

平成26年8月29日(金) (於:高知サンピアセリーズ)

山々に潜む深層崩壊の危険性

— 如何にその兆候を捉え、将来に備えるか —

京都大学防災研究所地盤災害研究部門

松浦純生

本日の内容

本日の発表内容について

1. 山地における土砂の移動現象
2. 崩壊の分類
3. 深層崩壊はどのような箇所で発生するのか
4. 深層崩壊発生メカニズム
5. 危険な場所を見つけるには？
6. なぜ、深層崩壊は起きなかったのか？
7. まとめ

1. 山地における土砂移動現象

山地における土砂の移動現象

侵食：侵食（狭義）とは地表面の土粒子が個別に移動する現象で、雨水や風、凍結融解等によって発生。

落石・岩盤崩落：落石とは、斜面から岩塊や玉石が落下する現象。岩盤崩落とは、岩石を主体とする大きな岩盤の塊が崩落する現象。

崩壊：一般に急斜面で発生し、土層や風化層が早い速度で崩れ落ちる現象。

地すべり：斜面の一部が地山から分離し、原型を保ったまま比較的ゆっくりと移動する現象。

土石流：溪床や山腹斜面に堆積していた土砂が多量の水を含んで集合的に流下する現象。



2. 崩壊の分類

崩壊には

- └→ ・表層崩壊
- └→ ・深層崩壊

表層崩壊とは：

山地斜面に分布する土層が、0.5～2.0mの浅い部分から崩れるものを示す。崩れる土層は、一般的に風化残積土が多い。

【参考】 山地斜面における土層

◎風化残積土：岩石がそのままの位置で風化し堆積したもの。

○火山性土：降下火山碎屑物である火山砂礫や軽石、スコリアなどが堆積したもの。

・風 積 土：レスと呼ばれ日本の山地にも分布。

・崩 積 土：崩壊や地すべりなどの重力作用によって斜面上部から運ばれ堆積したもの。

表層崩壊とは

比較的小規模な崩壊となるが、同時多発的に発生する傾向があり、土石流化することもある。森林植生など地表面の状態と密接な関係がある。

降雨や地震などによって発生するが、降雨による場合は谷頭部などに発生するが多い。一方、地震による場合は、尾根や凸部などにも発生する。

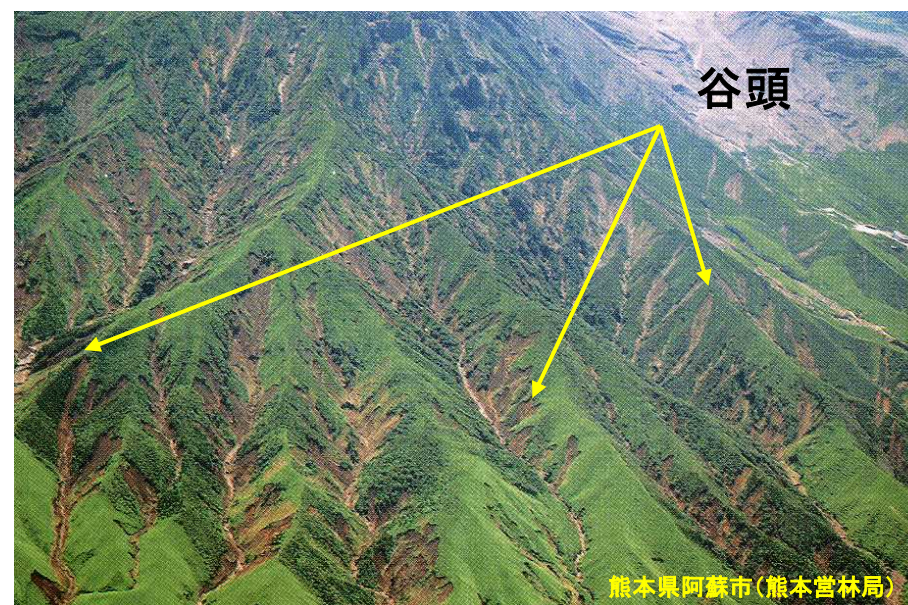
2. 崩壊の分類



地震によって発生した表層崩壊



豪雨によって発生した表層崩壊

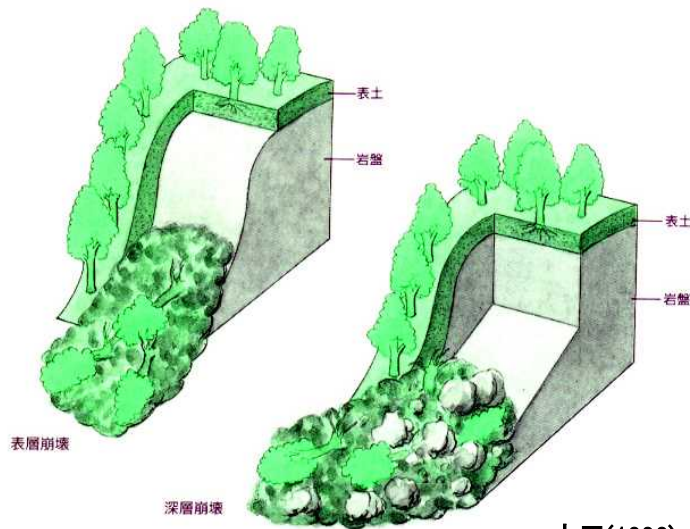


深層崩壊とは

2. 崩壊の分類

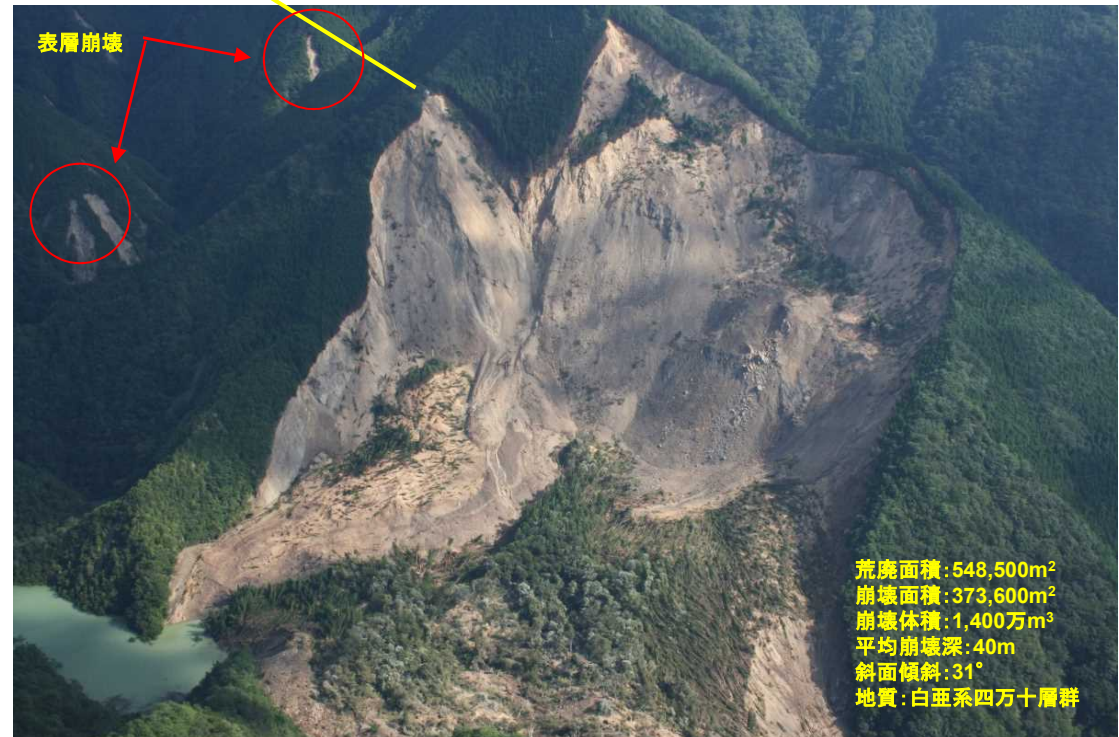


表層崩壊よりも深いところから崩れる現象のこと。一般に、岩盤内部に割れ目が多く、風化が進行し脆弱化した箇所で崩壊することが多い。山体内部の深い箇所から崩壊することから、大規模になることが多く、しかも早い速度で崩壊する。



太田(1996)

表層崩壊と深層崩壊の違い



荒廃面積: 548,500m²
崩壊面積: 373,600m²
崩壊体積: 1,400万m³
平均崩壊深: 40m
斜面傾斜: 31°
地質: 白亜系四万十層群

2. 崩壊の分類

なぜ、今、深層崩壊が注目されているのか？

- **相対的な発生頻度が上昇：**
森林整備が進み、現在では豊かな森林に覆われているため、過去と比較して表層崩壊が少なくなる。
→必然的に深層崩壊が目立つようになる。
- **被害規模が甚大**
崩壊の規模が大きいことから、一箇所での被害が甚大となる。また土砂ダムを形成することなどが多く、下流域に対しても脅威を与える。
- **発生場所と時間の特定が困難：**
山体内部の地質構造や岩盤の風化程度と密接に関係していることから、危険箇所や発生時刻の予測が困難。
- **極端気象現象との関係：**
温暖化によって降雨などの強度や分布が変化。極端な気象現象の出現が多くなってきたこととの関係。

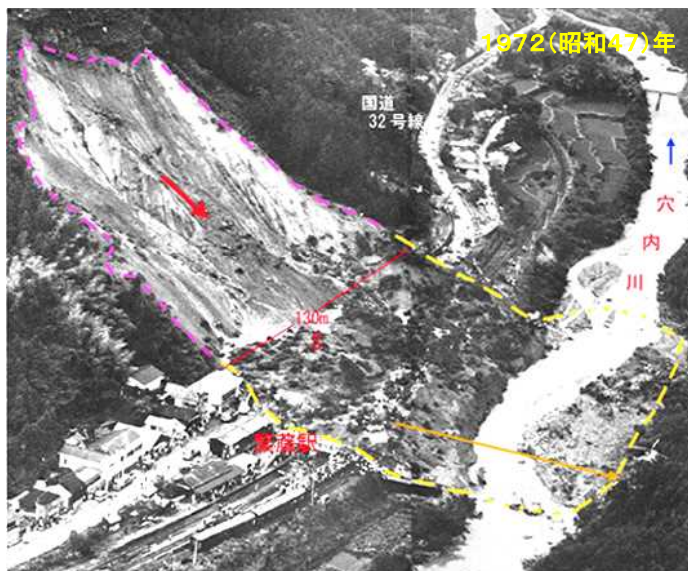
過去の深層崩壊



十津川大水害で発生した深層崩壊と
唯一残った大畑瀬地区の堰き止め湖



和歌山県有田川新子地区(大阪営林局)



高知県繁藤地区((独)防災科研))



宮崎県日南市国道222号線深層崩壊

2. 崩壊の分類

2. 崩壊の分類

深層崩壊と大規模崩壊の違いとは？

深層崩壊：

表層崩壊に対比し、崩壊面の深さに着目した現象で、土壌や崩積土、岩盤なども含み、内部の風化程度や地質構造に深く起因した崩壊。

大規模崩壊：

一般的に崩壊土量や崩壊面積に着目した崩壊現象を意味することが多い。崩壊土量としては10万 m^3 以上で、崩壊面積としては1ha以上のものを意味し、100万 m^3 以上になると巨大崩壊と表現することもある。

・・・しかし、いずれも厳密な定義はない。

2. 崩壊の分類

深層崩壊と地すべりの違いとは？

	深層崩壊	地すべり
移動速度	速い	緩慢
移動体の変形	大きい	少ない
移動体の位置	発生域外が多い	発生域内が多い
すべり面	ある程度の厚み	薄い場合が多い
発生場	比較的急な斜面	比較的緩やかな斜面



3. 深層崩壊はどのような箇所で発生するのか

深層崩壊が発生する場

- 付加体(ふかたい)
- 風化火山碎屑(さいせつ)物
(特に過去の谷地形を埋めて
いる場合(埋没谷:まいぼつこく))



和歌山県田辺市熊野地区

付加体での深層崩壊
(2011(平23)年の台風による豪雨で崩壊)



岩手県一ノ関市

風化火山碎屑岩類での深層崩壊
(熔結凝灰岩や軽石質凝灰岩からなる山体が崩壊)



長野県御嶽山

埋没谷での深層崩壊
(長野県西部地震(1984(昭和59)年)によって御嶽山東南尾根が崩壊)

深層崩壊が頻発する付加体とは？

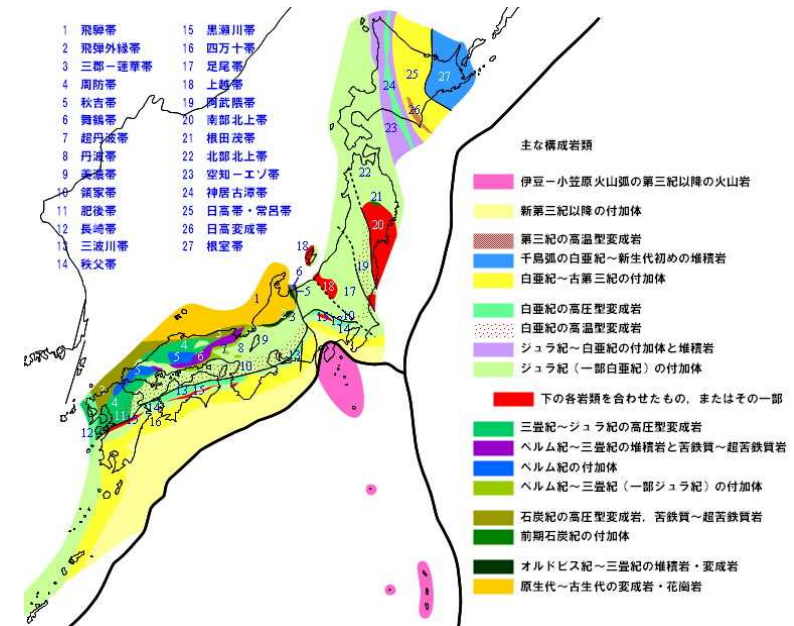
3. 深層崩壊が発生する場

付加体(ふかたい):

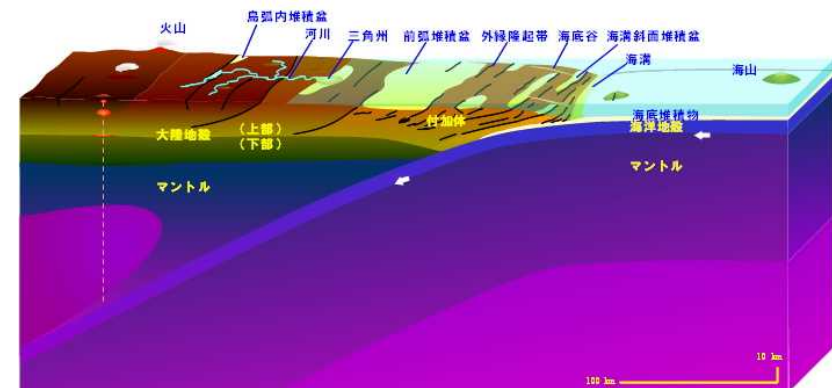
海洋プレートが大陸プレートの下に沈み込む海域では、日本列島から流出した多量の土砂が沿岸から海底斜面にかけて広く堆積。

一方、海洋プレートの海底にはチャートや石灰岩、さらに玄武岩などが厚く堆積し、プレートの移動とともに日本列島から供給された碎屑物と一緒に、次々に陸域側に押し上げられ付け加わっている。

このようにして形成された地質体のことを付加体といい、日本列島の骨格をなす。



日本列島の基盤岩類の地質構造区分
(産業総合研究所: <https://www.gsj.jp/geology/geomap/geology-japan/>)



沈み込み帯の模式断面図
(産業総合研究所: <https://www.gsj.jp/geology/geomap/geology-japan/>)

3. 深層崩壊が発生する場

付加体の特徴

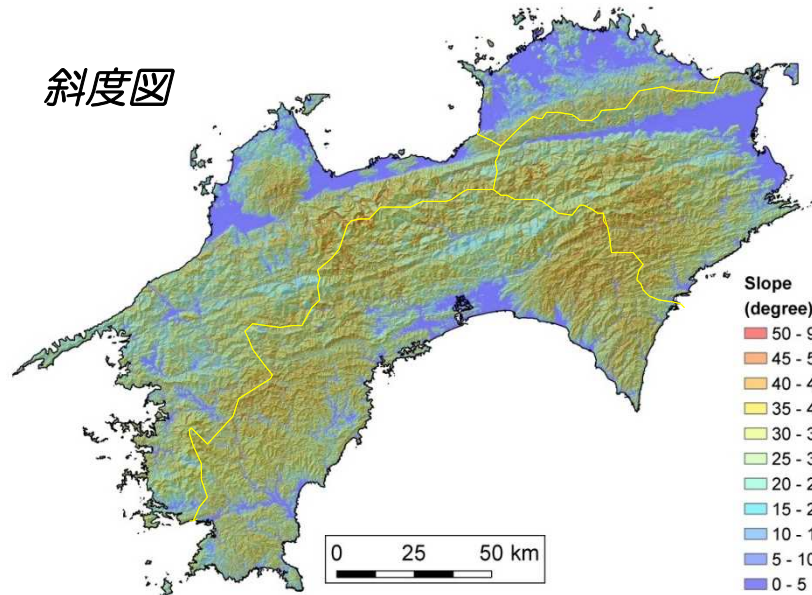
- 砂岩、泥岩、頁岩、チャートなどが主体
- 急峻な山地を形成
- 複雑な応力によって断層や褶曲が発達
- 割れ目(節理)が発達し、雨水が浸透しやすい



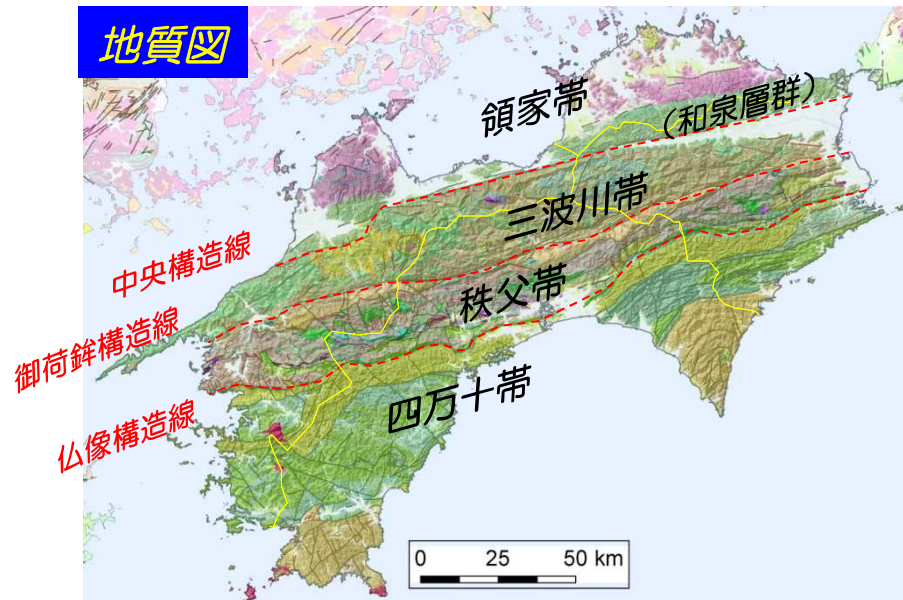
四国の地形と地質 (松四准教授作成)

3. 深層崩壊が発生する場

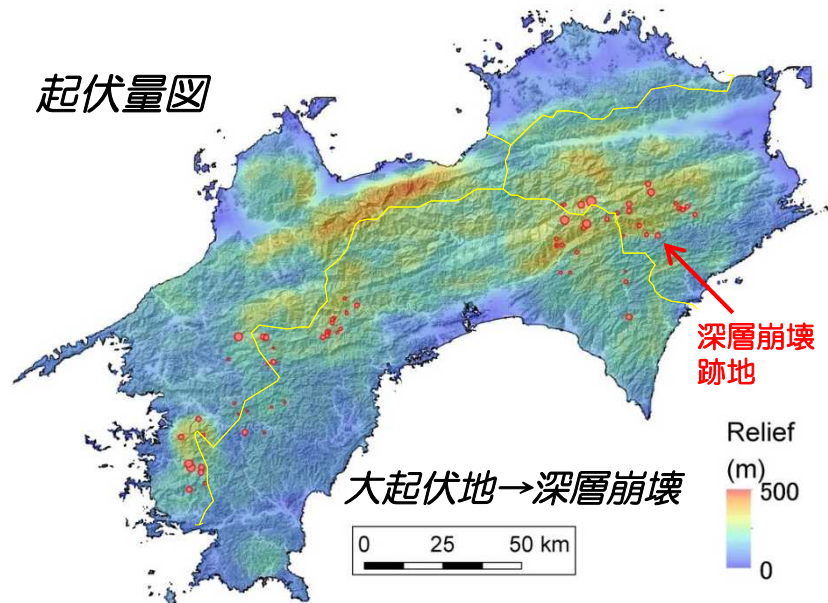
斜度図



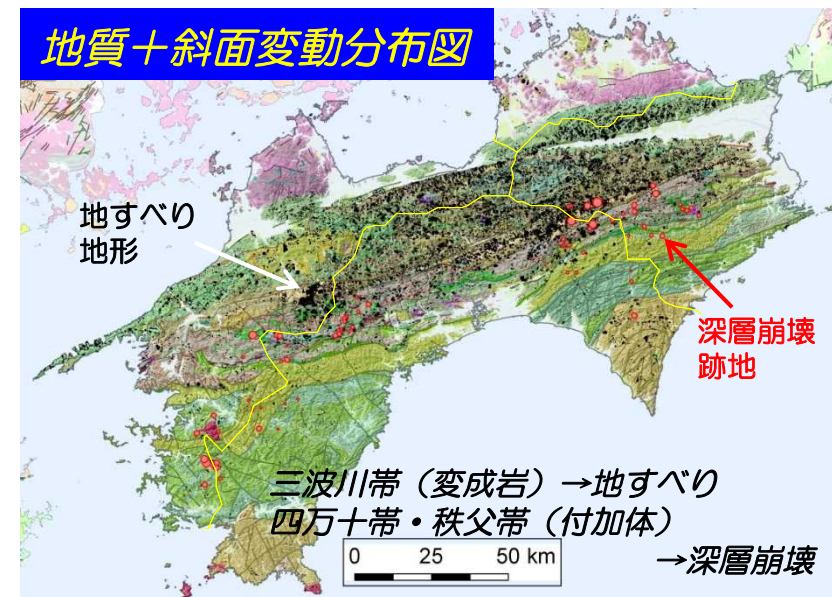
地質図



起伏量図



地質+斜面変動分布図

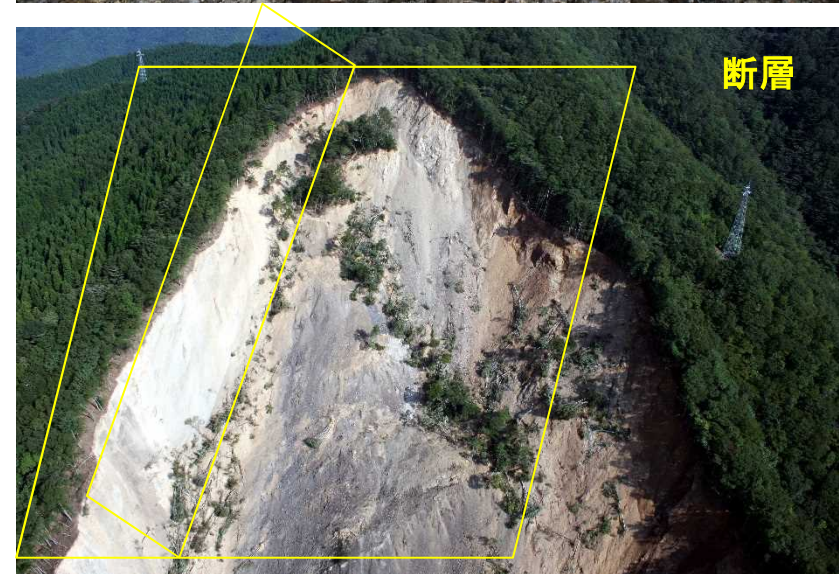


4. 深層崩壊のメカニズム

深層崩壊は、素因＋誘因が加わって発生

素因とは・・・、
いわば体質のようなもので、山体斜面
自身が持つ、地形や地質などの弱点
となる内的要因である。

- 起伏量
- 節理
- 断層
- 風化



4. 深層崩壊のメカニズム

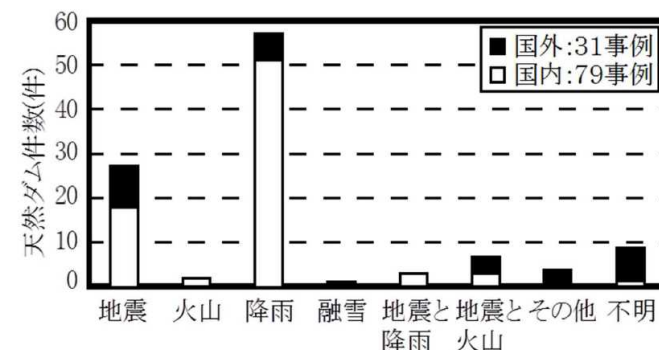
誘因とは・・・、
土砂災害を引き起こす直接的な外的要因で、豪雨などの自然的作用と、地形改変などの人為的作用がある。

- 豪雨
- 融雪
- 地震
- 波浪
- 地形改変



北海道 渡島総合振興局

深層崩壊の誘因としては、降雨および地震によるものが多い。特に火山体では地震によって深層崩壊や大規模な地すべりが発生しやすい傾向にある。



建設省中部地方建設局河川計画課

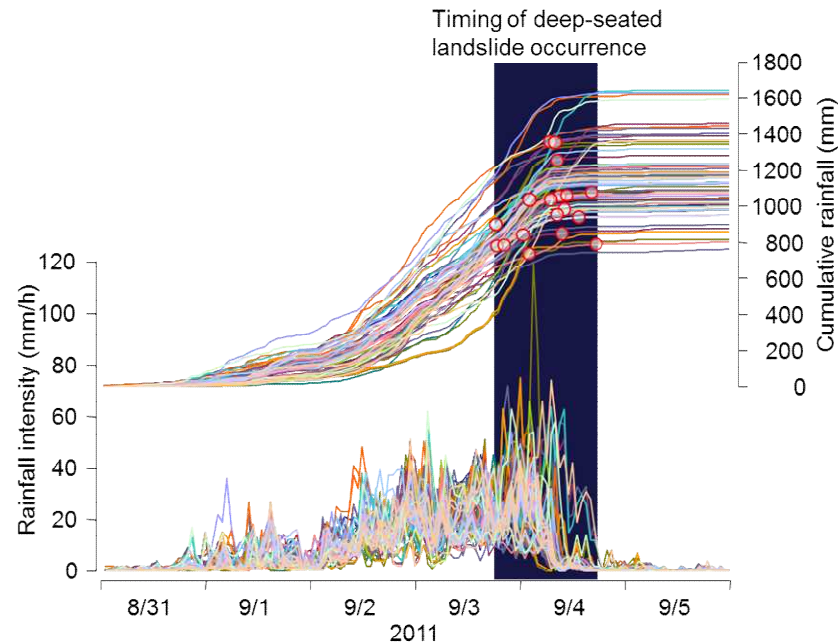
4. 深層崩壊のメカニズム

降雨と崩壊

短時間強度は大きくないものの継続時間が長く、しかも総量が多い降雨は山体の深い部分まで浸透。

浸透～貯留～排水のバランスが崩れ高い間隙水圧が発生。

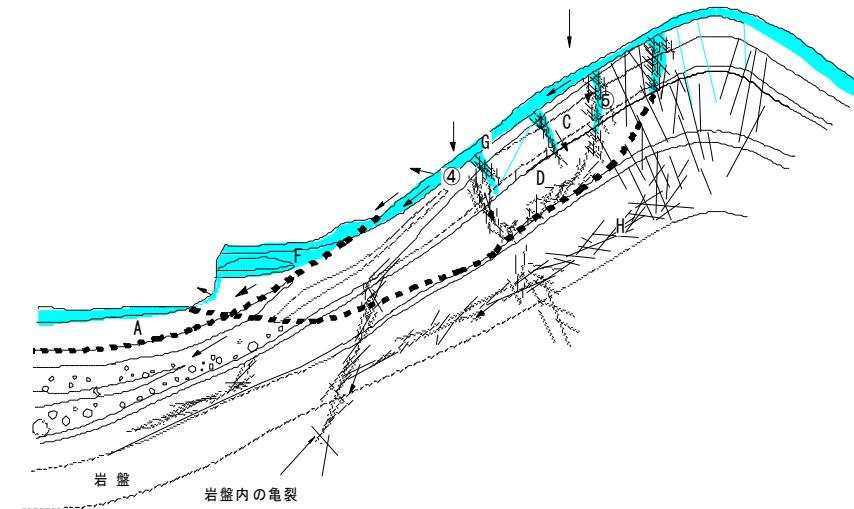
有効応力が低下し、深層崩壊が発生。



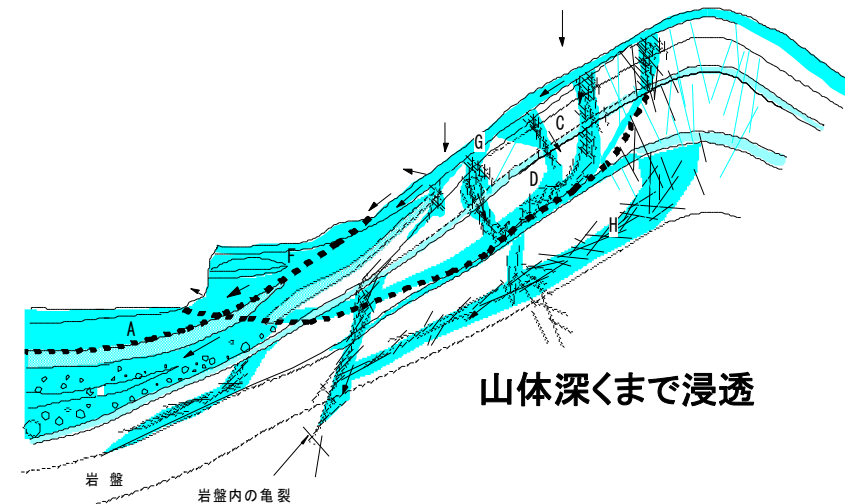
紀伊半島の深層崩壊発生時における時間雨量と累積降雨量

松四(2012)

短時間降雨強度が大きい場合



継続時間が長く、総量が多い場合



5. 危険な場所を見つけるには？

どのようにして、深層崩壊の発生危険地を見つけるか？

山体内部に隠された虚弱体質をいち早く見抜くことが重要。

しかし、現時点で、我々はCTスキャンやMRIなどのような高精度のツールをもたない。

ところが、山体内部に節理や断層などが多くあり、風化が進行し、体質が弱まった場合、地表面に特徴的な地形が出現することがある。

つまり、地表面の変状をいち早くキャッチし、内部でどのような現象が発生しているかを的確に診断することが重要。

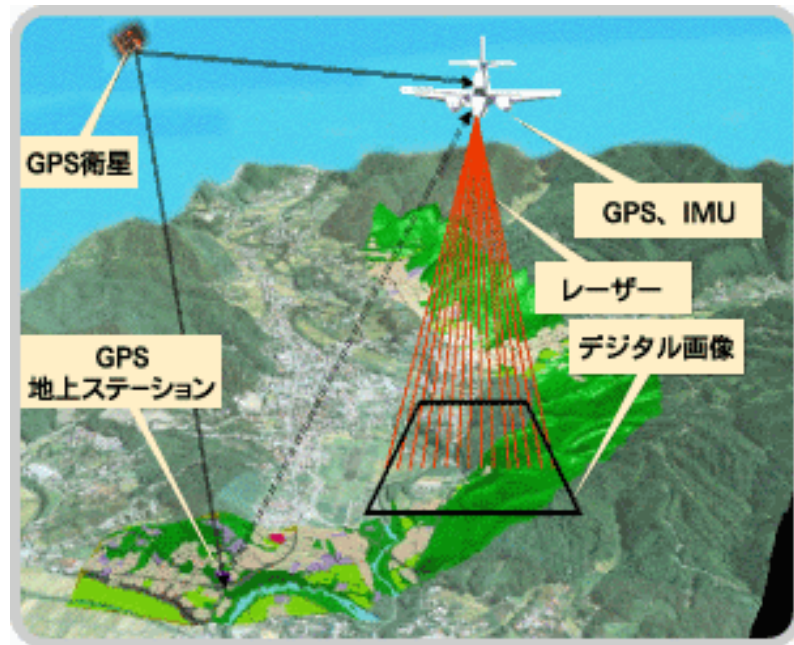
5. 危険な場所を見つけるには？

地表面の変状を正確に把握するためのツール

航空レーザ測量

LIDAR (Light Detection and Ranging、Laser Imaging Detection and Ranging)

GPSとIMU(航法慣性装置)によって常に空間的な位置をモニタリングした航空機から地上に向けてレーザ光を照射し、地表から反射してくるレーザの時間差で地表面の絶対座標を計測するシステム。LPと呼ばれることも多い。



国土交通省国土技術政策総合研究所



ハッブル宇宙望遠鏡
1990年に打ち上げ
1993年修理完了
0.002mmの誤差を修正



NASA

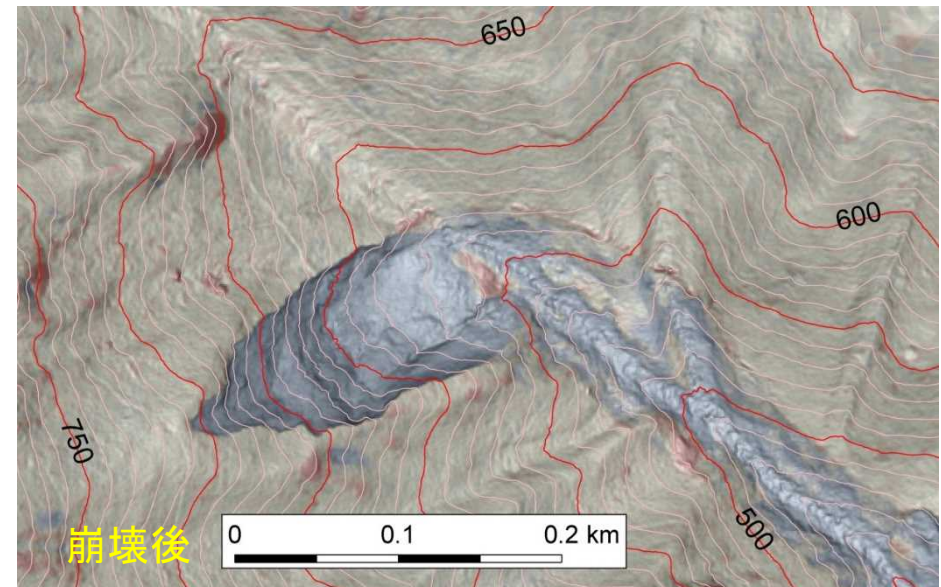
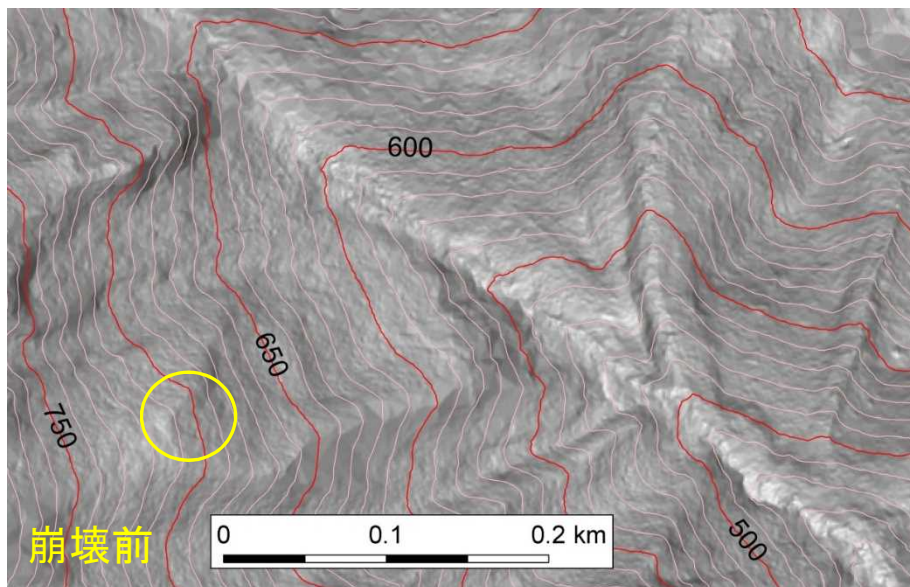
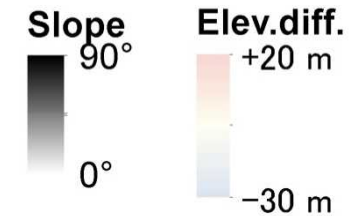
5. 危険な場所を見つけるには？



■ 崩壊発生前後のDEMによる地形図(平鍋)

発災前の斜度図で、のちに滑落崖となる
位置にわずかに影が見える
⇒ 山体の重力変形による小崖
(崩壊前兆現象のシグナル)

松四准教授作成



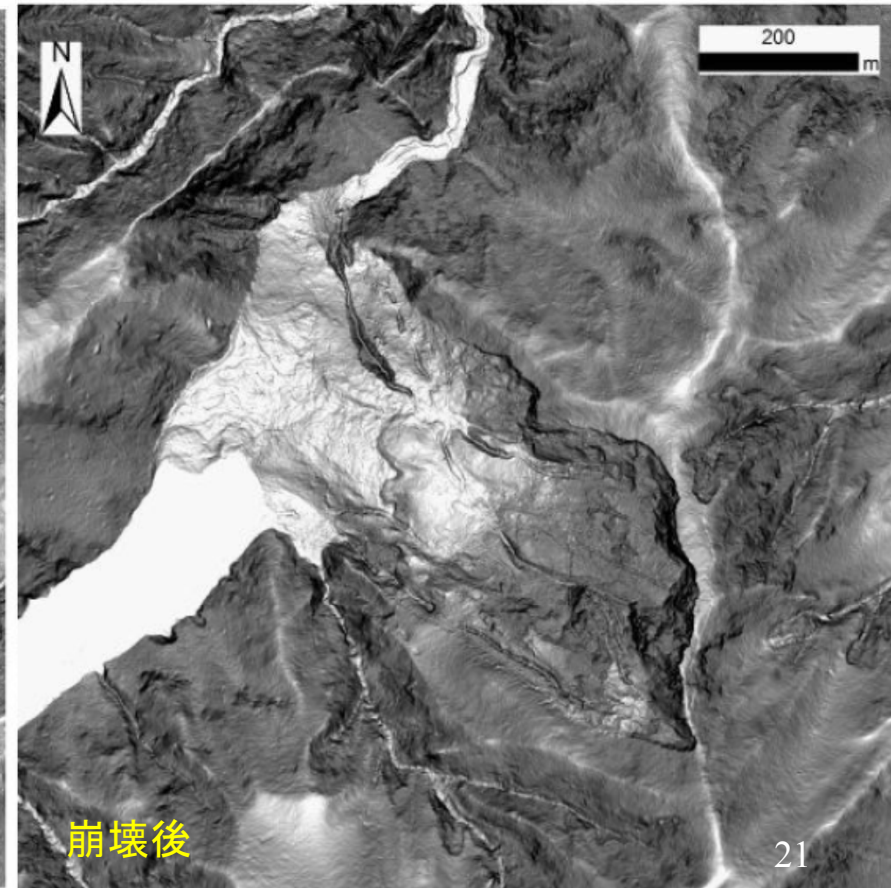
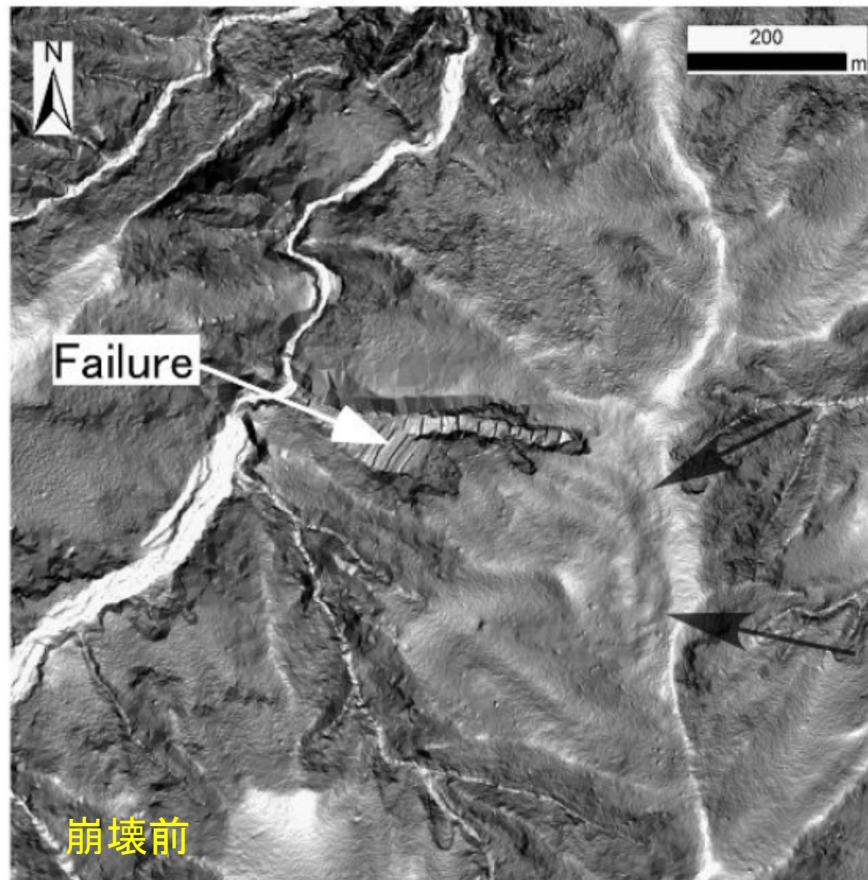
5. 危険な場所を見つけるには？



■崩壊発生前後の地形図(長殿)

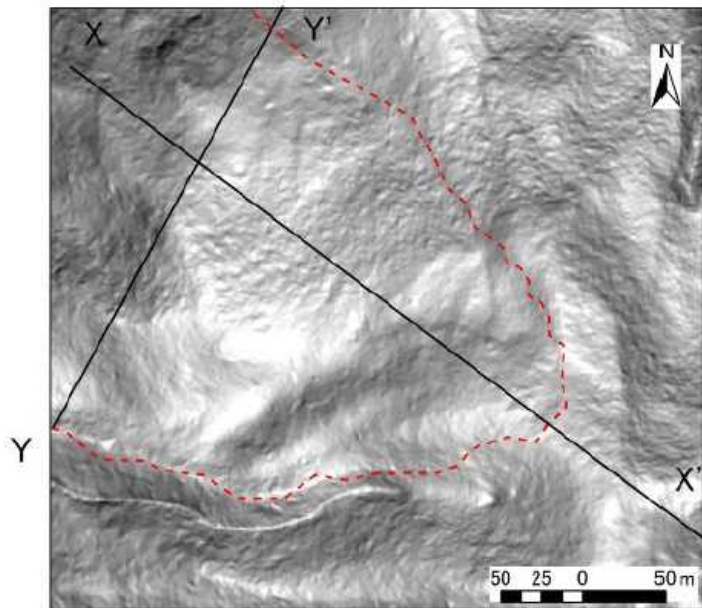
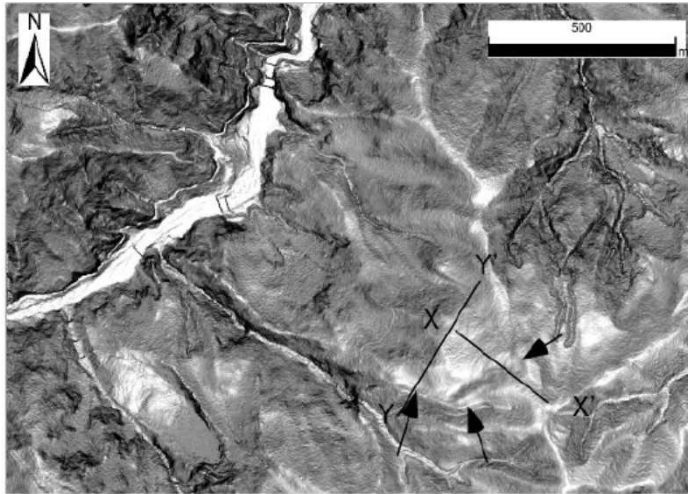
長殿地区では、斜面下部に小崩壊が認められた。したがって、上部斜面を不安定化させていたと推察。

千木良ら(2012)

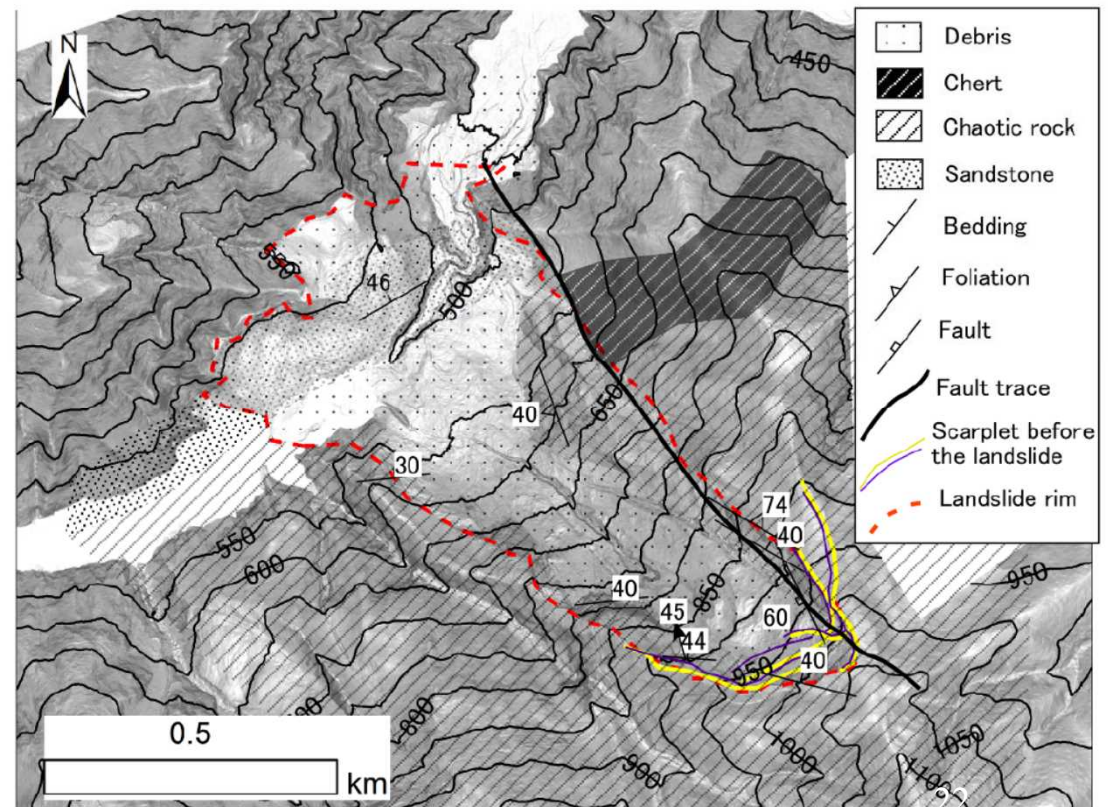


5. 危険な場所を見つけるには？

■くさび状分離面に沿うすべり



くさび状分離面タイプの重力斜面変形は最も多くの崩壊に見られた。とくに顕著に認められたのは、赤谷の崩壊。



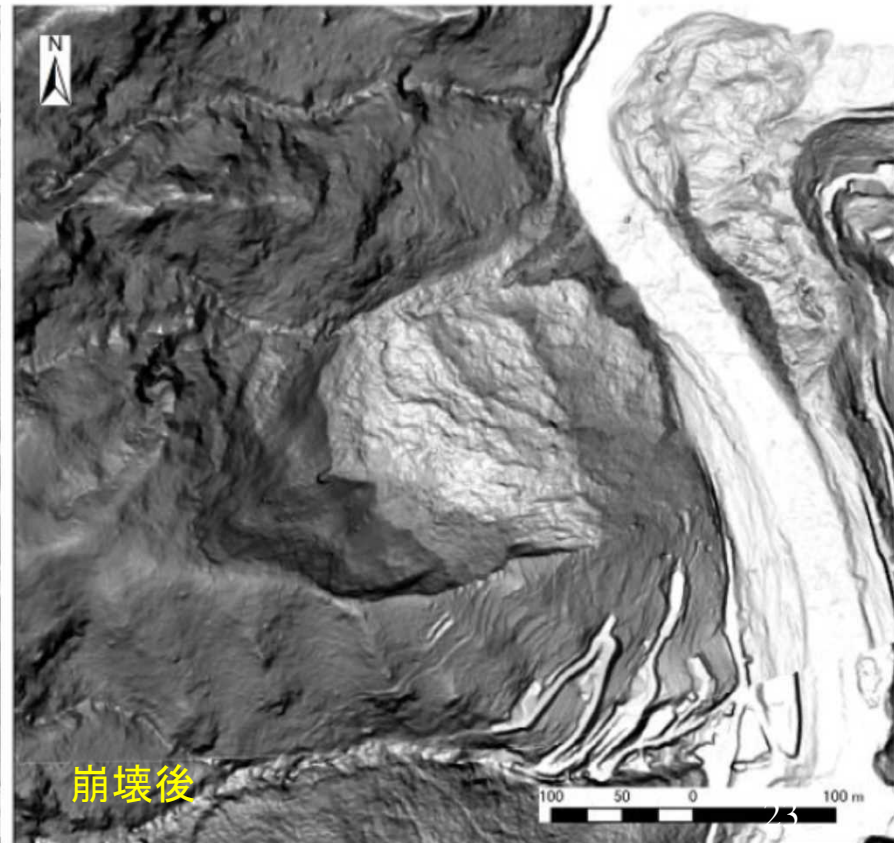
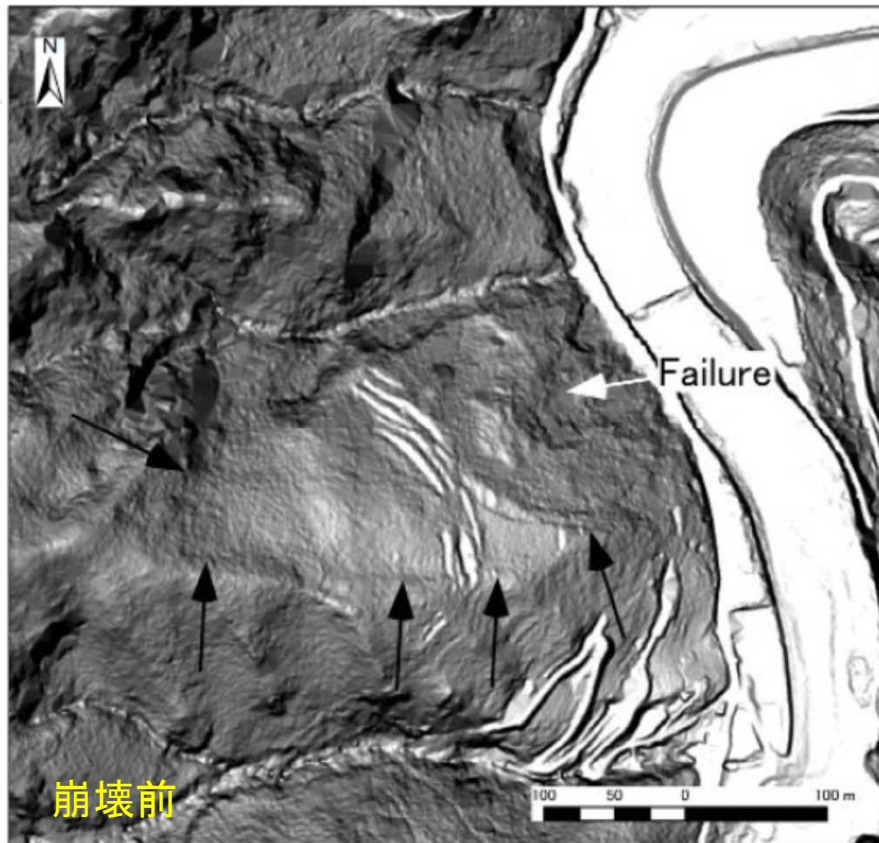
千木良ら(2012)



5. 危険な場所を見つけるには？

■ 崩壊発生前後のDEMによる地形図(宇井)

多くの崩壊で、事前に斜面下部に崩壊がすでに発生していたことが地形的に認められ、これらの斜面では斜面の変形が進んでいたのと同時に、斜面下方から不安定化が進んでいたと理解。

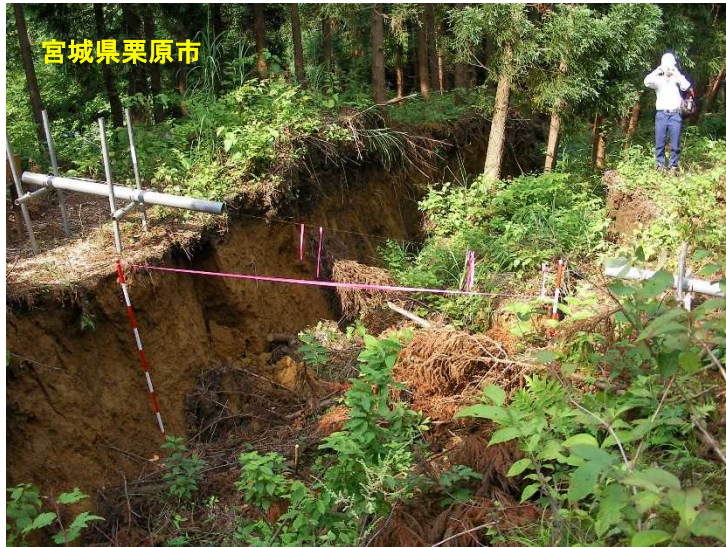


千木良ら(2012)

5. 危険な場所を見つけるには？

◆ 開口亀裂・段差亀裂

重力作用によって斜面に発生する亀裂のことで、谷側斜面が鉛直方向にズレ落ちている場合は段差亀裂となる。



5. 危険な場所を見つけるには？

◆線状凹地・二(多)重山稜

線状凹地は稜線沿いに並行して見られる凹地のことで、二(多)重山稜は、山稜の片側が下方に次々とずり落ちて雁行状に山稜が形成された地形のこと。赤石山脈や紀伊山地、四国山脈でよく見られる。これらの地形を呈する箇所は、大規模な崩壊や地すべりなどの初期現象とも言われている。



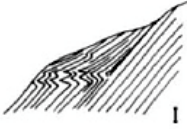
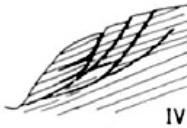
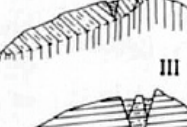
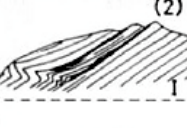
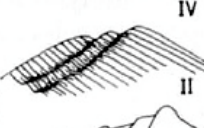
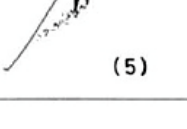
5. 危険な場所を見つけるには？

◆岩盤クリープ斜面



奈良県橋本市彦谷地区

岩盤クリープとは連続的なすべり面をもたずに重力によって変形する現象。層理面や片理面、節理などの面構造が発達した層状岩盤にみられる。

LANDFORM	INTERNAL STRUCTURE	
GENTLE SLOPE BOUNDED BY A HORSESHOE KNICK LINE UPSLOPE		
RIDGE-CROSSING DEPRESSION		
CONVEX SLOPE		
RIDGE-TOP DEPRESSIONS AND MULTIPLE RIDGES		
		
		
		

岩盤クリープを発生させる山体の内部構造と
地表面の地形 (Chigira, 1992)

2014年8月の豪雨では、顕著な深層崩壊は発生しなかった。

2011年7月の豪雨では
累積降水量1100 mm
程度で深層崩壊が発生

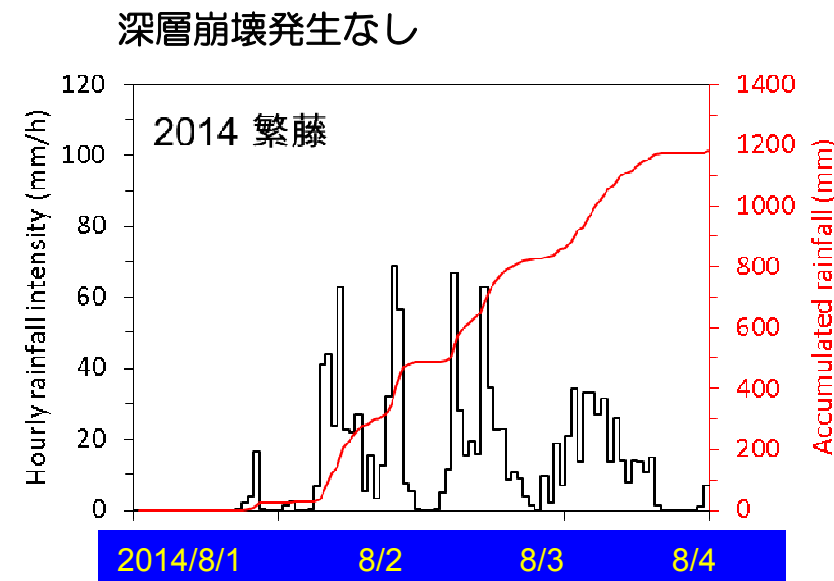
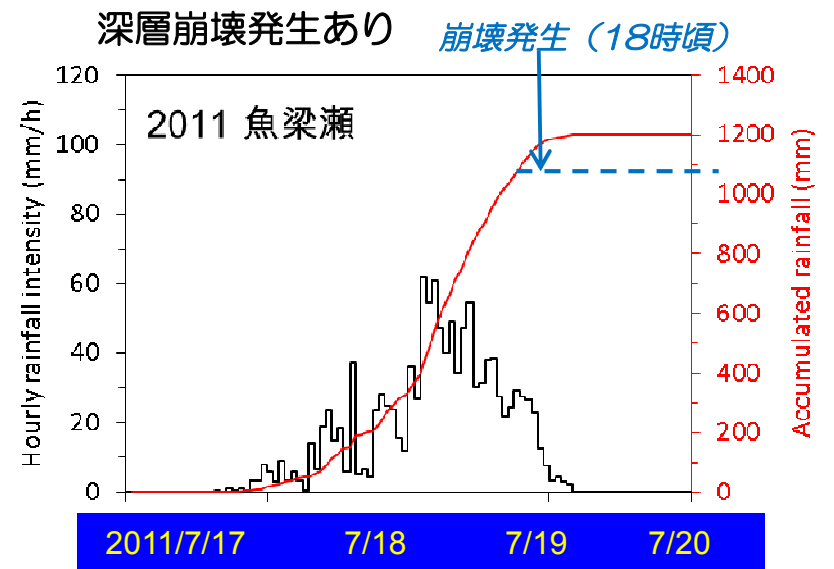
では、なぜ2014年8月豪雨で
深層崩壊が発生しなかった？

降雨パターンが全く異なる

2014年豪雨では累積雨量こそ
1200 mmに達したが、雨の
降り方が離散的で、強い降雨
ピークも降雨イベントの前半
に多かった。

松四准教授作成資料

6. なぜ、深層崩壊は起きなかったのか？



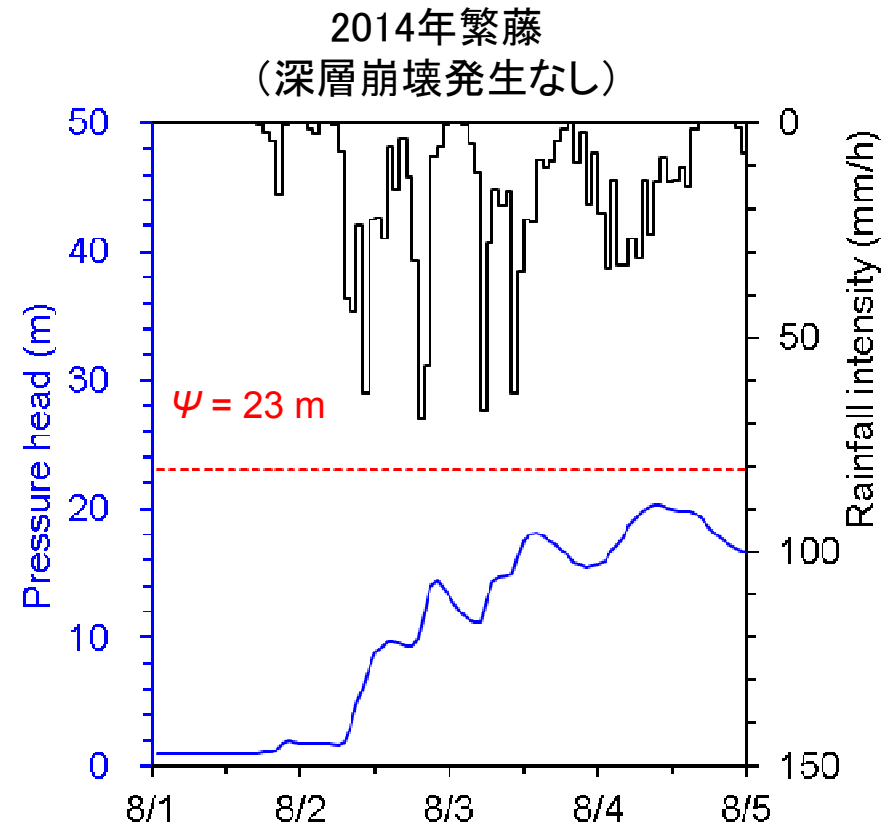
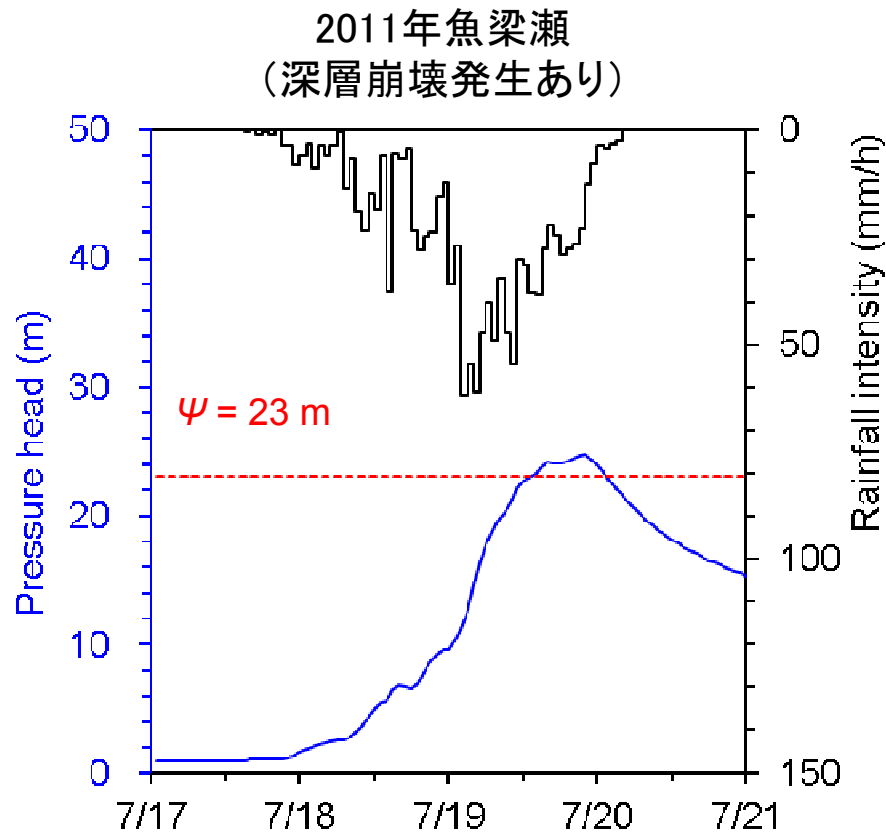
6. なぜ、深層崩壊は起きなかったのか？

鉛直一次元浸透水圧拡散モデルによる計算結果

松四准教授作成資料

平鍋の崩壊形状に基づき、斜面傾斜38度、深度23m地点の圧力水頭を計算。

計算条件: 飽和圧力伝播、透水係数: 3×10^{-5} m/s、拡散係数 1×10^{-1} m²/s



降水がまとまって入力されるパターンのほうが、地盤中の間隙水圧が上がりやすい。
⇒深層崩壊の発生・非発生の見極めには、雨の「量」だけでなく「降り方」にも着目すべき。

7. まとめ

まとめ

- 深層崩壊の危険地を抽出するには、航空レーザ測量などを用い、地表面の形状を丹念に精査することが重要。
- 注目すべきは微地形として「開口亀裂・段差亀裂」、「線状凹地・二重山稜」、「岩盤クリープ斜面」、「地すべり地形」、「山腹下部斜面の崩壊」などがある。
- 危険な兆候が認められる斜面は、現地調査を行い、微地形の確認や、湧水ポイントの調査などを行う。
- ただし、どの程度の積算降雨量や、どのような降雨パターンによって深層崩壊が発生するかについては、正確に予測することは困難。
- しかし、重要な保全対象がある箇所については、集水井などの地下水を速やかに排除する対策工を事前に施工することも選択の一つ。