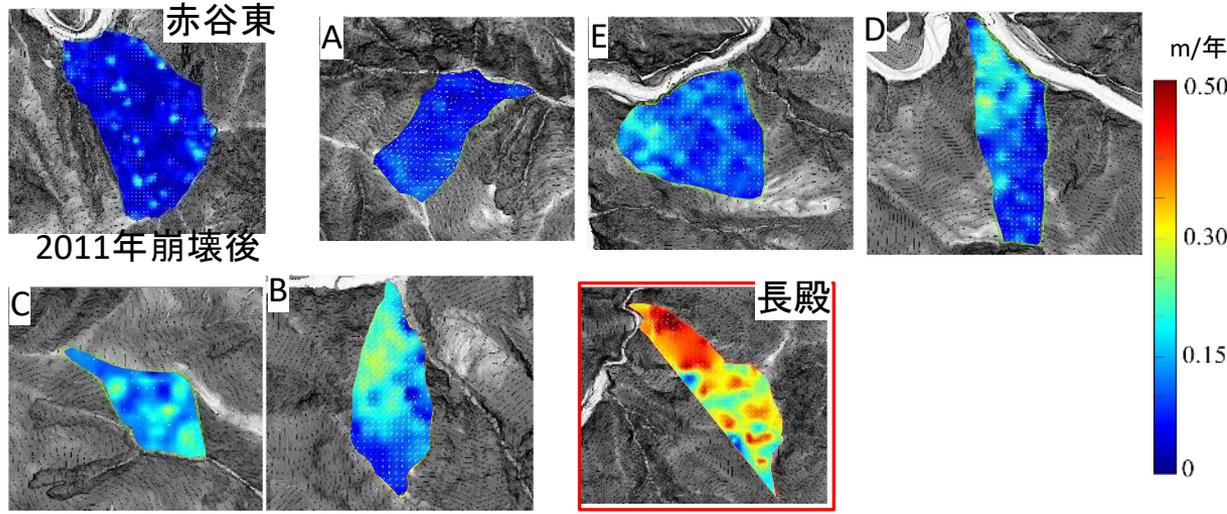
Kasai, M. Can repeat LiDAR surveys locate future massive landslides? In Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Ed, Guzzetti, F., Mihalić Arbanas, S., Reichenbach, P., Sassa, K., Bobrowsky, P.T., and Takara K. Springer Nature, Cham, pp 81-85 (2021).

ただし、局所の地形に着目するだけでは、斜面全体の動きを把握しづらい¹¹

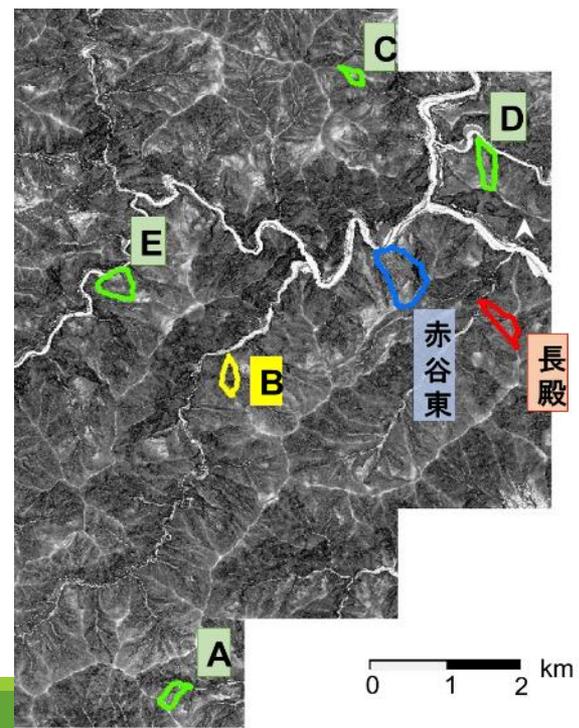
紀伊半島への応用

深層崩壊発生直前の 地表面変位速度

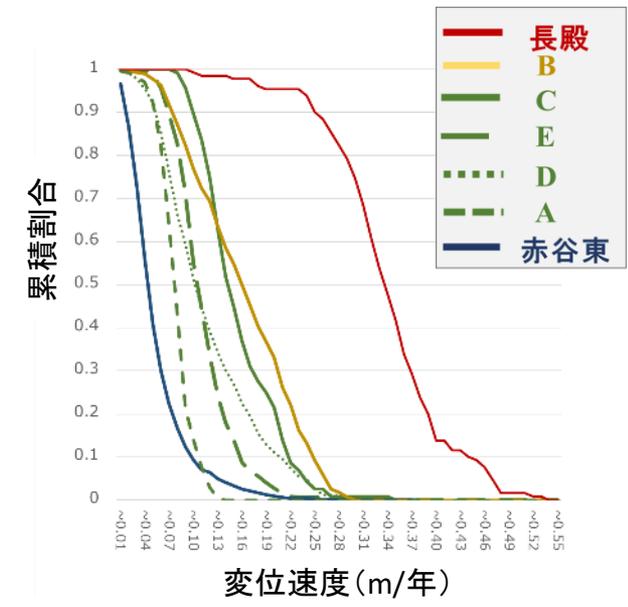
- 2011年に深層崩壊が発生した斜面(長殿)では、**事前**に地表面が急速に変位していたことが示唆される
- 2017年時点で、同様に著しく変動している斜面は見られない
- 今後変位が進む可能性がある斜面はあり



各サンプル斜面の地表面変位(長殿:2006-2010年、以外:2013-2017年のALSデータより解析)



各サンプル斜面位置図



各斜面内の変位速度の累積割合

➤ 崩壊には様々な要因が絡む

➡ 粗度指標と勾配で説明できるほど単純ではない

- ・ **大規模な地震**が発生すると, 広範囲で多数の斜面崩壊が発生



地震で崩壊が発生しなかった斜面でも, 強振動により地盤の強度が低下
→ **地震後も崩壊が発生しやすい状態が継続** (Khatak et al., 2010)



その後の降雨で崩壊が発生



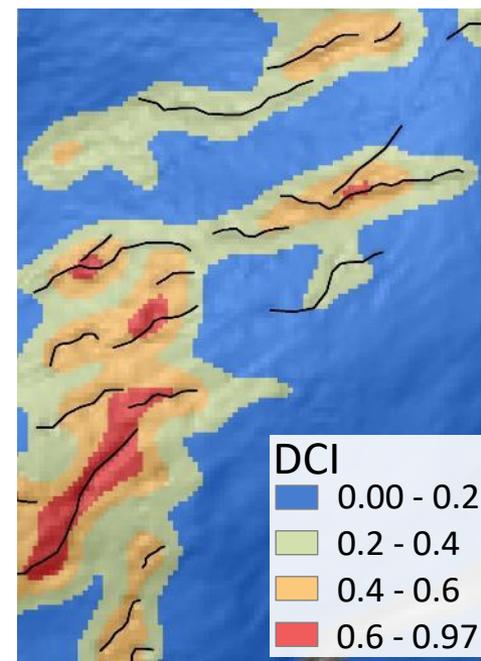
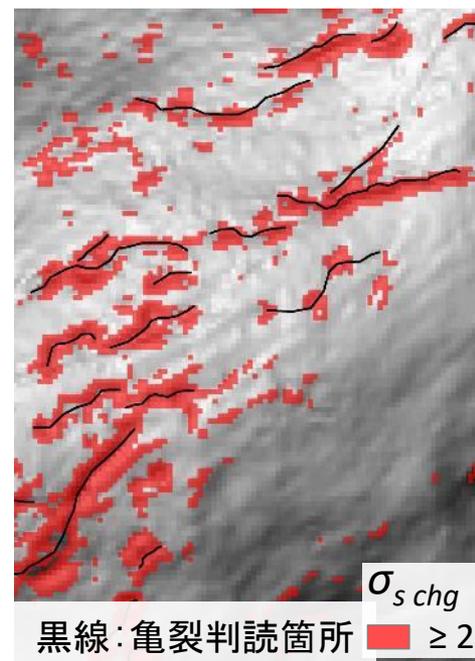
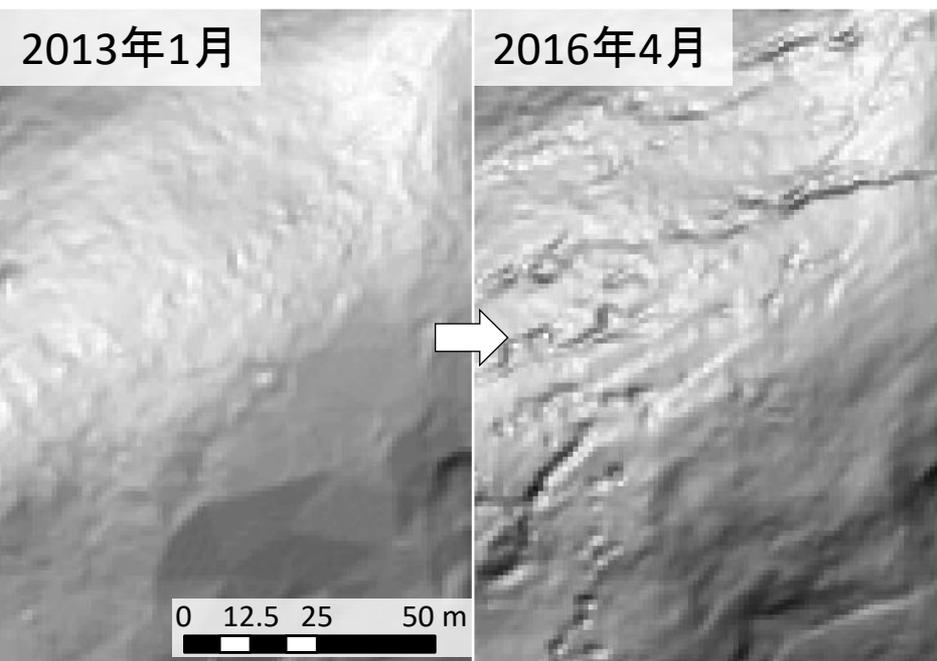
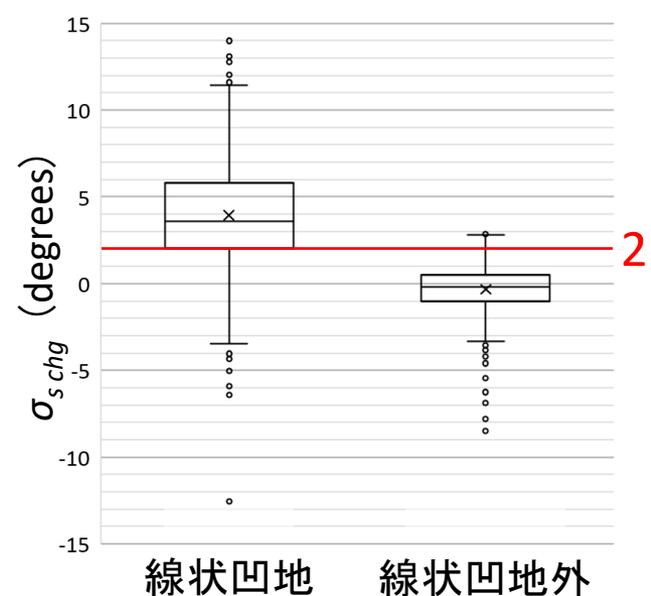
2016年熊本地震後に発生した斜面崩壊の例 (熊本県阿蘇地域)

➡ 地震直後, **広域を対象**として, **迅速に**崩壊の危険が高い斜面を推定したい

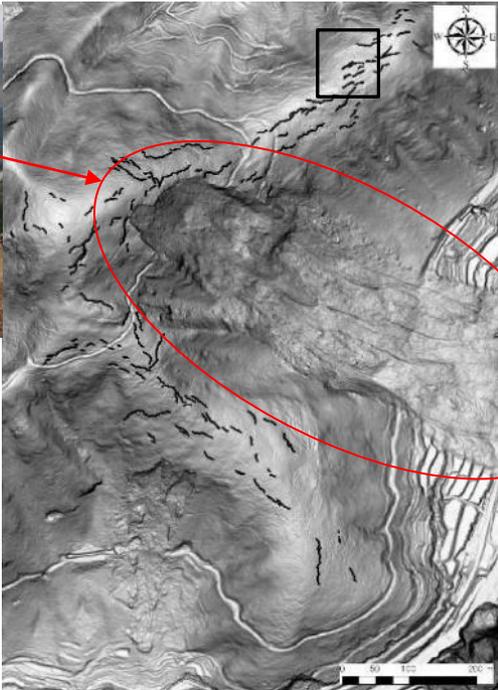
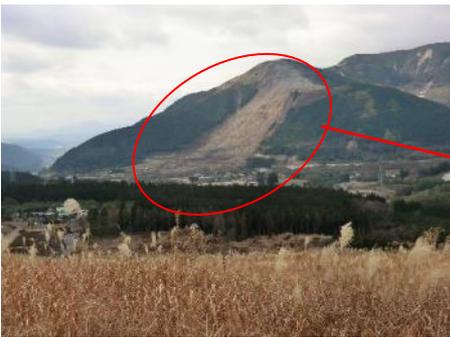
地表粗度を活かした線状凹地の抽出

1. 地震前から後における, 近傍の 3×3 セルの勾配の標準偏差の変化量 ($\sigma_{s\ chg}$) を算出
2. $\sigma_{s\ chg} \geq 2^\circ$ のセルについて, カーネル密度 (近傍距離10 m) を算出

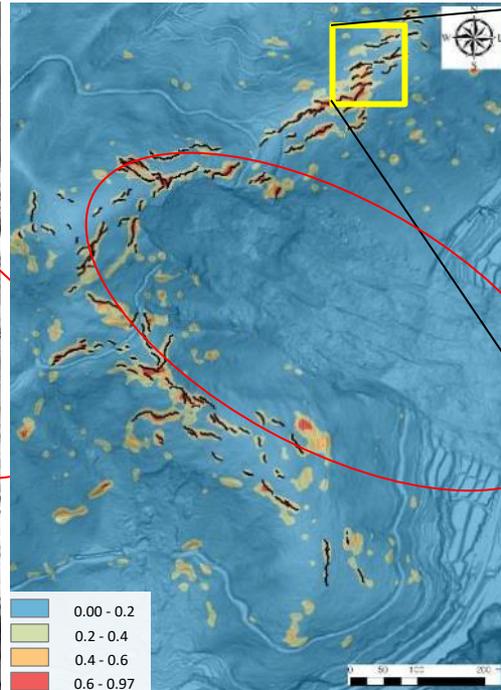
⇒ 「DCI」の提案



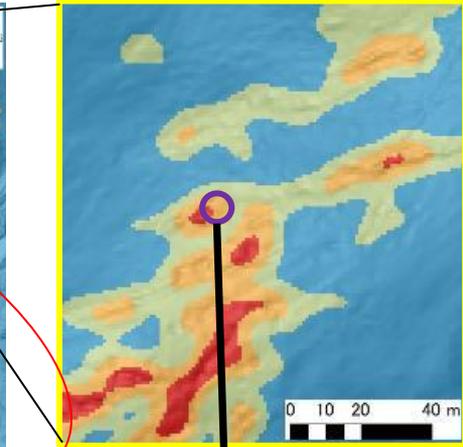
線状凹地とDCIの分布



Seismic cracks identified from maps produced from pre- and post-seismic LiDAR survey data

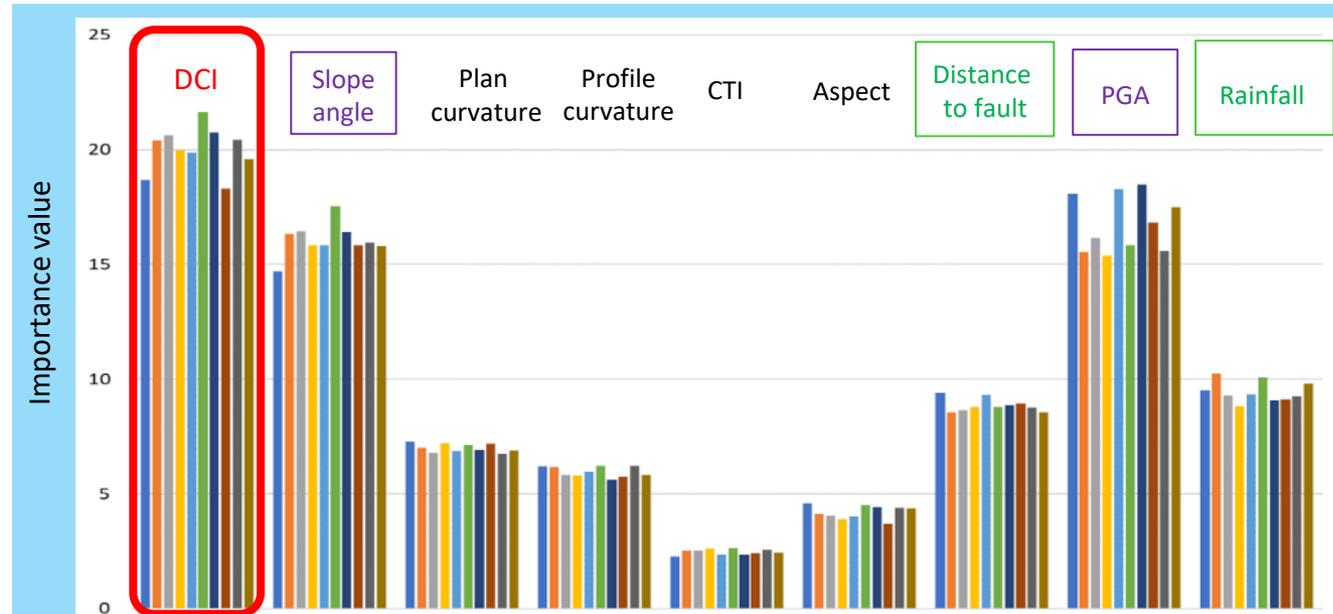


Value distribution of DCI

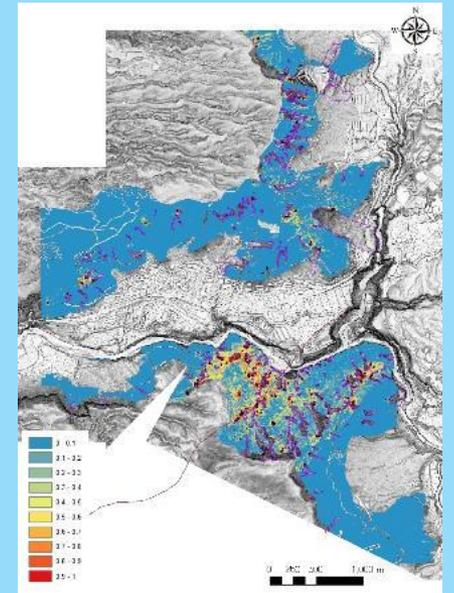


w:60cm d:85cm

各因子と地震後の崩壊発生に関連性(ランダムフォレスト)



Importance values of the conditioning factors that influence the occurrence of post-seismic landslides.



Landslide susceptibility map with RF (AUC > 0.99)

➤ DCI は斜面勾配やPGAと比較しても、地震後の崩壊発生に最も影響力のある要因

まとめ

地理空間情報の活用

- 「地表の粗さ」に注目することで、斜面の**変動**を数値的に表現する試み
 - ✓ ALSデータを用いることで、過去には不可能であった、微細な地形データの広域の解析を可能に
 - ✓ 時系列で解析することで、個々の斜面から流域・地域のスケールまで地形の**変動**を把握+推定可能に
 - ✓ 微細な地形情報に加えて、各種(地質・気象...)情報を同時に考慮して解析可能

人命・インフラ・各種財産へ被害を与える可能性のある**エリア**抽出に役立つ

「時間」の推定にはシミュレーション等必要

* ALSデータにはエラーも多い

グラウンドトゥルスデータとの照合が常に必要