



京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute

Kyoto University

活断層による岩盤の損傷と深層崩壊

Relationship Between Bedrock Damage Caused by Active Faults for Deep-Seated Landslides

令和6年6月

June, 2024

研究代表者 山崎 新太郎

Coordinator Shintaro YAMASAKI

【報告書（概要）】

令和 6 年 4 月 30 日

該当する研究種目にチェックしてください。

- 一般共同研究
 国際共同研究（一般、特定）
 長期・短期滞在型共同研究
 地域防災実践型共同研究（一般、特定）
 萌芽的共同研究
 重点推進型共同研究
(課題番号： 2023NE-04)

京都大学防災研究所長 殿

[申請者（研究代表者）]

氏 名：山崎 新太郎

職 名：准教授

所属機関名：京都大学防災研究所 斜面未災学研究センター

下記のとおり、共同研究の実施結果について報告します。

記

課題名：「活断層による岩盤の損傷と深層崩壊」

研究代表者：山崎 新太郎

所属機関名：京都大学防災研究所 斜面未災学研究センター

所内担当者名：

研究（滞在）期間：令和 5 年 4 月 1 日 ～ 令和 6 年 3 月 31 日

研究（滞在）場所：長野県大鹿村・徳島県三好市・愛媛県宇和島市

共同研究参加者数：2 名（所外 1 名，所内 名） **※別紙参加者名簿を添付してください。**

研究及び教育への波及効果について

本研究は地域の斜面危険地の抽出に役立つほか、同様の活断層近辺地域の災害予測にも結びつくと思われる。

研究報告

(1) 目的・趣旨

1950 年以降の深層崩壊事例を分析すると、活断層周辺で降雨を誘因とする深層崩壊の発生が複数あることを筆者は発見している。例えば 1961 年長野県大鹿村の大西崩壊（死者 42 名）、2004 年の愛媛県新居浜市大生院の崩壊（死者 4 名）、最近では 2018 年徳島県三好市井ノ久保の崩壊はいずれも中央構造線活断層系に属する活断層の至近、またはその直上で発生していた。活断層付近は関係する地震のみならず降雨においても注意すべきである。活断層はその運動によって直上の岩盤に損傷を与えるが、断層の延長上でも、圧縮・展張応力によって岩盤に損傷を与える。特に岩盤の展張変形は、鉛直方向の深い開口亀裂を形成することが想定され、断層が分岐する場所の周辺で重力斜面変形が進行し、崩壊が多発している事例も筆者は発見した。本研究では、これらの活断層

周辺の岩盤の変形と地質の関係を精査する。そして、どのような活断層の姿勢で、活断層を含む岩盤がどのような岩相・地質構造の場合に、岩盤の損傷はどのように発生するのか、そして、深層崩壊が発生した場合、どのような規模の災害が想定できるのかを明らかにする。それにより、活断層周辺で将来の深層崩壊が発生する危険性の高い場所を発見するための評価軸を将来的に作ることを目的とする。

(2) 研究経過の概要

本研究では断層周辺の崩壊事例について、高密度地形データにより作成された地形表現図を精査し、現地で地質構造を調査し、それによって、活断層と崩壊の関係を調査した。また断層近傍で斜面が崩壊している事例の中で特に良好な構造の露出がある愛媛県宇和島市の事例を調査した。

(3) 研究成果の概要

愛媛県宇和島市では、非常に強く変形が進んだ地質領域の崩壊地を徹底調査し、それによって降雨後に崩壊にいたるプロセスの解明を行った。砂岩メランジュ地域の極めて亀裂が多く、角礫化した地域では、特に崩壊の直後に相当の湧水があったことが特定できた。長野県大鹿村では複数の崩壊が中央構造線の周辺で発生していることを明らかにし、また山体の重力変形も進展していることが明らかになった。

(4) 研究成果の公表

宇和島市の研究例に関しては下記の成果として公表されている。大鹿村の研究例についても今後公表予定である。

山崎新太郎・渡邊達也 (2023) : 砂岩の風化した断層破碎帯を素因とする破壊的流動性崩壊. 日本地すべり学会誌, 60, 6, 7-15.

山崎新太郎 (2023) : 付加体メランジュの砂岩地域における深層崩壊の多発, (公社) 日本地すべり学会第 62 回 (2023 年度) 研究発表会、2-8.

山崎新太郎 (2023) : 砂岩の変形と風化がもたらした深層崩壊の集中的発生場, 日本地質学会第 130 年学術大会, G3-0-1.

別紙

参加者名簿

	氏名	所属機関・部局名	職名	※性別	※右半研究者について (該当する場合は○を 付してください)	
					40歳未満	35歳以下
研究代表者	山崎 新太郎	京都大学防災研究所 斜面未災学研究センター	准教授	男性		
所内 (防災研)担当者	宮崎 裕子	大鹿村中央構造線博物館	学芸員	女性		
合計		2名				

留意事項；

- 1) 研究代表者および研究分担者を記載してください。
- 2) 所属は略さず正式名称で記載してください。
- 3) 研究組織には必ず防災研究所の教員を含めて記入してください。
- 4) ※印の項目については、文部科学省への報告に必要な事項ですのでご記入をお願いします。
また取得した情報は上記記載の利用目的以外には使用いたしません。
- 5) 欄が不足する場合は適宜行を追加してください。

研究報告スライド集

- 1) メランジュ地域の深層崩壊
- 2) 四国山地の深層崩壊と地すべり

山崎新太郎・渡邊達也 (2023) : 砂岩の風化した断層破碎帯を素因とする破壊的流動性崩壊.

日本地すべり学会

誌, 60, 6, 7-15.

山崎新太郎 (2023) : 付加体メランジュの砂岩地域における深層崩壊の多発, (公社) 日本地すべり学会第 62 回

(2023 年度) 研究発表会、2-8.

山崎新太郎 (2023) : 砂岩の変形と風化がもたらした深層崩壊の集中的発生場, 日本地質学会第 130 年学術大

会, G3-O-1.

山崎新太郎 (2024) 四国山地の深層崩壊と地すべり, 応用地質学会中四国支部大会 (徳島市), 特別講演

メランジュ地域の深層崩壊

京都大学防災研究所

山崎 新太郎

深層崩壊の定義と問い

- ここでは深層崩壊を「深さに関わりなく地質構造を原因とする崩壊」とする。地域や地質環境によって異なるが、概ねその深さが数メートル以上となっているものが多い。
- (狭義の) 地すべりは特定の地質環境において発生し、好発する地域が存在するが「**深層崩壊**」も**特定の地質・地域で発生するのか？**
- 過去の深層崩壊は群発性が認められないものが多い、一方で今日紹介する事例は群発性の明確に認められる例である。

平成30年7月豪雨での 法華津（ほけつ）湾周辺の深層崩壊群



西予市明浜町・宇和島市吉田町

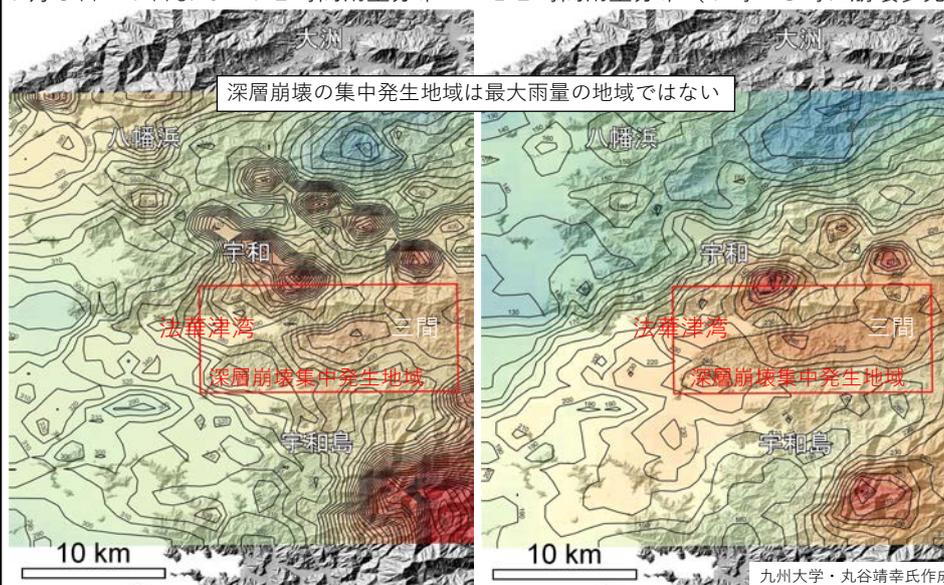
解析雨量（1kmメッシュ）

2018年

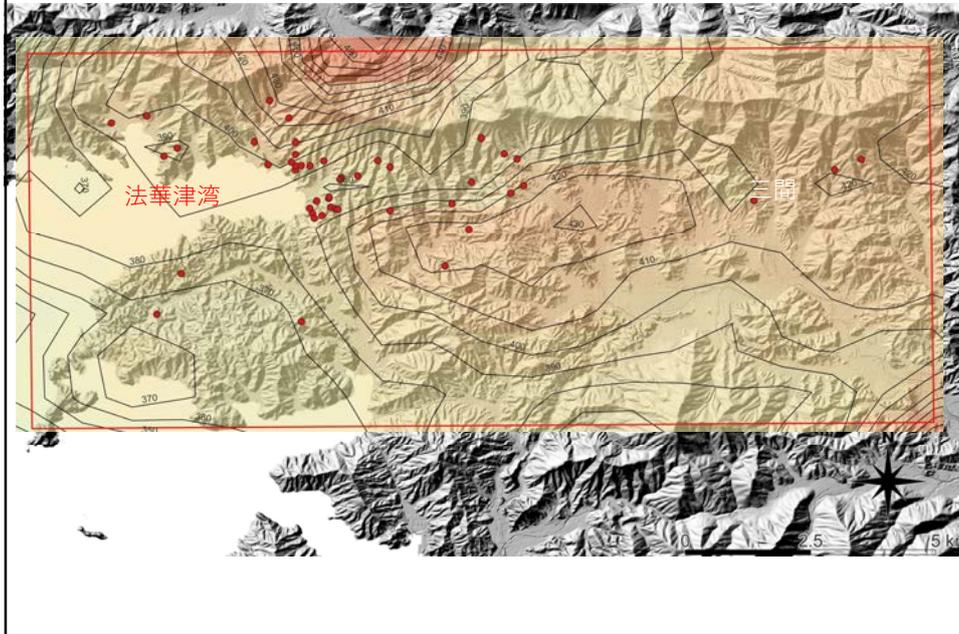
7月5日～7日までの72時間雨量分布

7日7時0時～12時までの

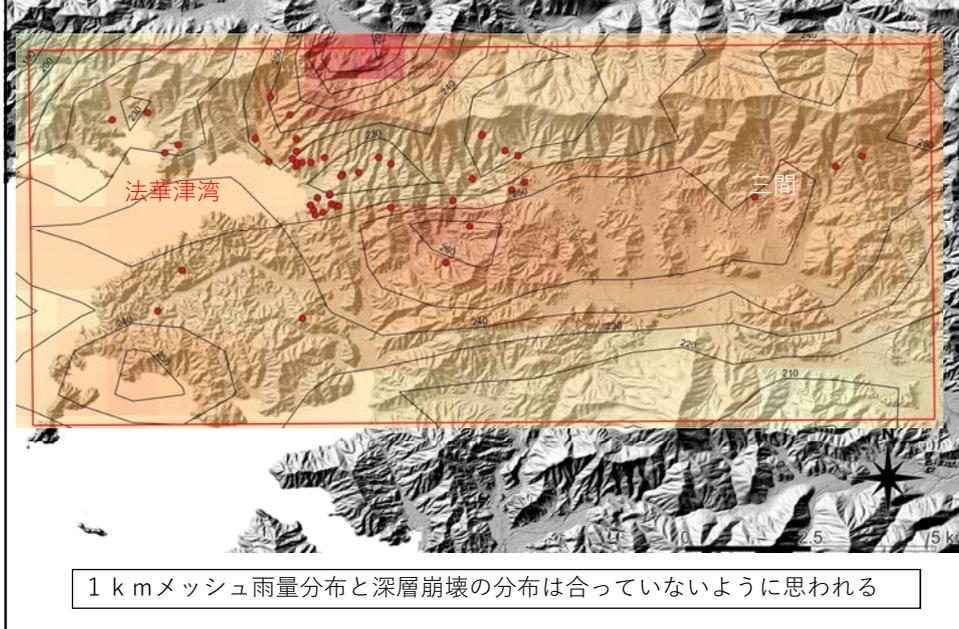
12時間雨量分布（7時～8時に崩壊多発）



7月5日～7日までの72時間雨量分布+深さ2m以上の崩壊（赤丸）

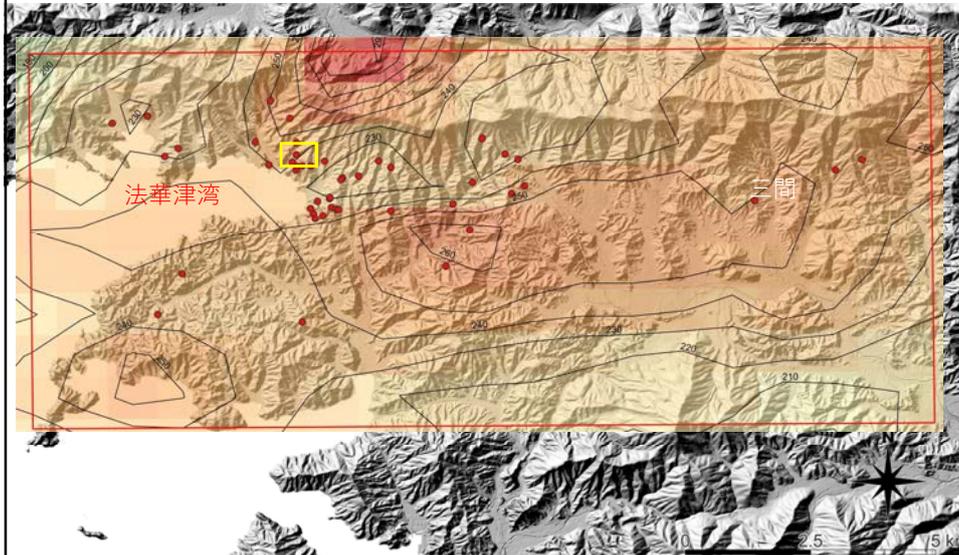


7月7日12時までの12時間雨量分布+深さ2m以上の崩壊（赤丸）



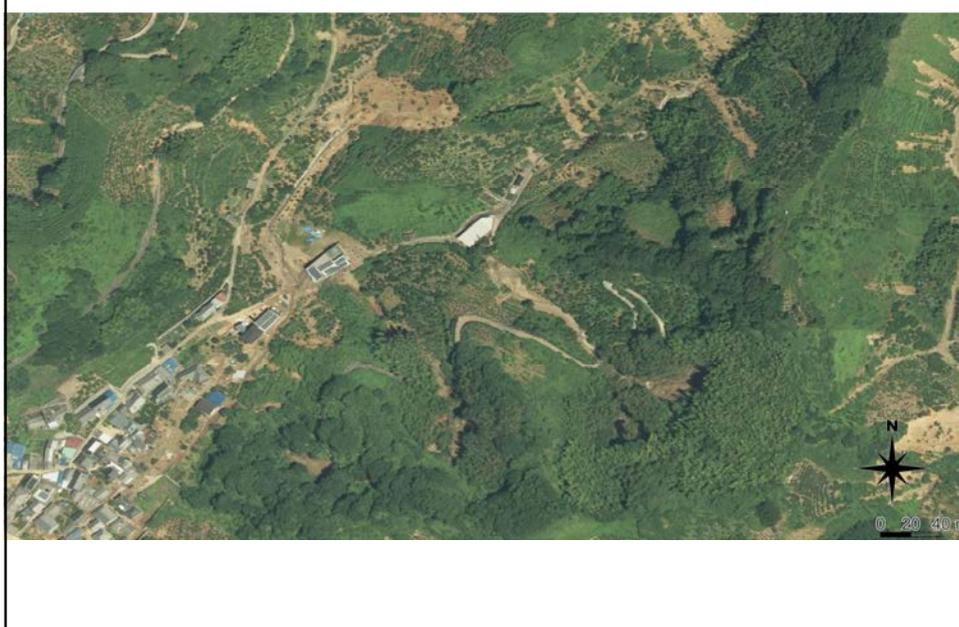
1 kmメッシュ雨量分布と深層崩壊の分布は合っていないように思われる

7月7日12時までの12時間雨量分布+深さ2m以上の崩壊 (赤丸)



1 kmメッシュ雨量分布と深層崩壊の分布は合っていないように思われる

災害4日後 (7月11日) 国土地理院撮影のオルソ写真

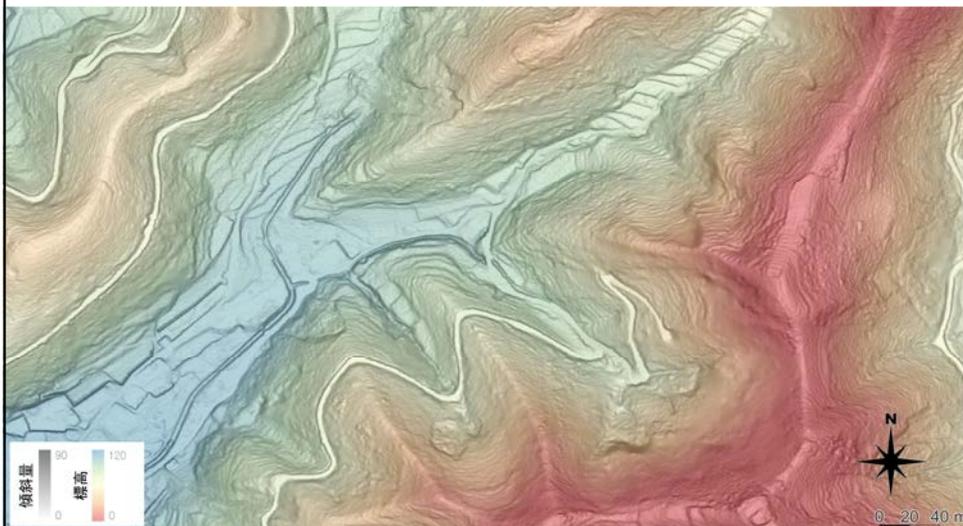


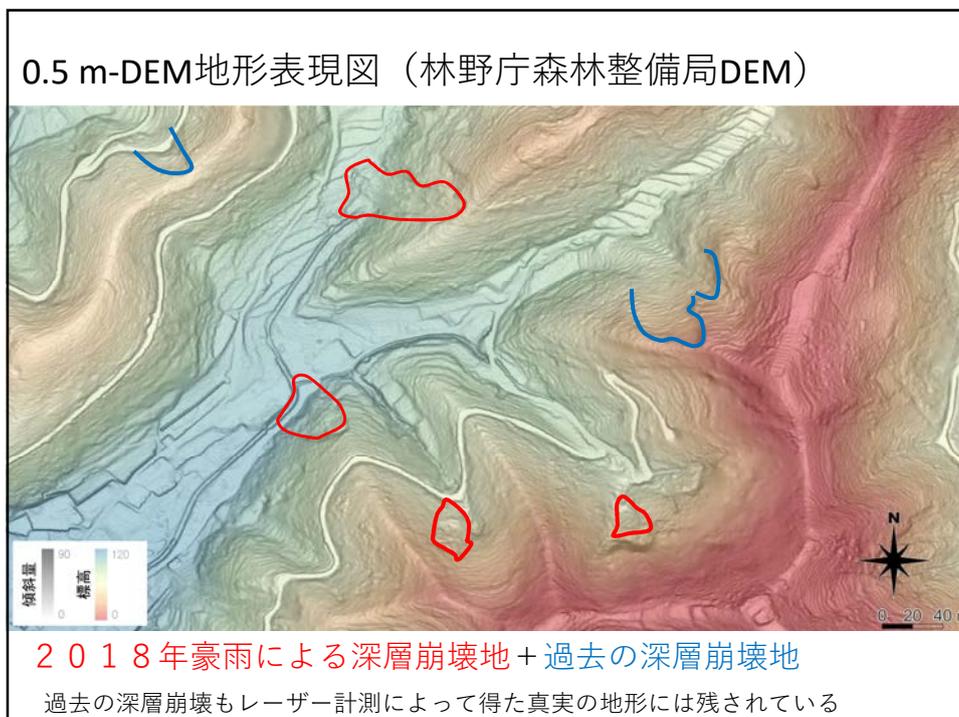
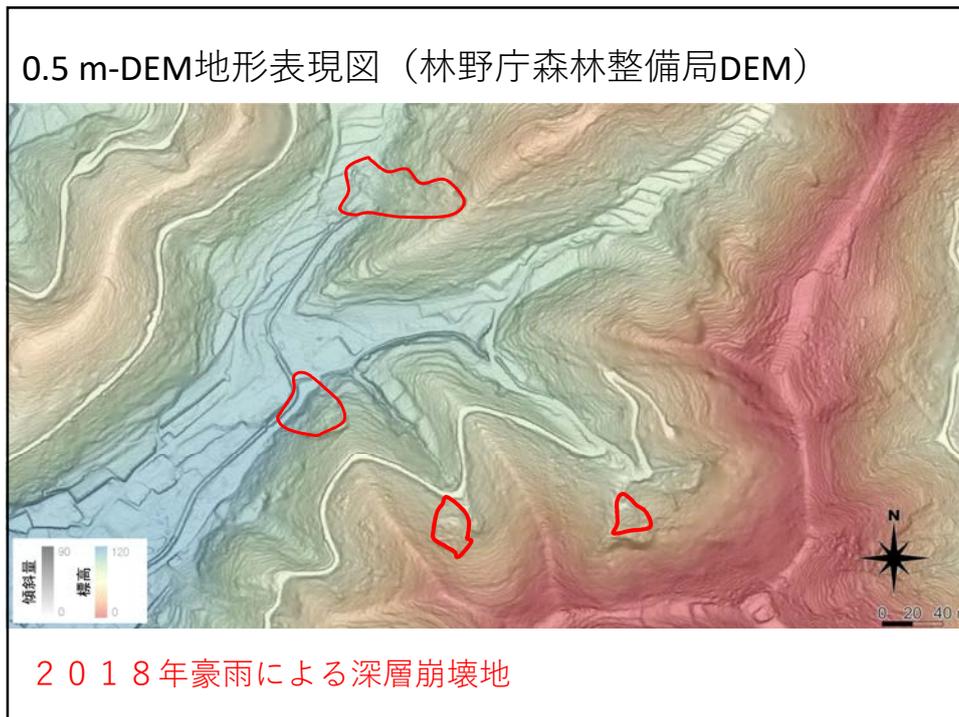
災害4日後（7月11日）国土地理院撮影のオルソ写真

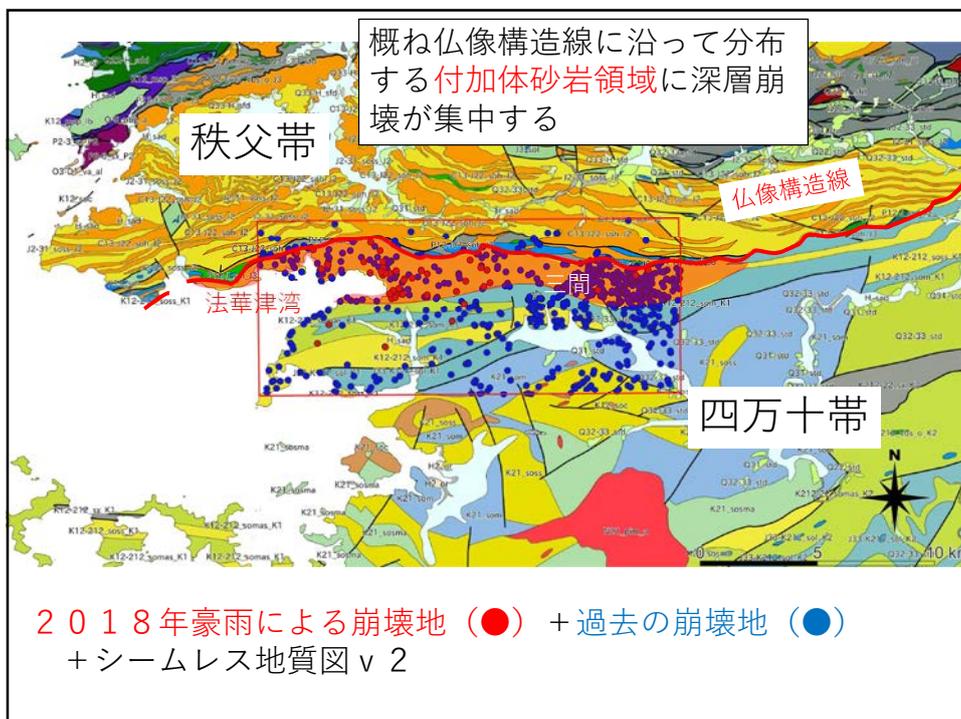
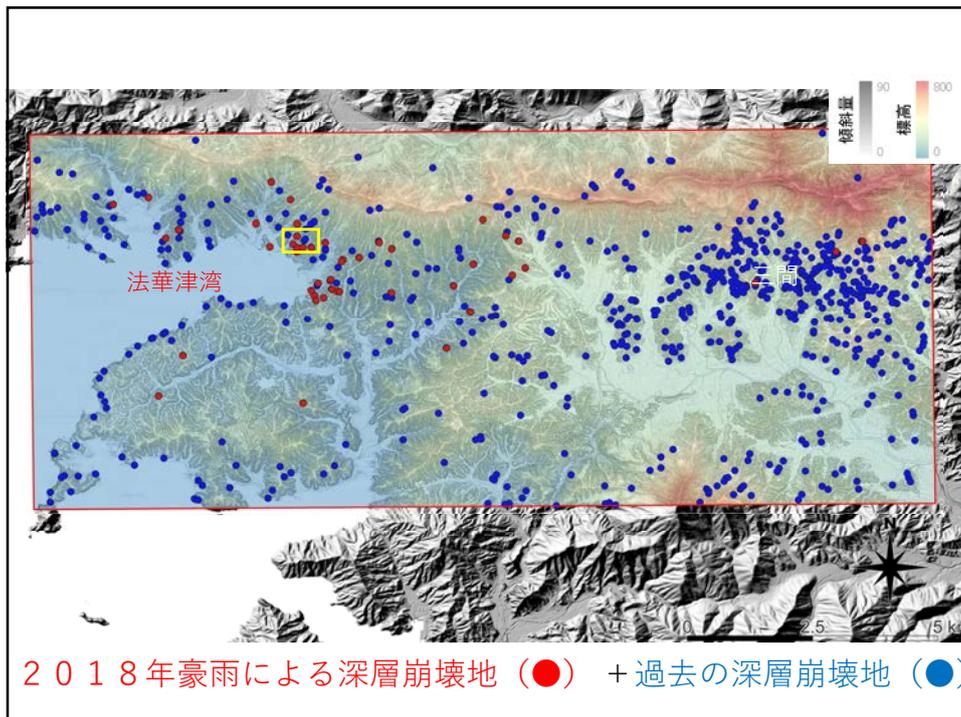


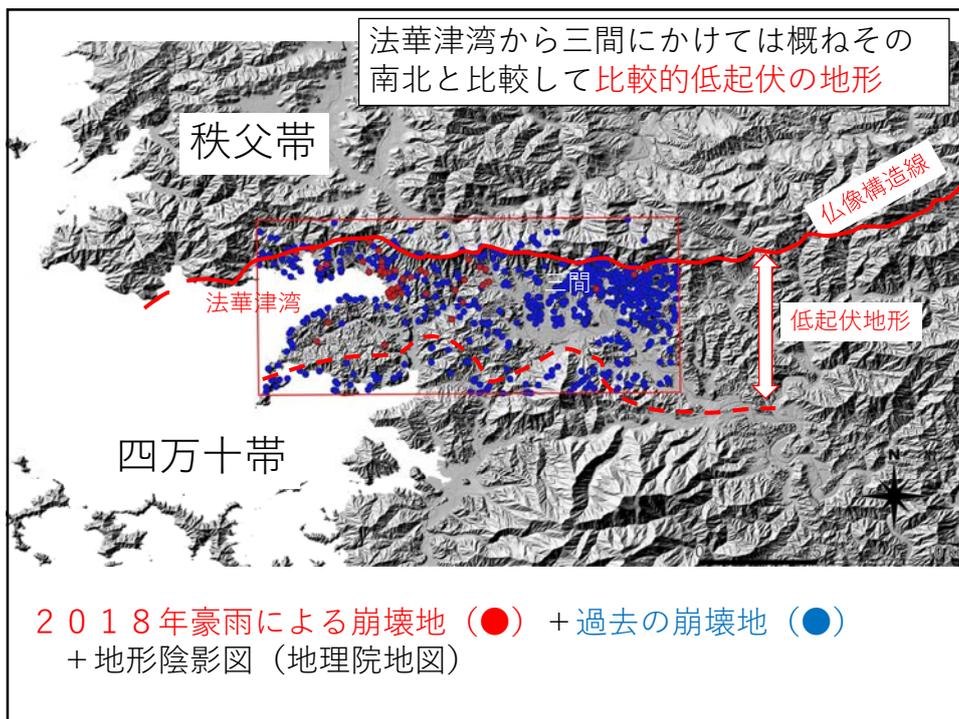
2018年豪雨による深層崩壊地
表層崩壊よりも深層崩壊の方が土砂を多く生産している

0.5 m-DEM地形表現図（2020年林野庁森林整備局DEM）









大規模せん断構造と関係する微小構造



鱗片状劈開を持つ泥岩基質と、右横ずれを示し白色鉍物脈が発達するレンズ状砂岩塊

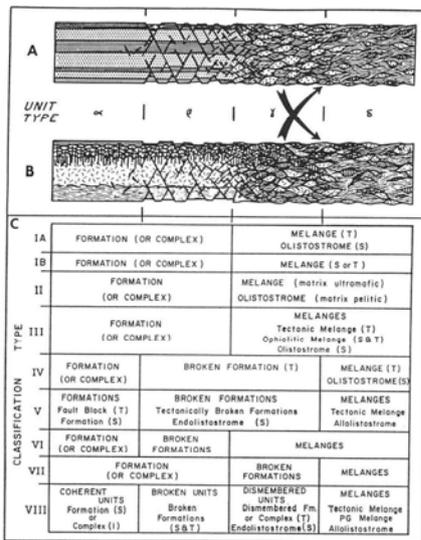


図3-3 メランジュとそれに関連した岩体の特徴と分類 (Raymond, 1984)

A: 砂岩泥岩互層の層理の破断と混在化の進行を示す模式図。その程度に応じて弱いほうから強い方へα, β, γ, δに4区分する。
 B: 海洋地殻物質(オフィオライト)の破断と混在化の進行を示す模式図。AとBをつなぐ矢印は両者が混合することを示す。
 C: AとBに示されたメランジュとそれに関連した岩体の分類に関する8つのタイプ分け。I: 火成起源, S: 堆積起源, T: 構造作用起源。olistostrome, tectonic melange などについては本文参照。

メランジュとは?

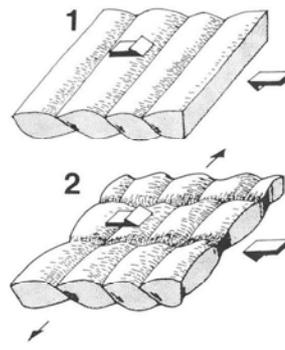


図2-8 層平行剪断(1)に重複した層平行伸張(2)に伴うプーダン化によるメランジュ岩塊の形成モデル (Kimura & Mukai, 1991)

狩野 謙一, 村田 明広 (1998)
 「構造地質学」

§ 1-4 破断層と混在岩

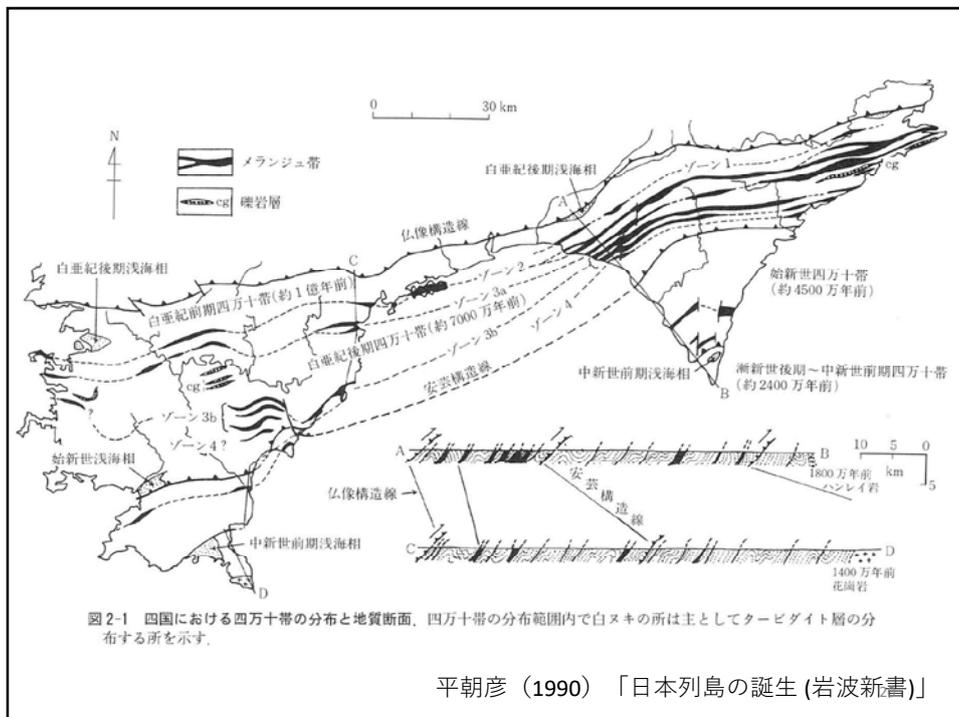
我が国にはプレート運動に伴って日本列島に付加された付加体 (accretionary prism) が広く分布している。付加体の典型的な地層は、破断層 (broken beds) と呼ばれ、地層が切れ切れになったものや、泥質の基質の中に他の岩石のブロックが含まれているようなもの (ブロックインマトリクス, block in matrix) である (写真1-1)。後者は混在岩 (mixed rock) とも呼ばれるが、ブロックとして砂岩以外の玄武岩や凝灰岩など異質な岩石が含まれるものを混在岩という場合が多い。ブロックの中には100mオーダーの大きさのものもある。混在岩が縮尺2万5千分の1地形図に図示できるようなスケールを持つ場合、メランジュ (melange) と呼ばれる。破断層はプレートの沈み込みに伴って形成されるテクトニックなもの、海底地すべりによって形成されるノンテクトニックなものがある。いずれにしても、小規模な断層面が発達し、それ沿いに岩石が磨かれ、滑りやすくなっていることが多い。わが国に分布する堆積岩の内中生代や古生代の地層にはこの破断層が非常に多く、むしろ整然とした地層の方が少ないともいえる。



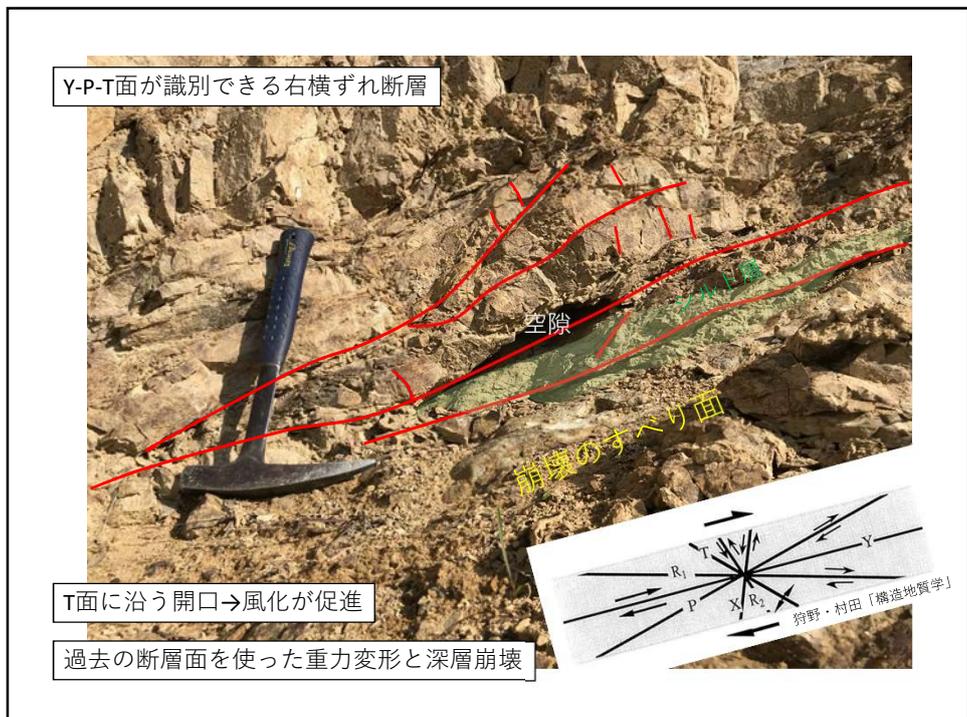
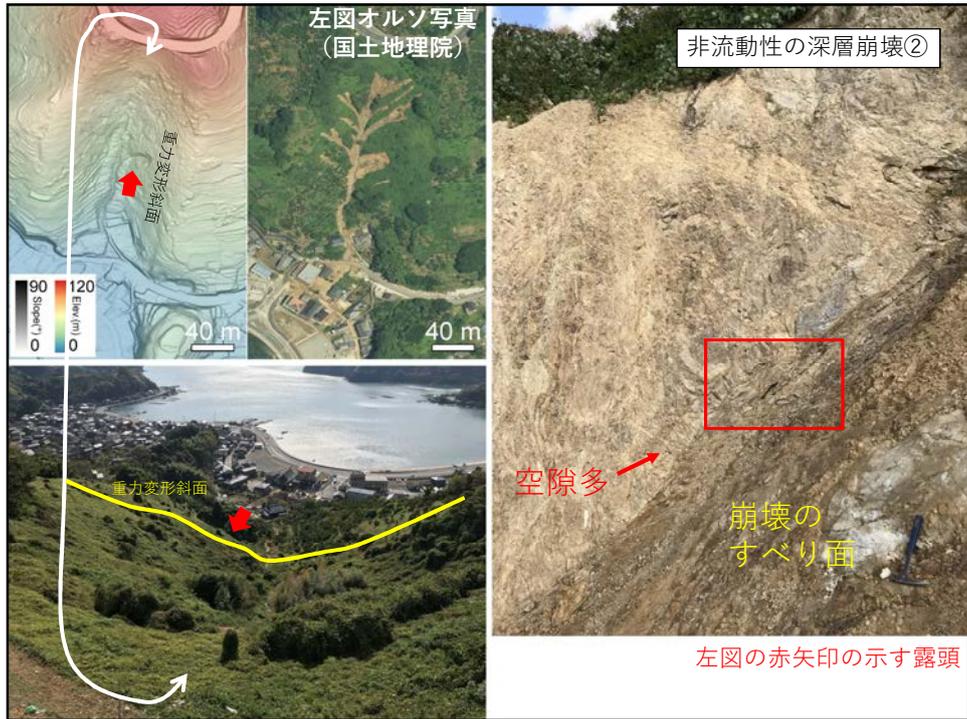
写真1-1 典型的なブロックインマトリクス構造
泥岩基質の中に砂岩がブロックとして含まれ、その厚さは膨らんでいる。薄くなった部分に解理面に直交方向の石英脈が多数生じている。(紀伊山地四万十帯)

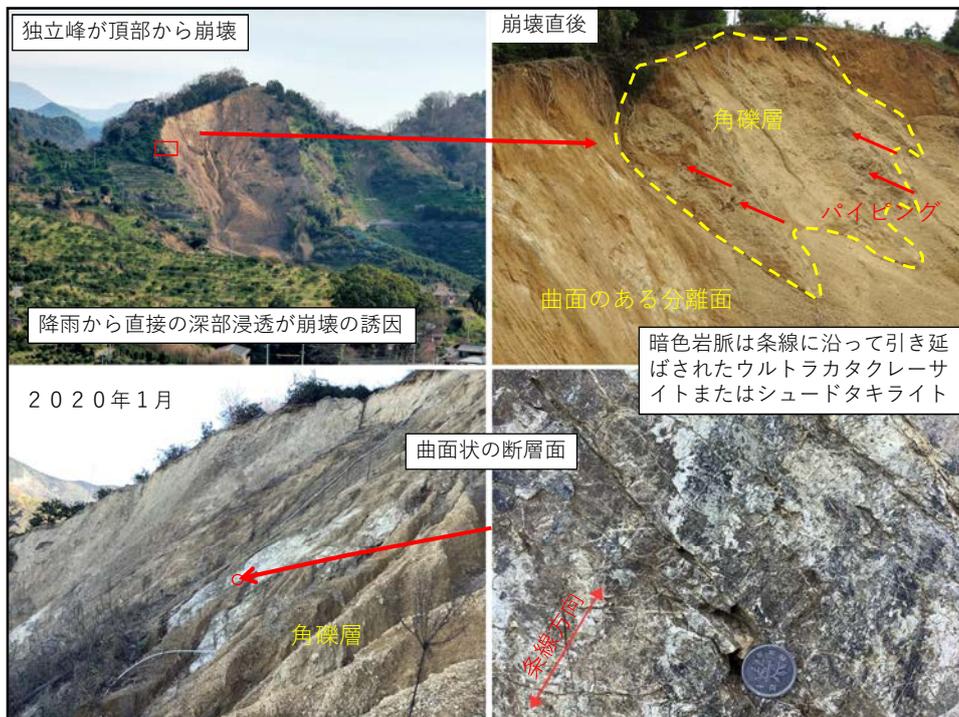
千木良雅弘 (2018)
「災害地質学ノート」

19



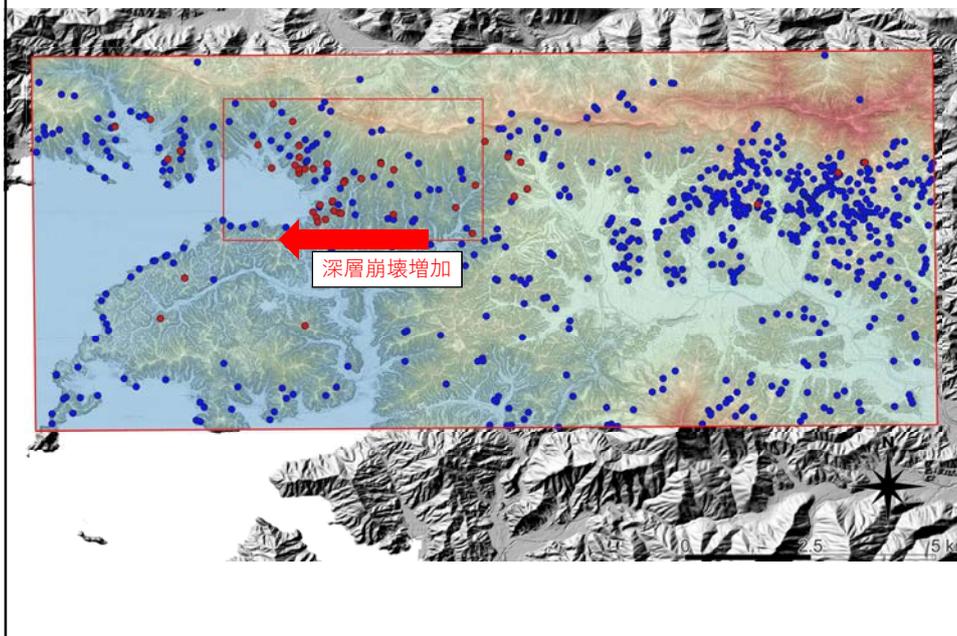
平朝彦 (1990) 「日本列島の誕生 (岩波新書)」



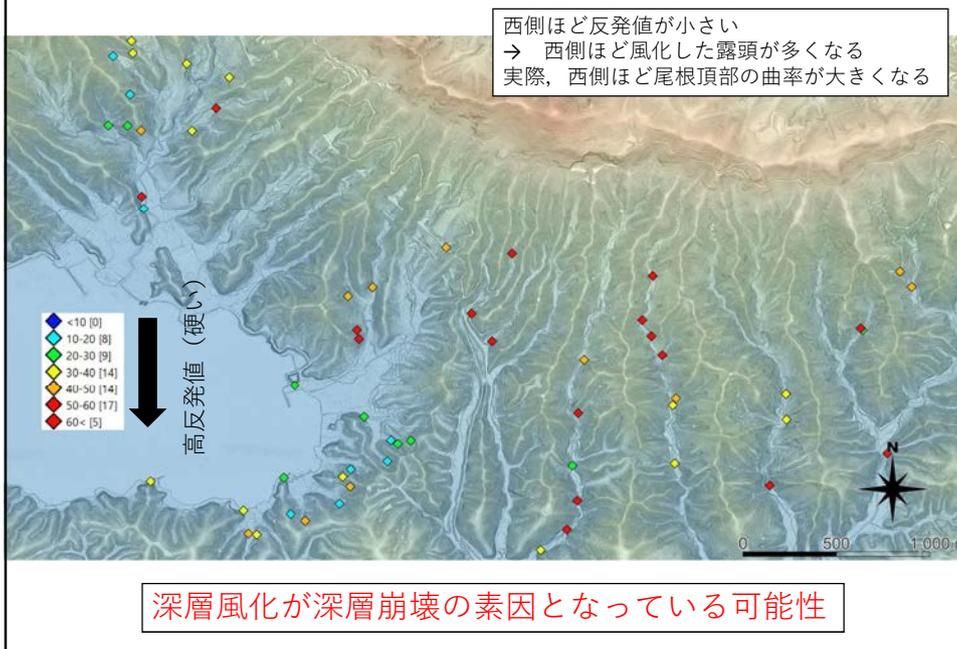




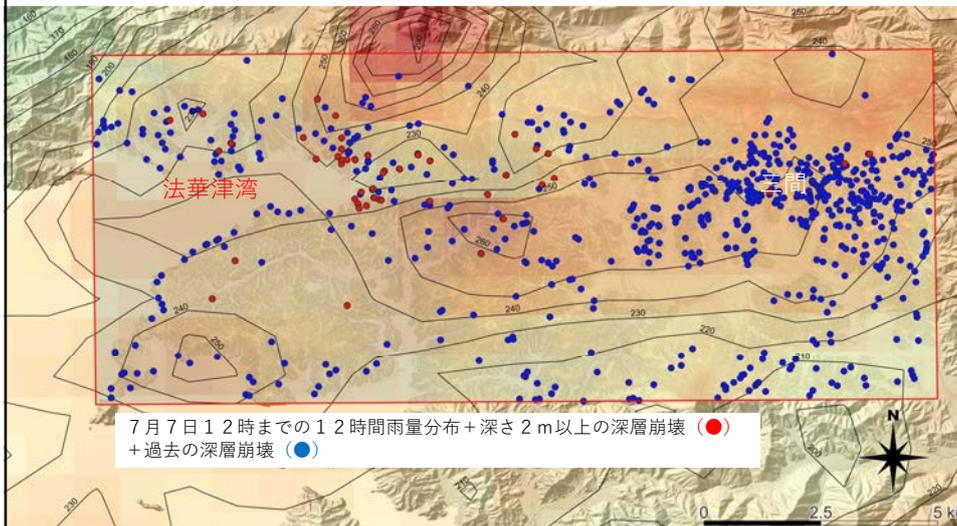
法華津湾沿岸に深層崩壊が多発し、内陸部ではやや少ない



シュミットロックハンマーの反発値の分布



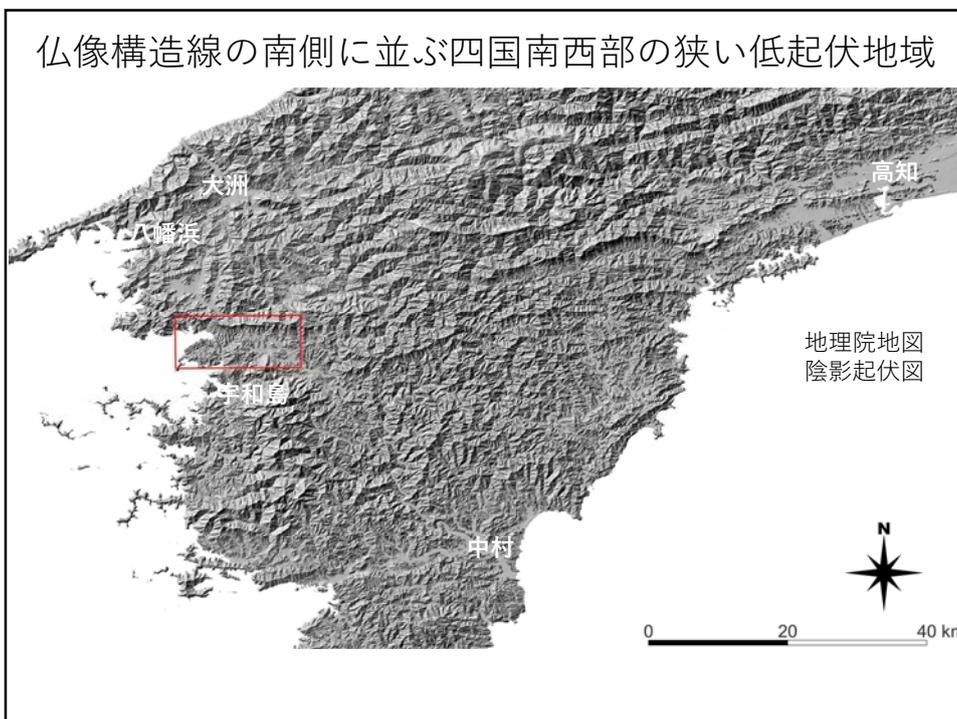
地域東側は平成30年豪雨による崩壊発生数が少ない



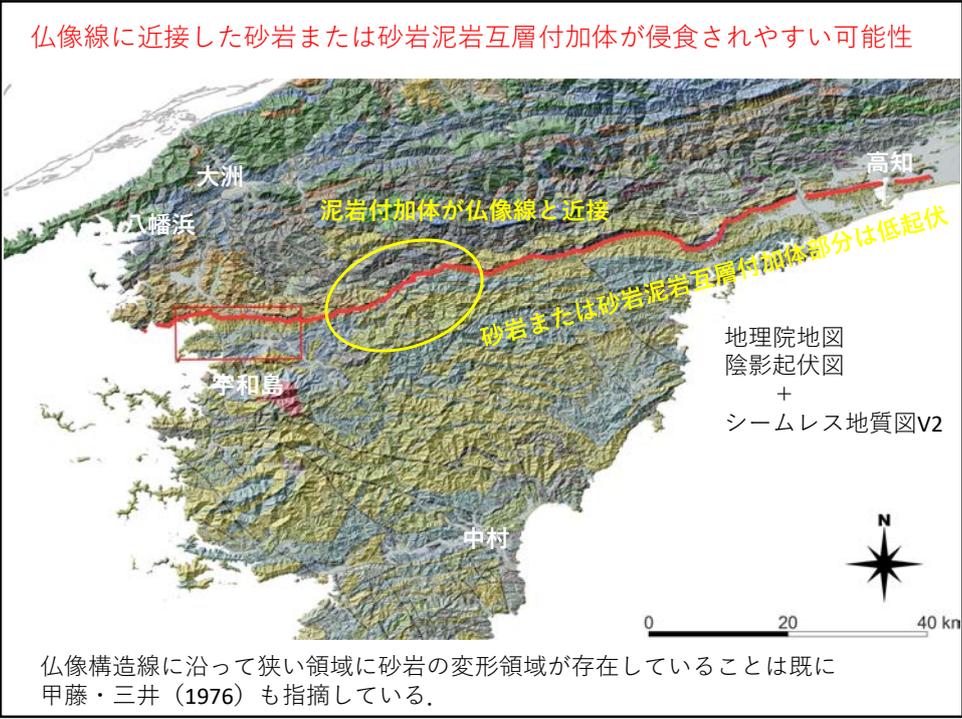
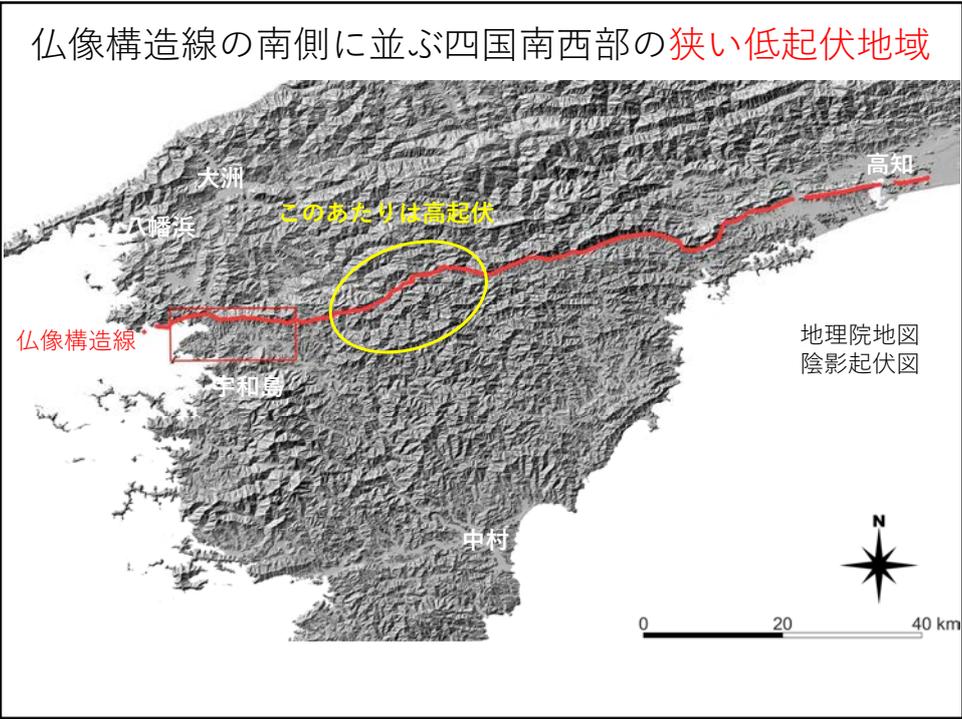
7月7日12時までの12時間雨量分布+深さ2m以上の深層崩壊 (●)
+過去の深層崩壊 (●)

不安定な地質の多くが2018年豪雨までに過去の降雨で安定化していた可能性がある。これは本地域のような「深層崩壊の発生集中場」がこれまで認識されていなかった理由でもある。

仏像構造線の南側に並ぶ四国南西部の狭い低起伏地域



地理院地図
陰影起伏図



まとめ

- 特徴的な地質構造を素因とする深層崩壊が集中して発生する地域が存在することが明らかになった。
- 高頻度の深層崩壊の発生は地形に反映されており、四国西部四万十帯北縁部に起伏の小さな領域を作っている。これらは付加体を成す変形した砂岩または砂岩泥岩互層の領域である。
- 2018年豪雨によって発生した深層崩壊には非流動性のもの、流動性のものがあり、前者は地質時代の断層変形により分離した砂岩レンズ状岩塊の崩壊、後者は砂岩の断層角礫の崩壊を原因とする。いずれも深部への透水経路が地断層運動によるせん断作用と重力変形によって形成されていたと思われる。不連続で高透水性の構造は、付加体に特徴的な大規模せん断帯であるメランジュと関係していると思われる。地質時代のせん断作用は特に砂岩に特徴的に不安定な斜面を形成している可能性がある。
- 深層崩壊の頻発地域では高密度DEMの分析によって過去の崩壊痕跡を抽出可能である。これによって深層崩壊の頻発地域を検出可能である。ただし、侵食イベントを経験し地域的に不安定な場所が除去されている場合もある。

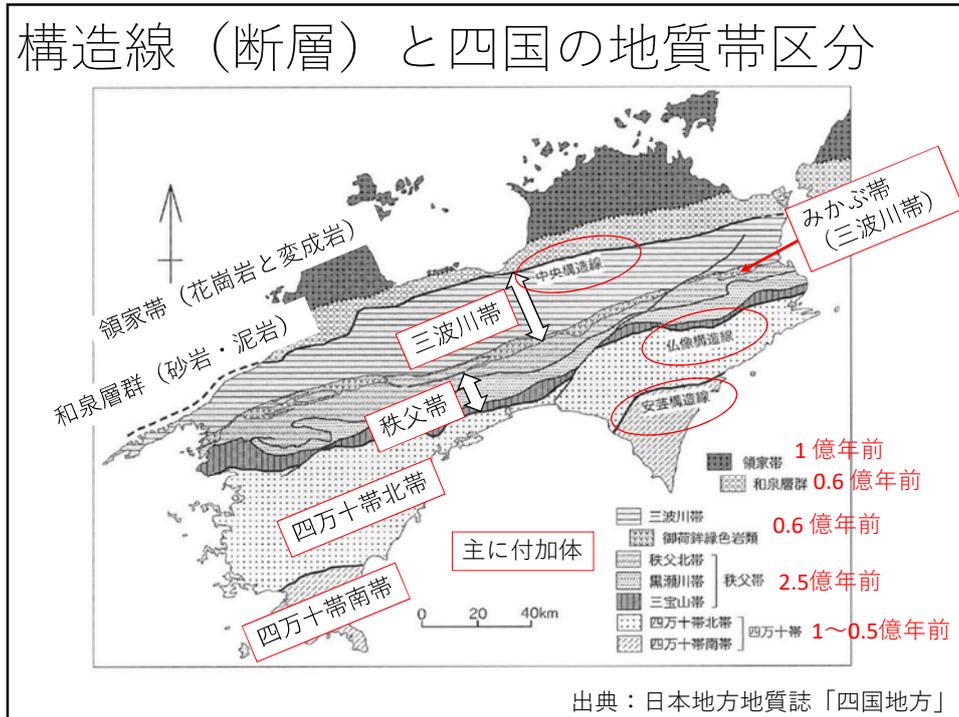
四国山地の深層崩壊と地すべり

京都大学防災研究所・徳島地すべり観測所
山崎 新太郎

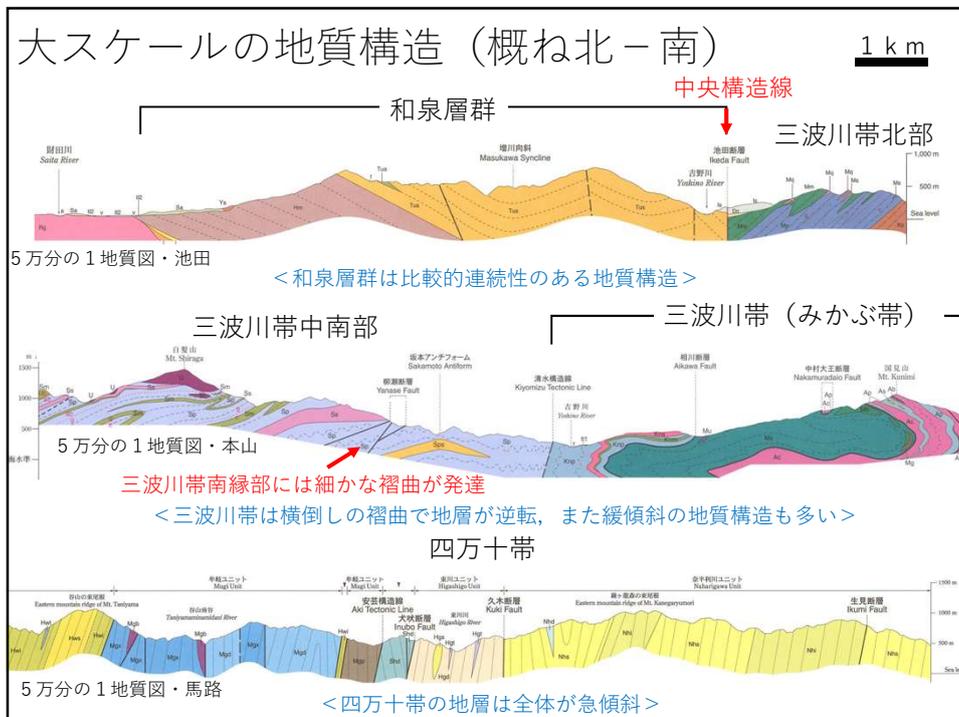
話題

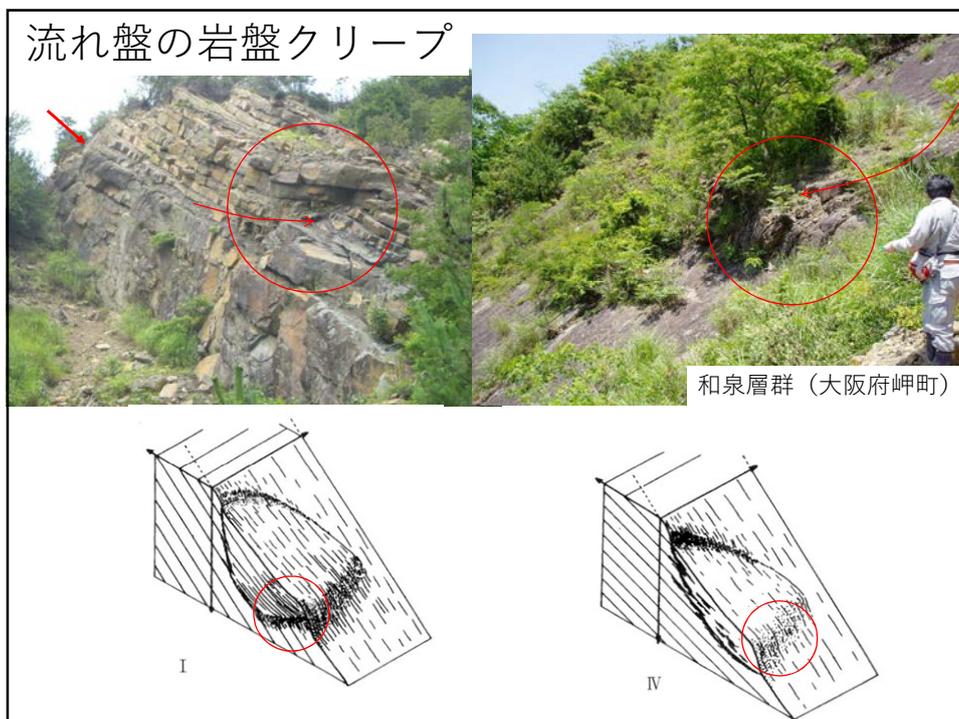
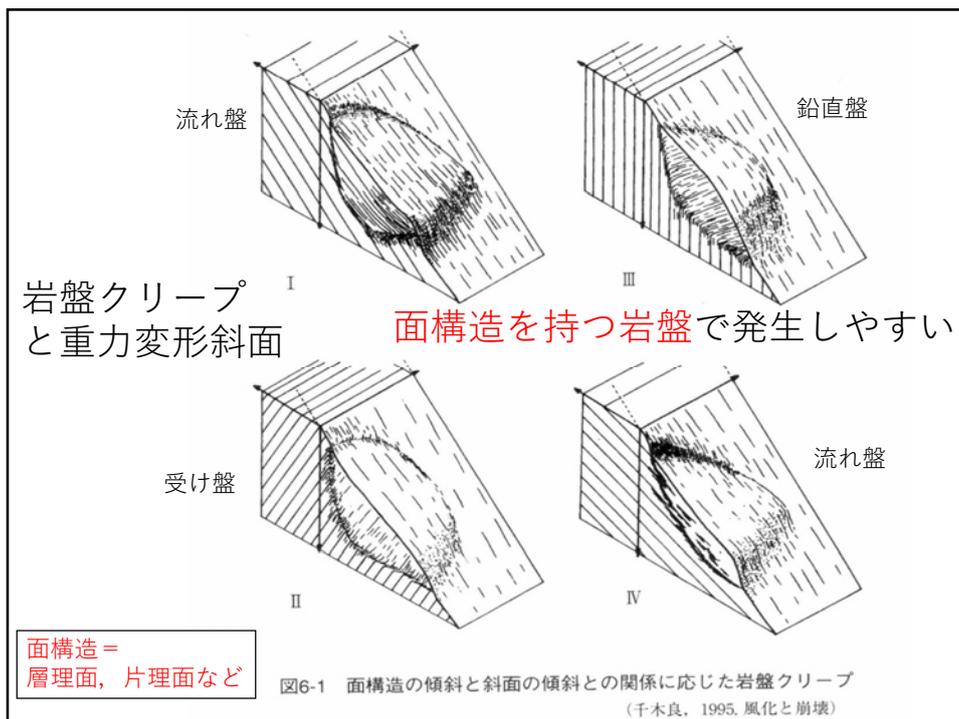
1. 地すべり・深層崩壊と地質構造の関係
2. 断層変形と風化がもたらした深層崩壊の多発
3. 衛星SARによる四国山地の活動的斜面変動の分布

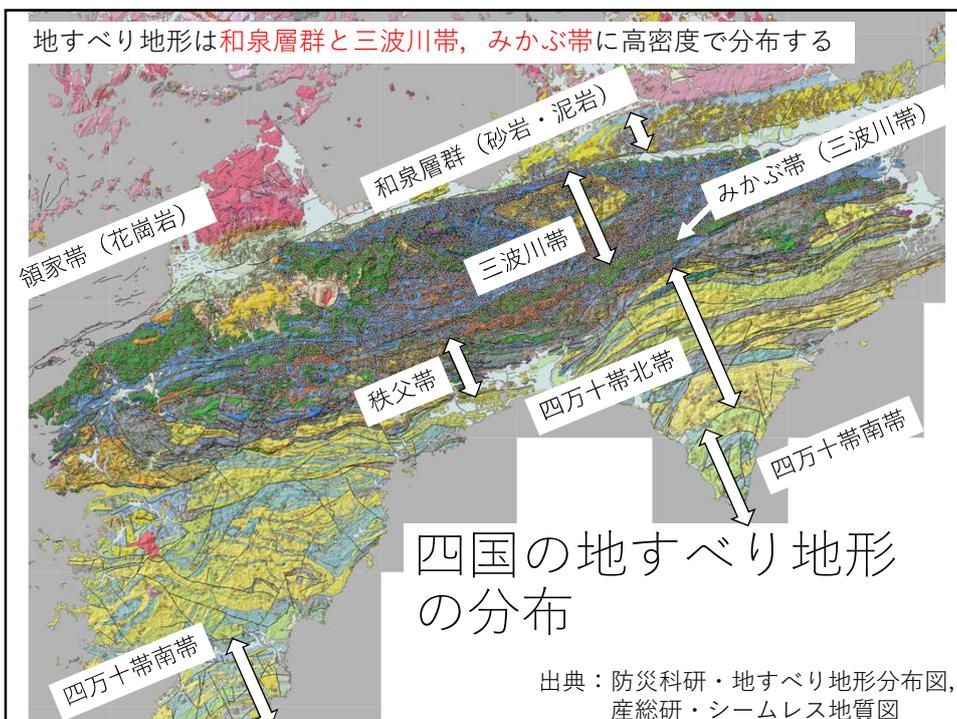
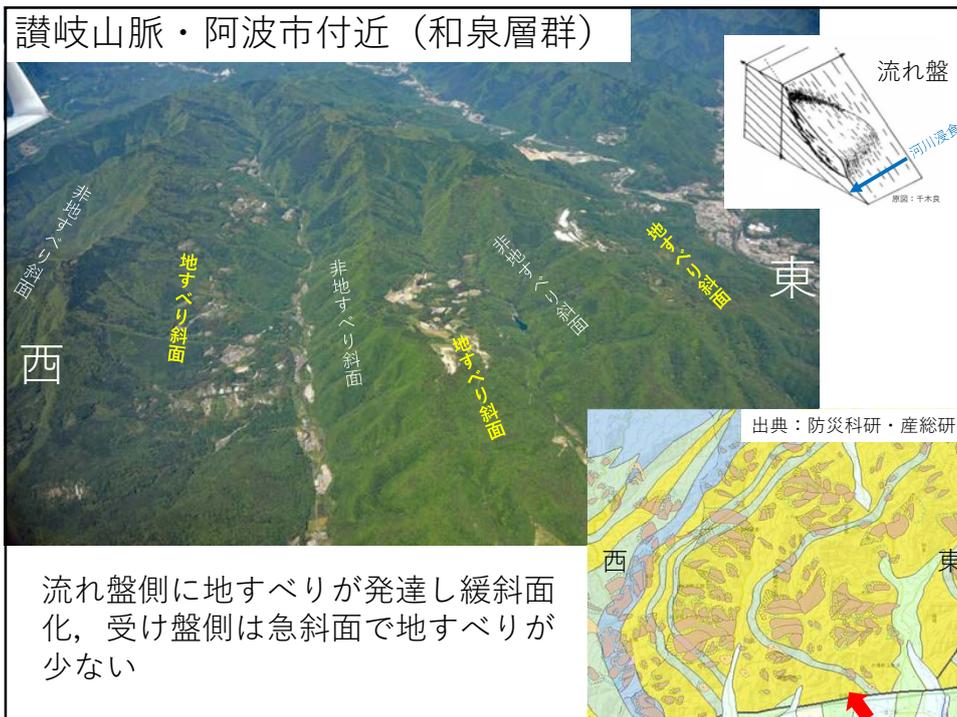
構造線（断層）と四国の地質帯区分



大スケールの地質構造（概ね北－南）

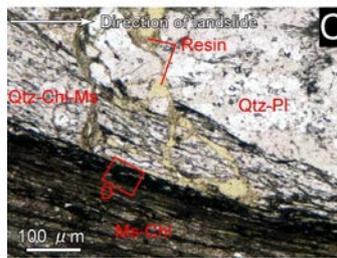
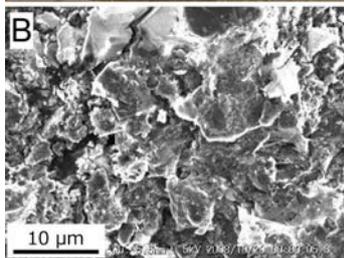
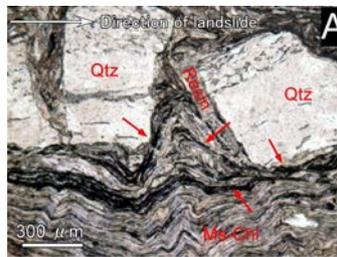




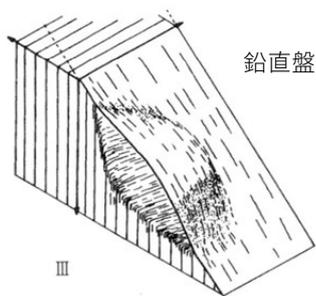


泥質片岩の弱面

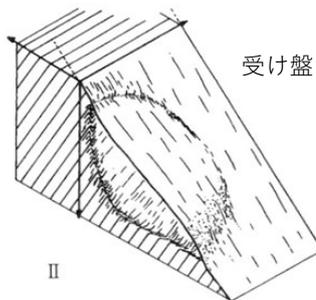
珪酸塩と結合しない炭素結晶（グラファイト）が層状に弱面を作っている



深層崩壊の原因となる受け盤構造

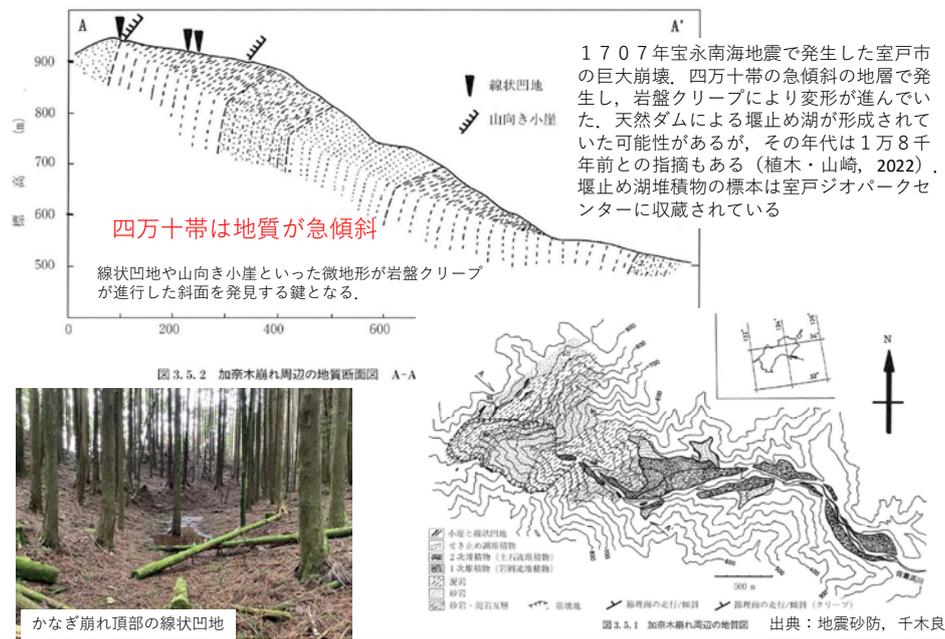


曲げスリップ

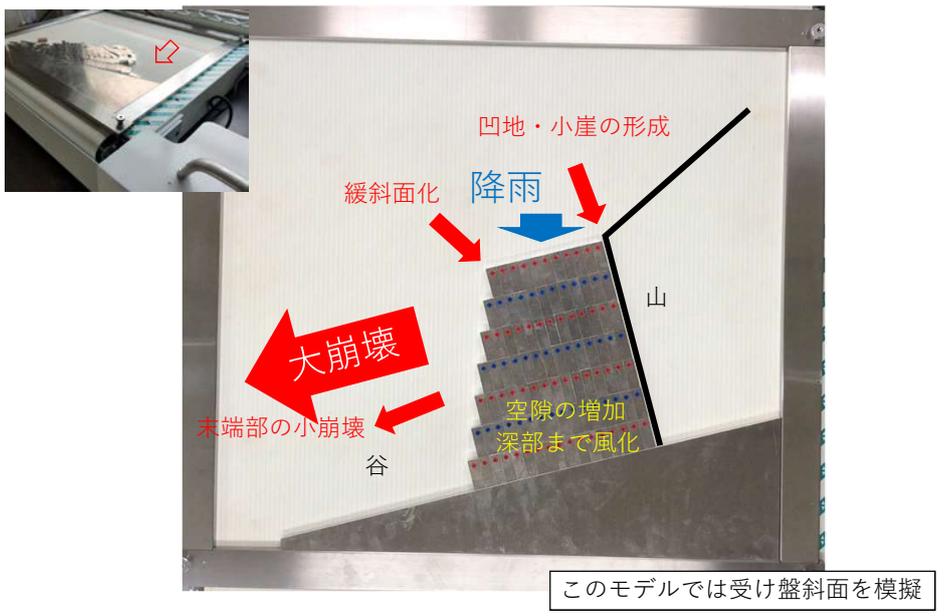


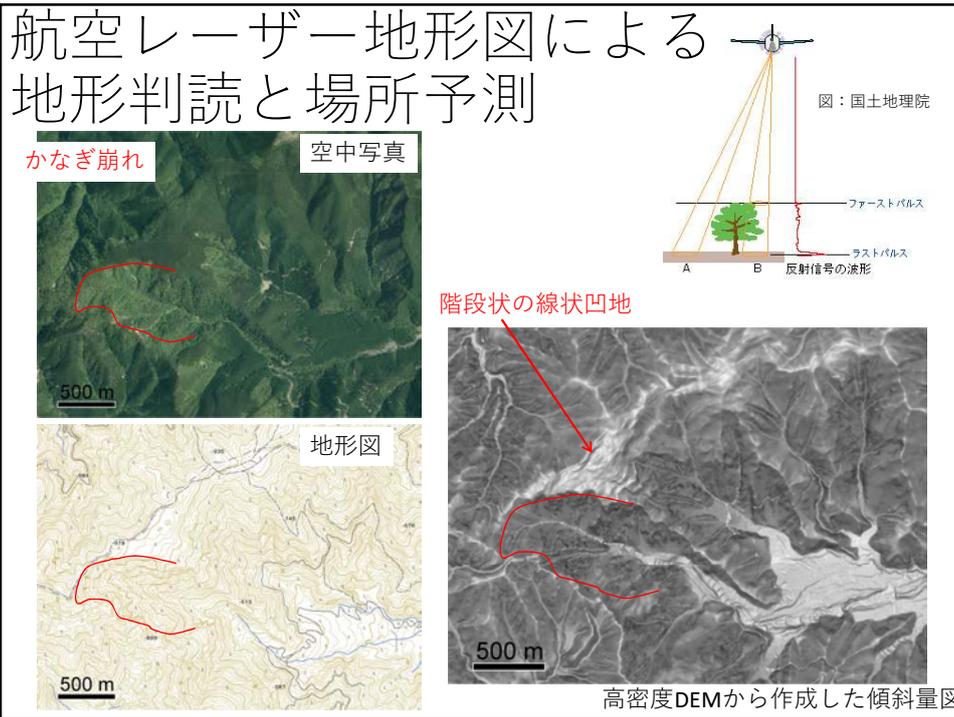
褶曲と同時に、層間の摩擦によって岩石層の破断・分離が発生する

四万十帯の深層崩壊（かなぎ崩れ）

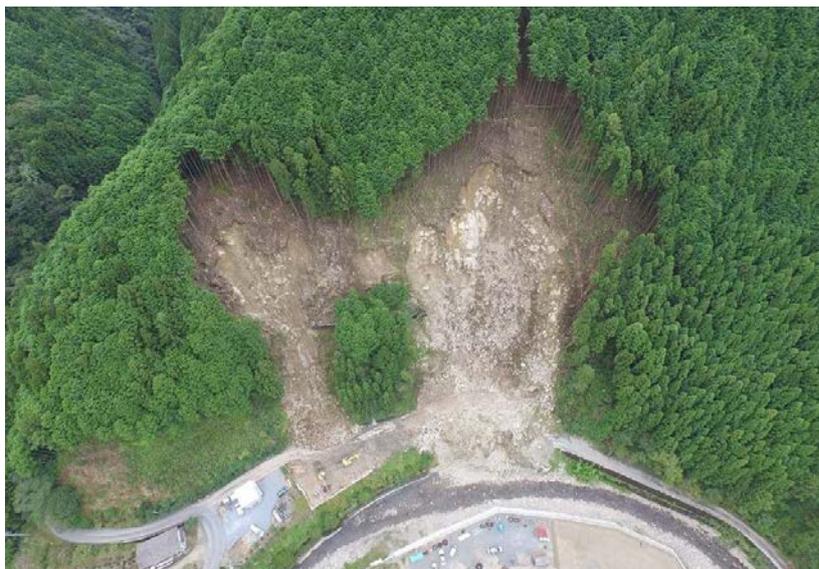


深層崩壊の発生と微地形（底面摩擦モデル）





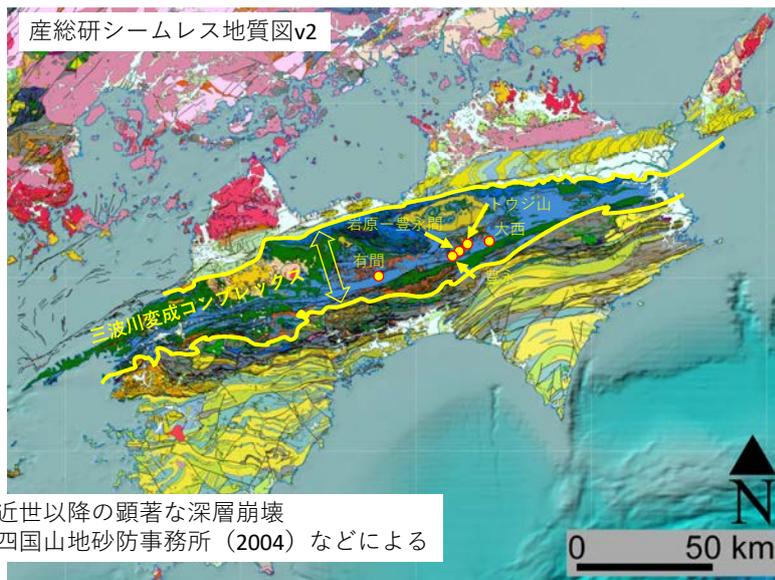
平成26年（2014年）8月の台風12号から続けて襲来した台風11号により崩壊、さらに9月に崩壊拡大、崩壊の背後に亀裂あり。



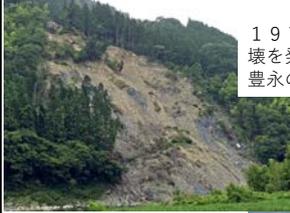
株式会社晃立 kohritz.co.jp/civil/小日浦災害関連緊急治山工事平成27年) jv/ 14



過去100年の四国山地三波川帯の深層崩壊は南部に集中している



三波川帯南縁部の地すべりと深層崩壊



1970年代から繰り返し崩壊を発生させている大豊町・豊永の深層崩壊



有瀬の地すべり集落と活動的なI-3ブロック



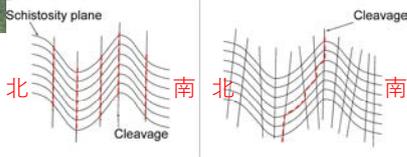
鉛直方向の劈開に沿って発達した開口亀裂



北 南

微褶曲と鉛直方向に劈開が発達する泥質片岩

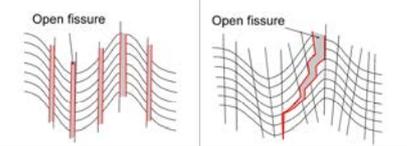
劈開 (Cleavage) と片理面 (Schistosity plane) の関係



Schistosity plane Cleavage

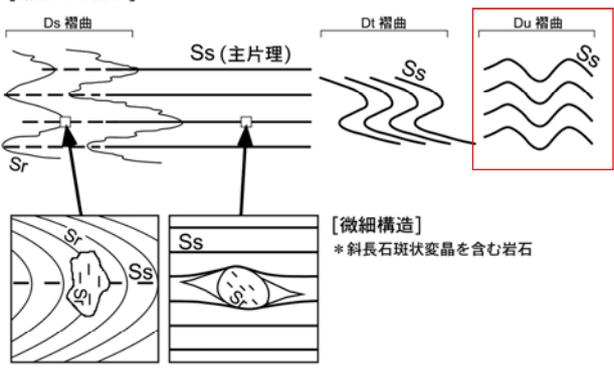
北 南 北 南

鉛直方向の透水経路形成



Open fissure Open fissure

【露頭での構造】



Ds 褶曲 Dt 褶曲 Du 褶曲

Ss (主片理)

Sr

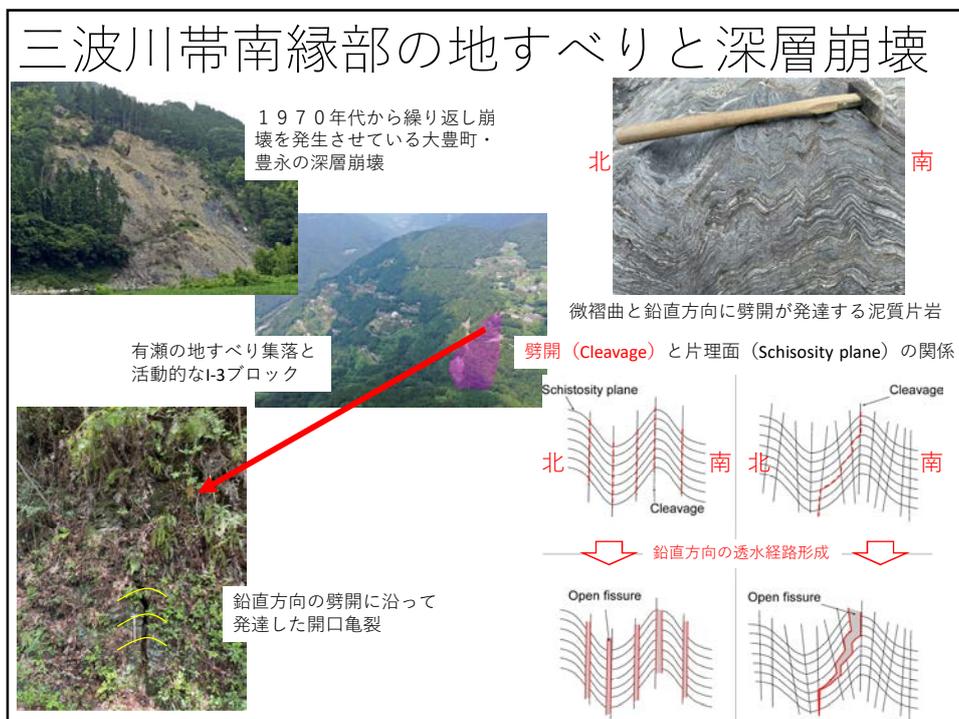
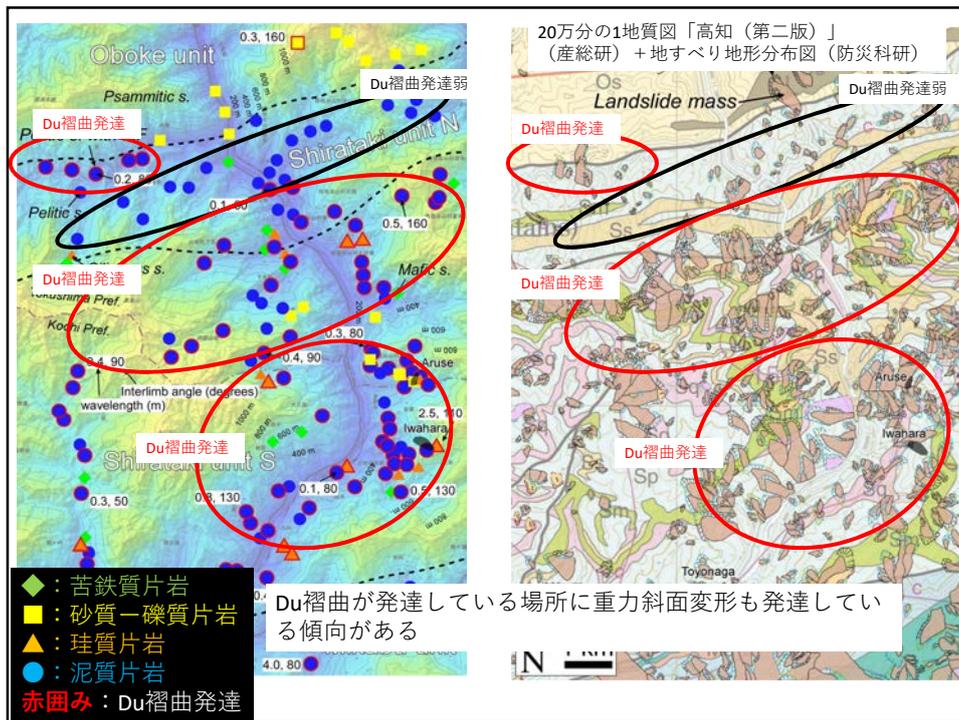
【微細構造】
* 斜長石斑状変晶を含む岩石

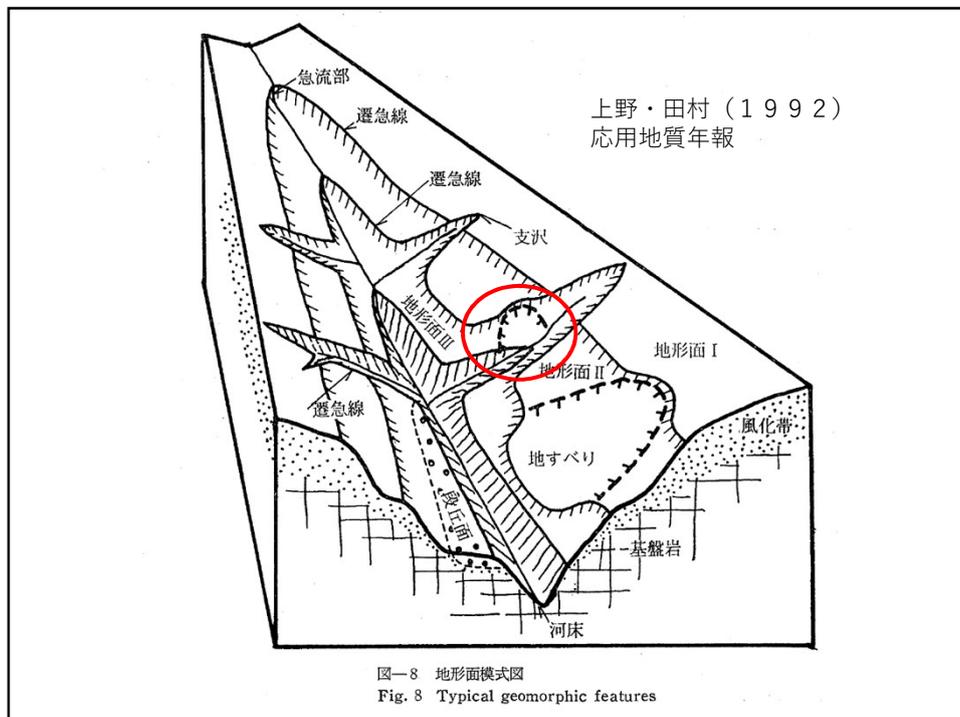
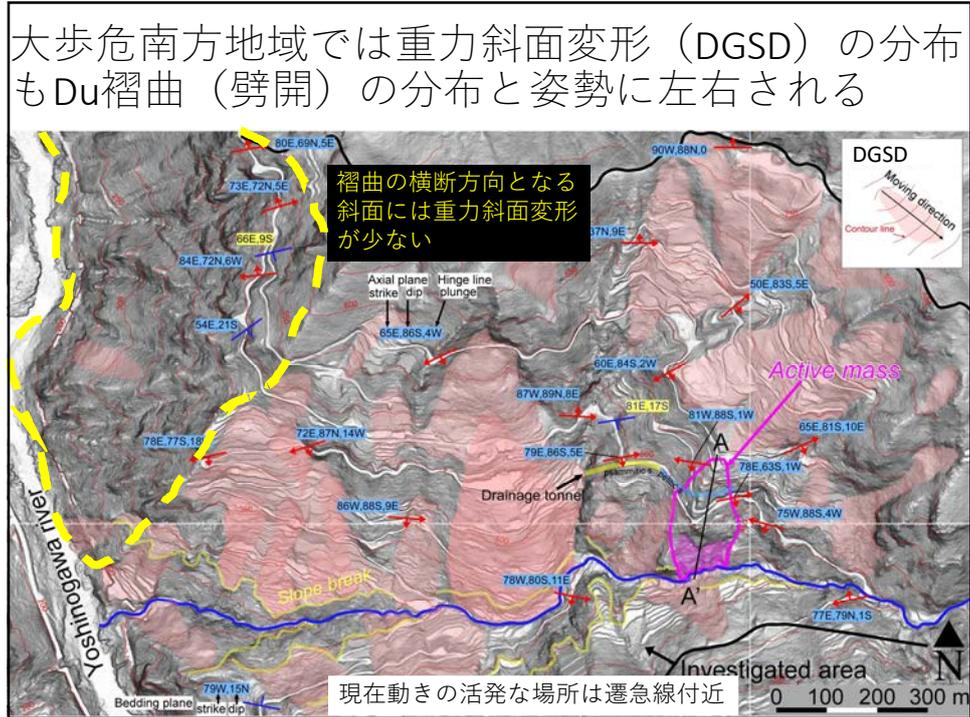
【変形段階の区分】 * 主変形=Ds

Dr	Ds 褶曲によって曲げられている片理(Sr)を形成した段階。Srは斜長石斑状変晶の内部構造としても認識される。
Ds	東西引き伸ばしを伴う主片理(Ss)を形成した段階。Ds期の褶曲はSsとはほぼ平行な軸面を持つ。
Dt	主片理(Ss)を曲げ、水平傾向の軸面を持つ褶曲を形成した段階。Dt褶曲はDu褶曲によって曲げられる事がある。
Du	主片理(Ss)を曲げ、直立傾向の軸面を持つ褶曲を形成した段階。Du褶曲はDt褶曲を曲げる事がある。

青矢・横山 (2009) 「日比原」図幅

第3.4図 四国三波川変成コンプレックスにおける塑性変形段階の区分変形段階の呼称はWallis (1990; 1998) による。





話題

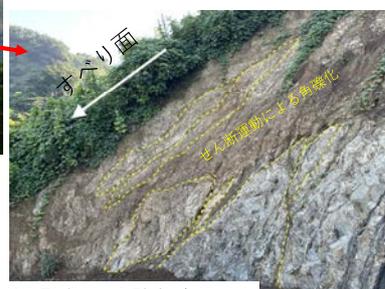
1. 地すべり・深層崩壊と地質構造の関係
2. 断層変形と風化がもたらした深層崩壊の多発
3. 衛星SARによる四国山地の活動的斜面変動の分布

小規模・群発深層崩壊の多発

2018年西日本豪雨災害・宇和島市



深さ20mを超える塊状の崩壊はせん断変形で形成された砂岩のブロックが分離したもの。ブロックが作る不連続面が崩壊の原因。



せん断で形成された砂岩ブロック



角礫化帯の強風化部が大土石流に発達した例

平成30年7月豪雨での 法華津（ほけつ）湾周辺の深層崩壊群



西予市明浜町・宇和島市吉田町

- ・愛媛県宇和海に面する法華津湾周辺で表層崩壊と共に深層崩壊が頻発した。
- ・深層崩壊群の発生前の12時間降雨量は300ミリ以下であった。（72時間でも450ミリ以下）
- ・深層崩壊の分布は1kmメッシュ解析雨量の結果と必ずしも整合しない。
- ・特定の地質条件を備えた場所に深層崩壊が集中していた。

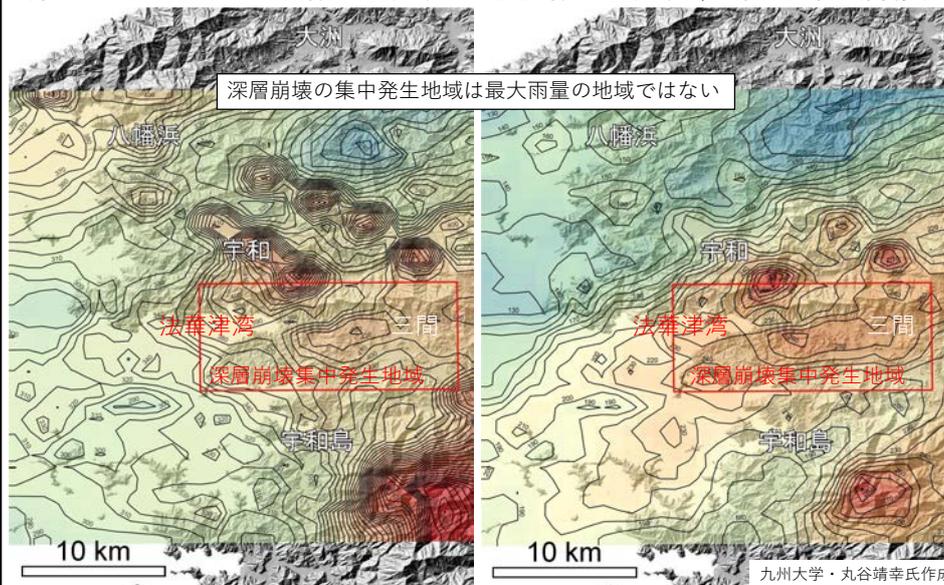
解析雨量（1kmメッシュ）

2018年

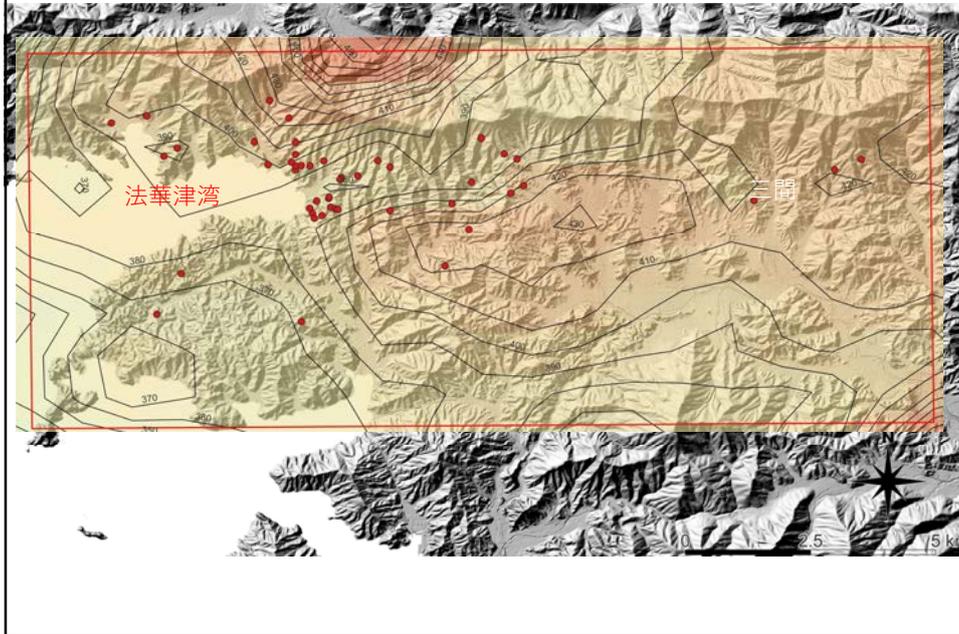
7月5日～7日までの72時間雨量分布

7日7時0分～12時までの

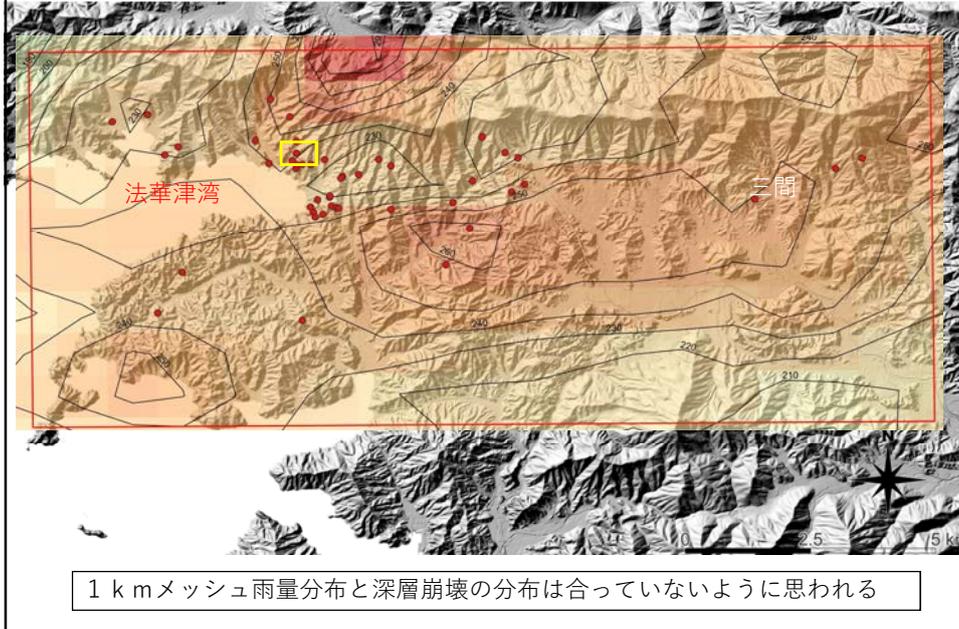
12時間雨量分布（7時～8時に崩壊多発）



7月5日～7日までの72時間雨量分布+深さ2m以上の崩壊 (赤丸)



7月7日12時までの12時間雨量分布+深さ2m以上の崩壊 (赤丸)



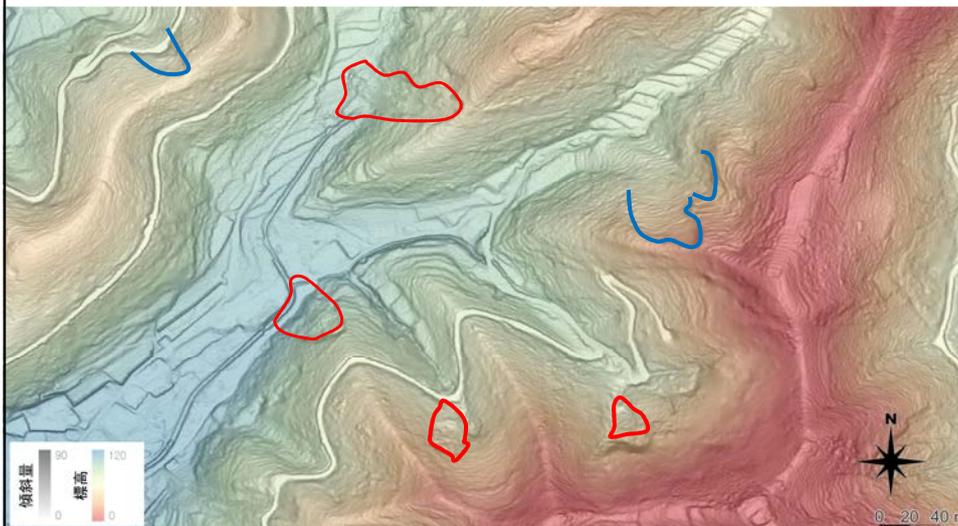
1 kmメッシュ雨量分布と深層崩壊の分布は合っていないように思われる

災害4日後（7月11日）国土地理院撮影のオルソ写真

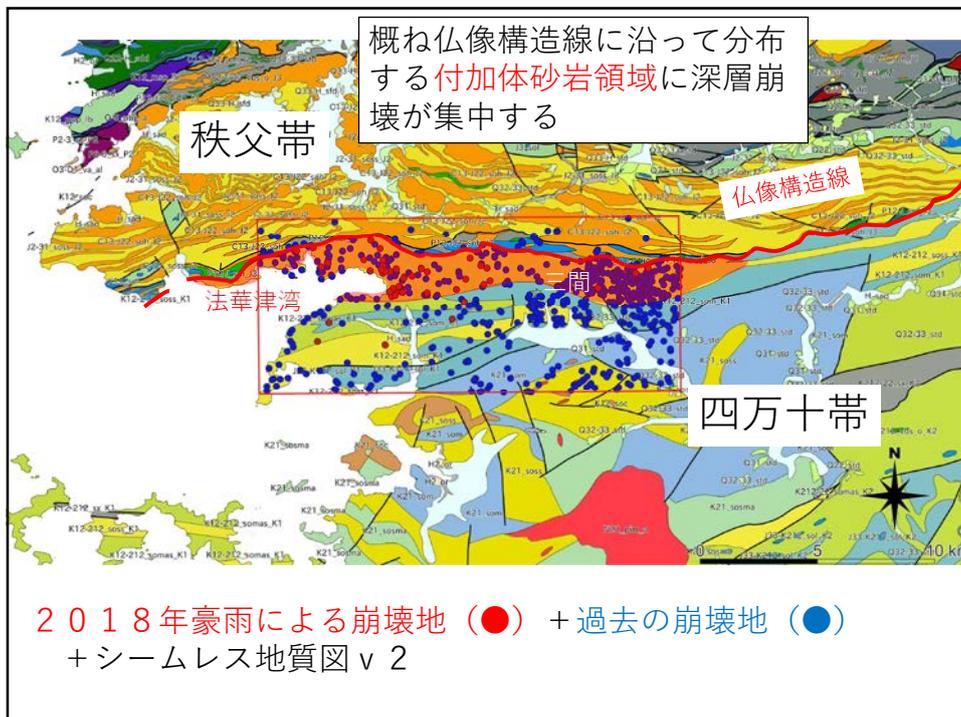
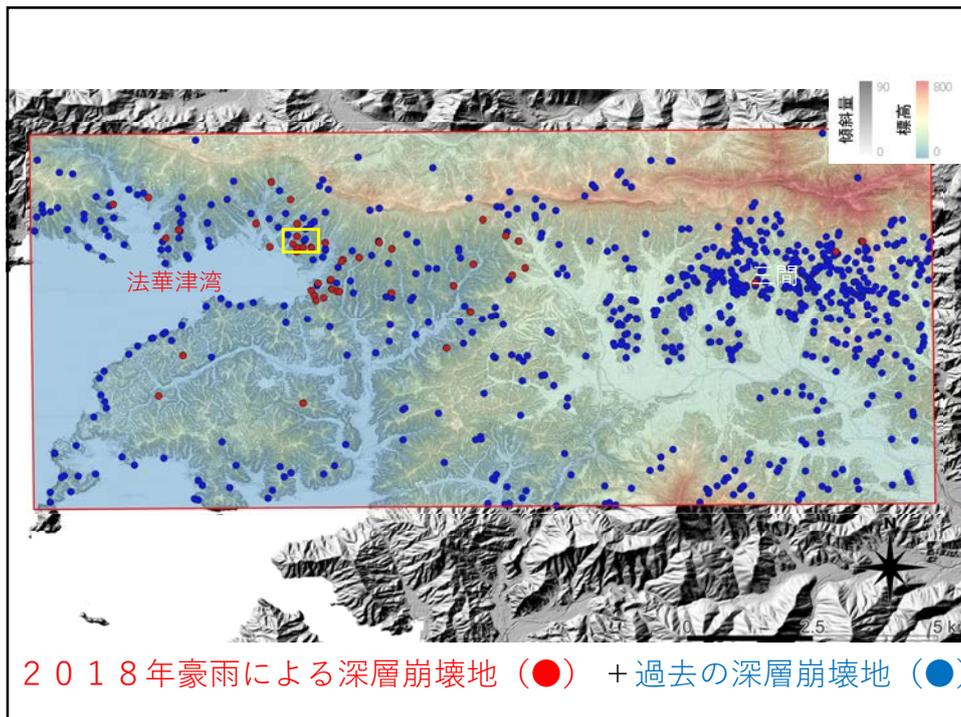


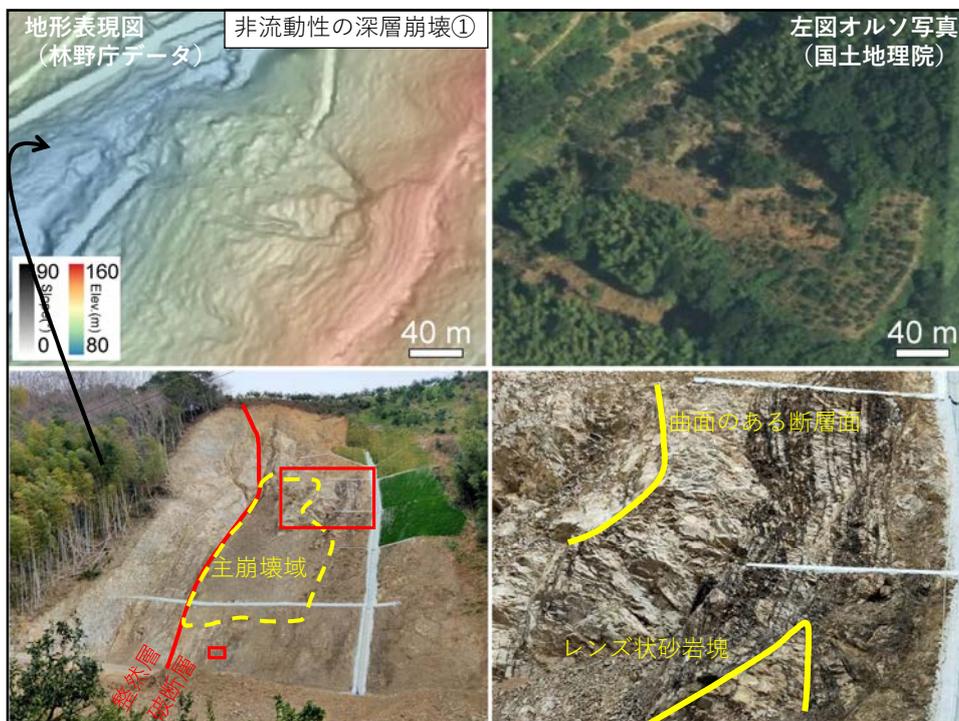
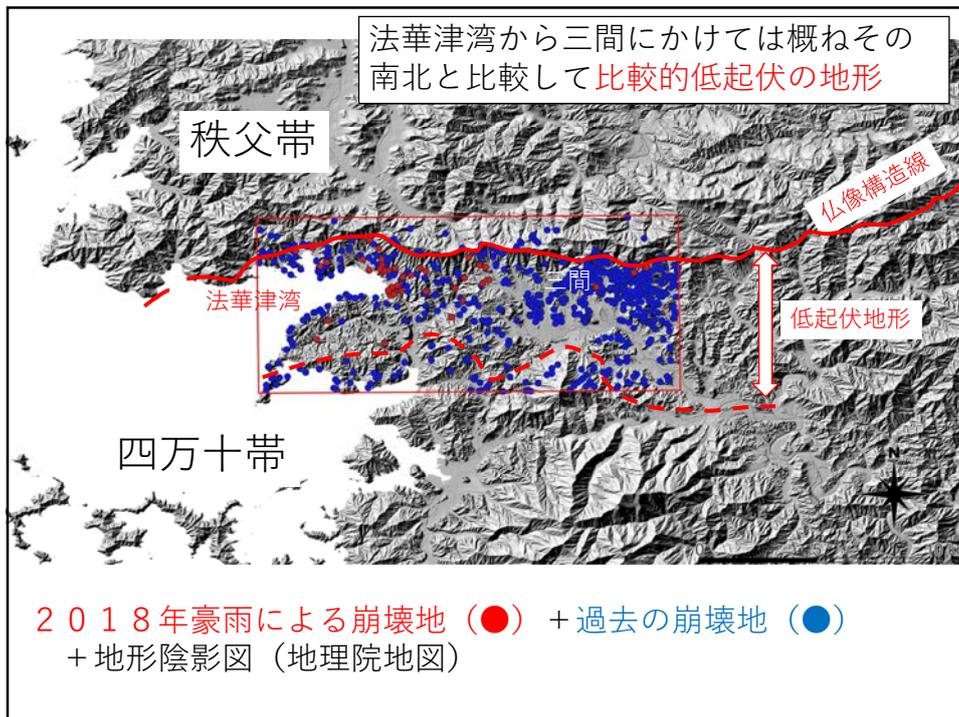
2018年豪雨による深層崩壊地
表層崩壊よりも深層崩壊の方が土砂を多く生産している

0.5 m-DEM地形表現図（林野庁森林整備局DEM）



2018年豪雨による深層崩壊地 + 過去の深層崩壊地
過去の深層崩壊もレーザー計測によって得た真実の地形には残されている





大規模せん断構造と関係する微小構造



鱗片状劈開を持つ泥岩基質と、右横ずれを示し白色鉱物脈が発達するレンズ状砂岩塊

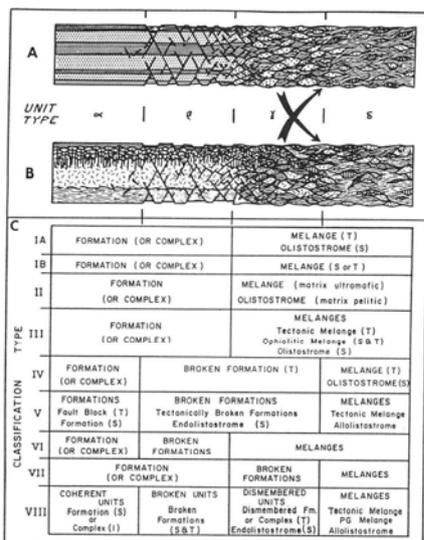


図3-3 メランジュとそれに関連した岩体の特徴と分類 (Raymond, 1984)
 A: 砂岩泥岩互層の層理の破断と混在化の進行を示す模式図。その程度に応じて弱いほうから強い方へα, β, γ, δに4区分する。
 B: 海洋地殻物質(オフィオライト)の破断と混在化の進行を示す模式図。AとBをつなぐ矢印は両者が混合することを示す。
 C: AとBに示されたメランジュとそれに関連した岩体の分類に関する8つのタイプ分け。I: 火成起源, S: 堆積起源, T: 構造作用起源。olistostrome, tectonic melange などについては本文参照。

メランジュとは?

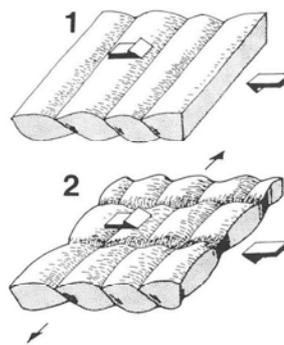
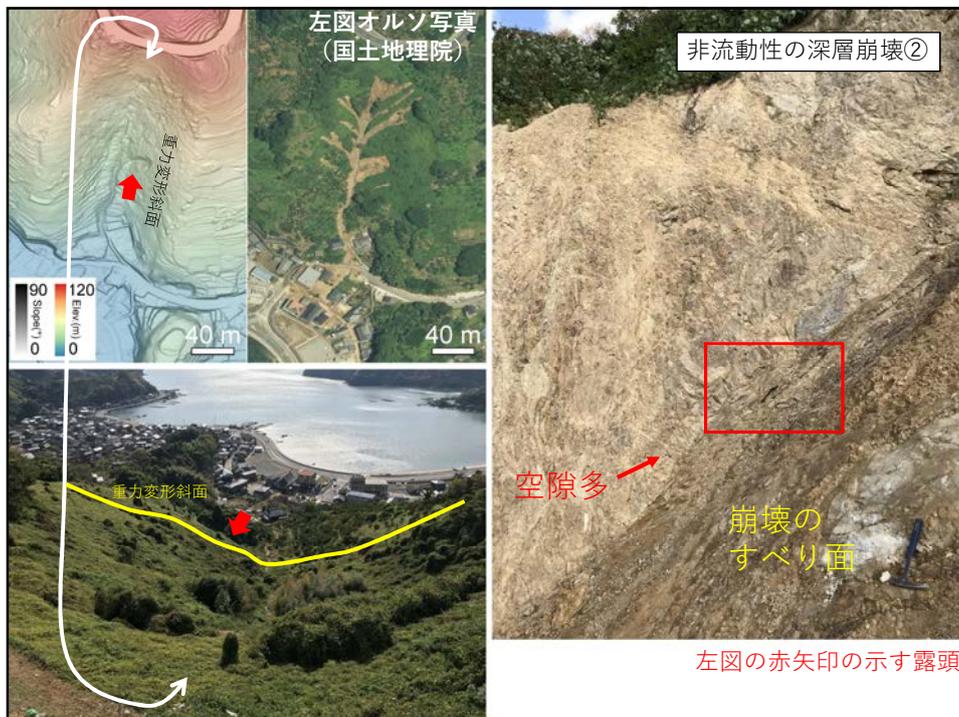
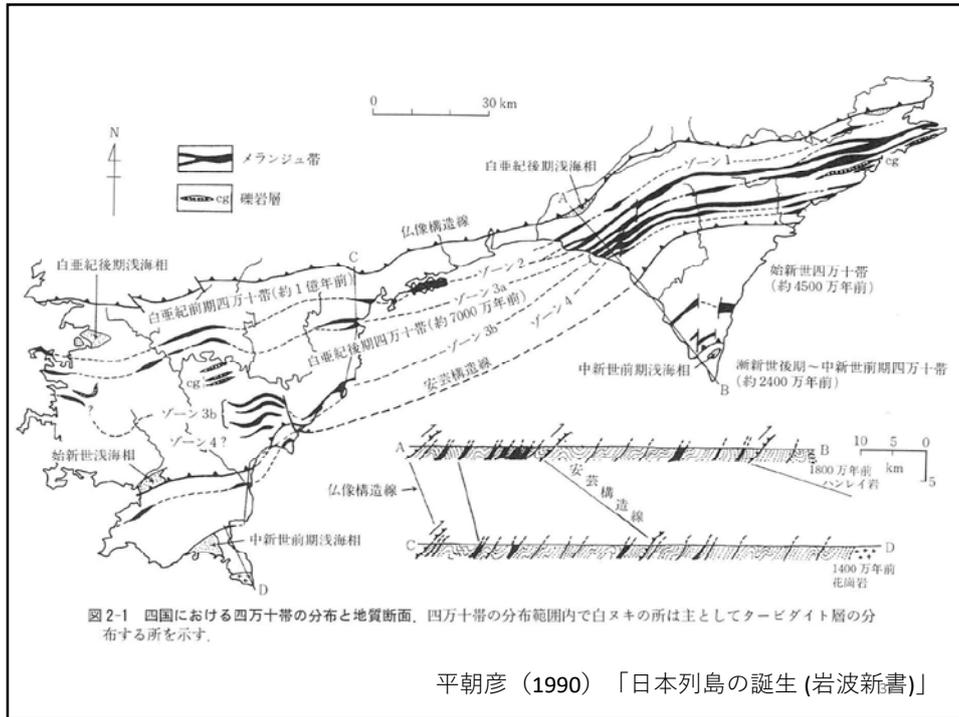
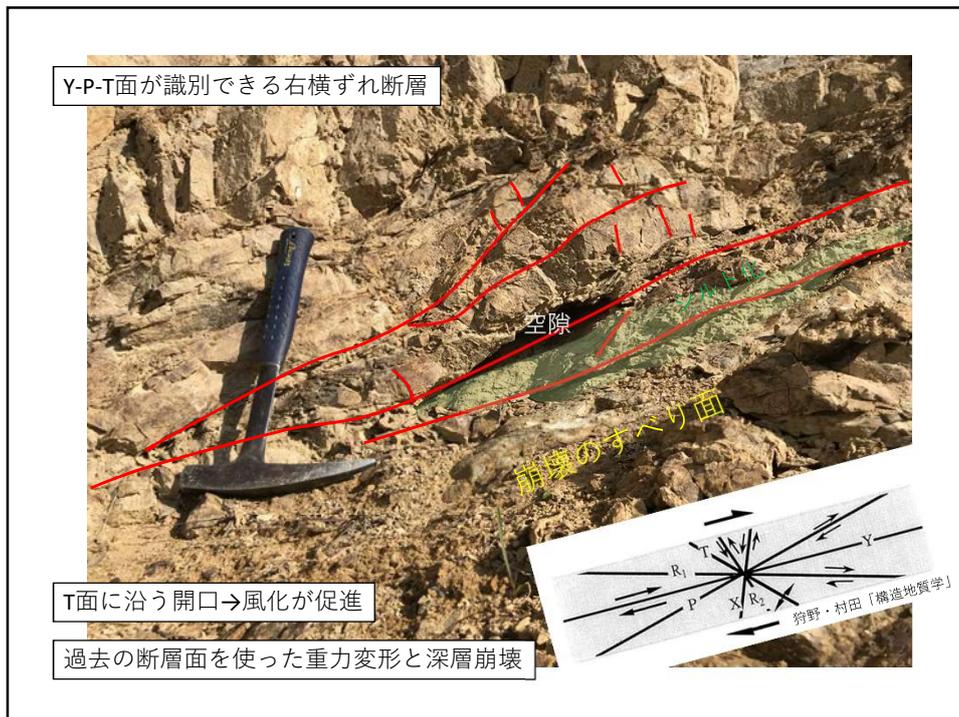
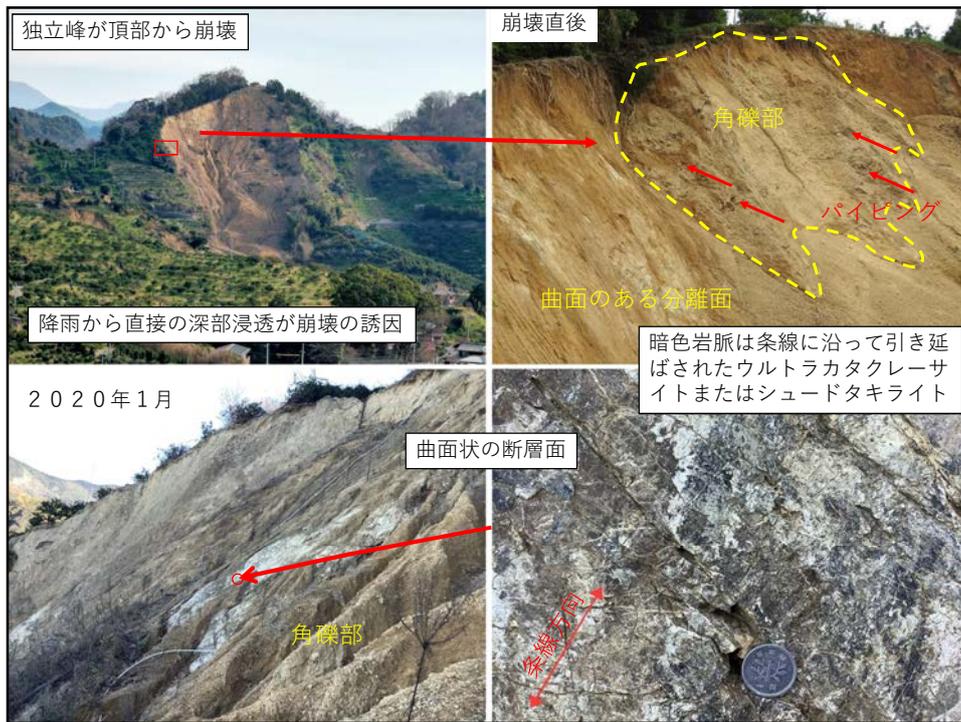


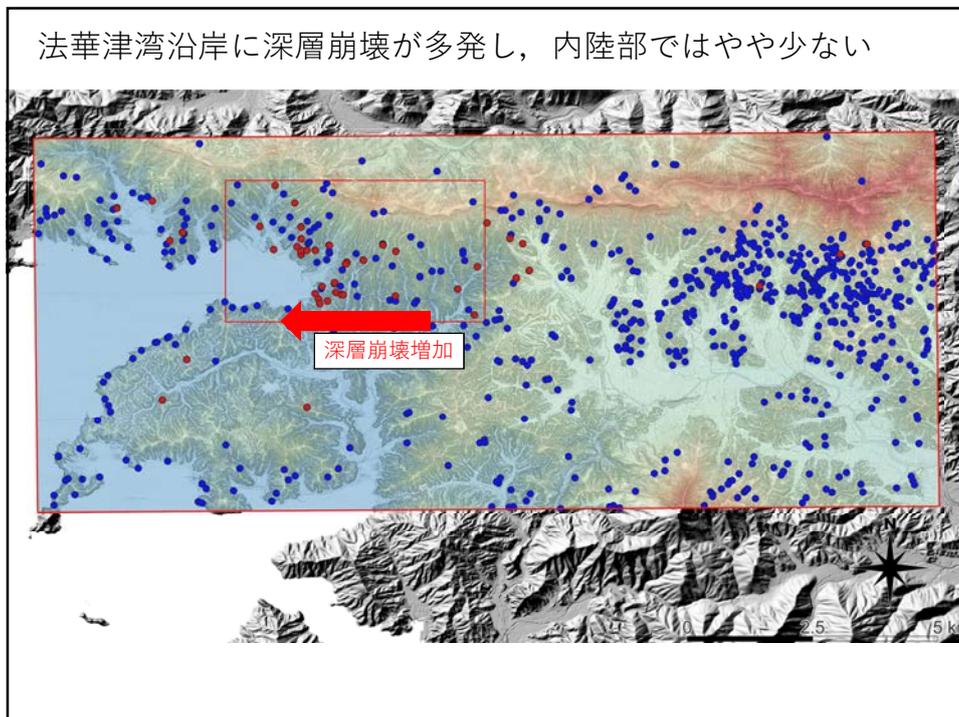
図2-8 層平行剪断(1)に重複した層平行伸張(2)に伴うプーダン化によるメランジュ岩塊の形成モデル (Kimura & Mukai, 1991)

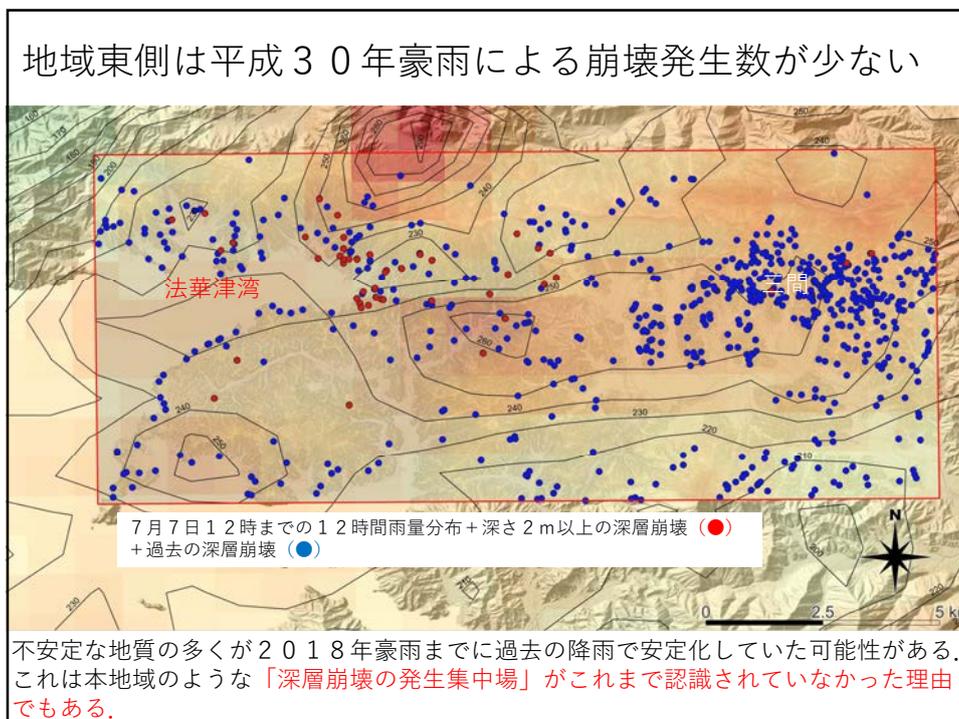
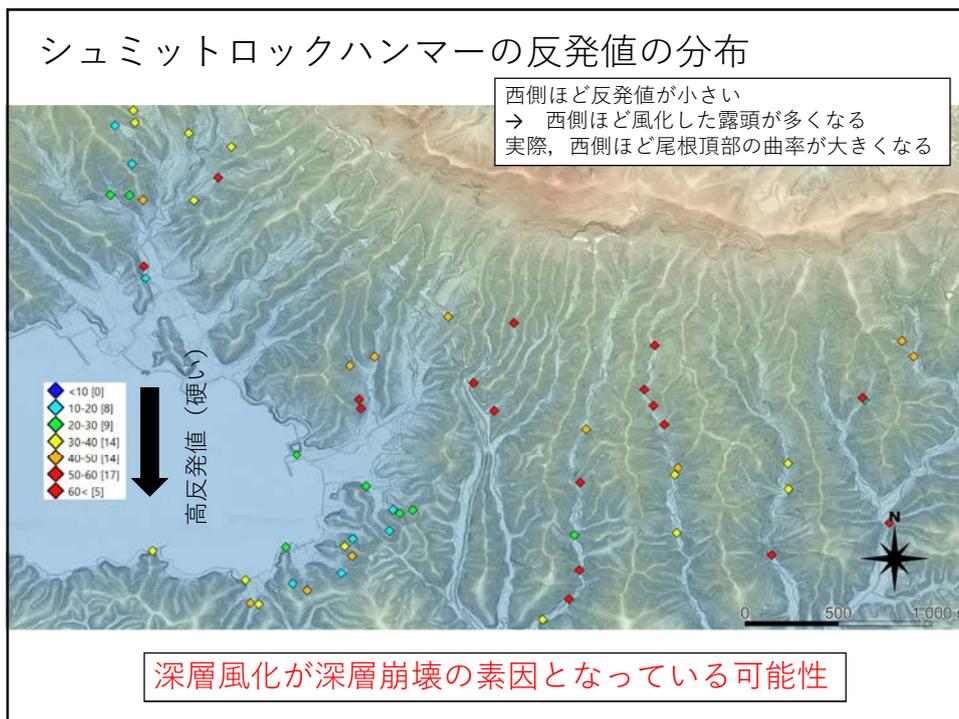
狩野 謙一, 村田 明広 (1998)
 「構造地質学」



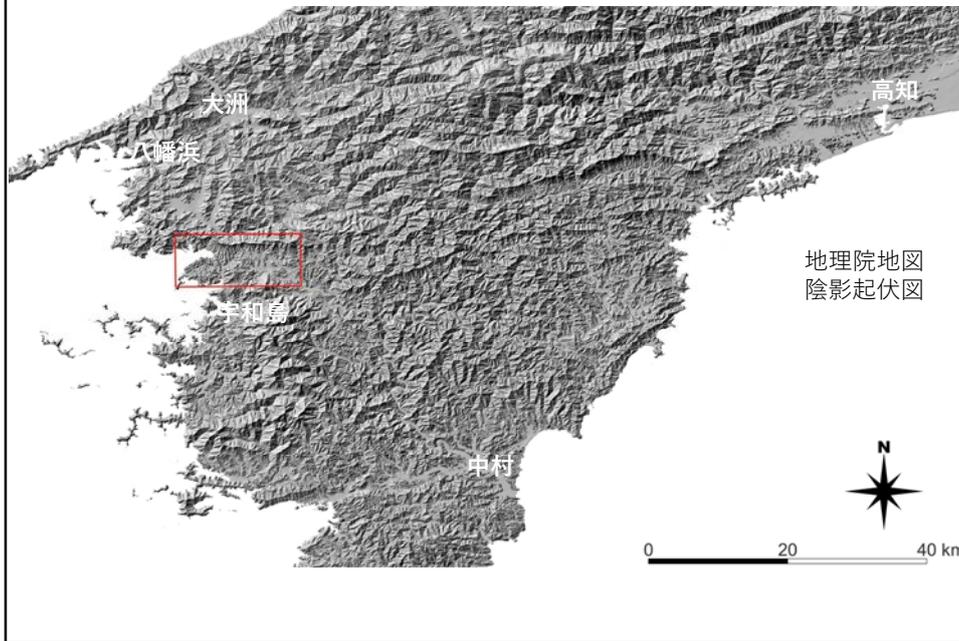




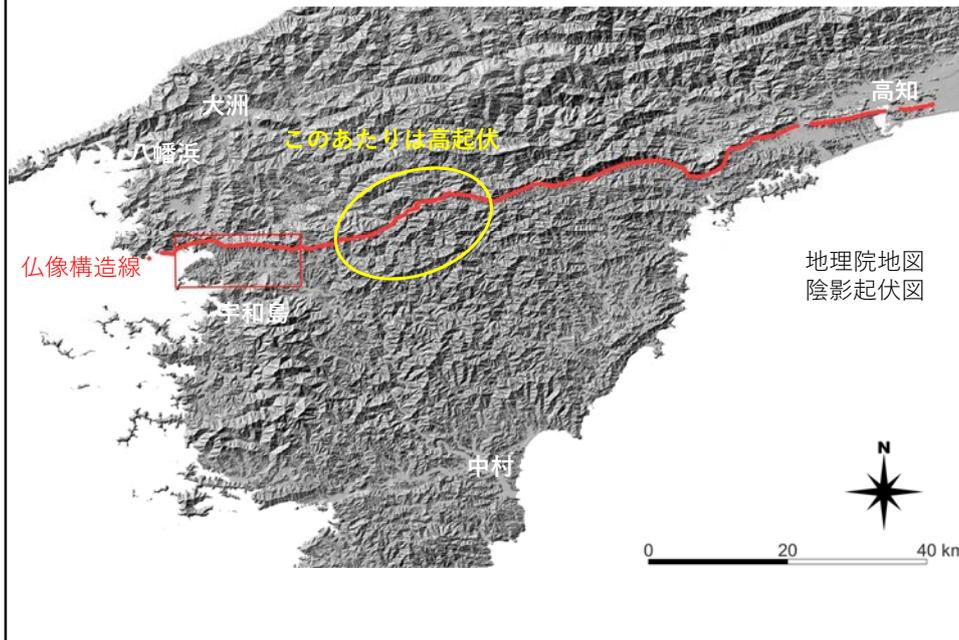


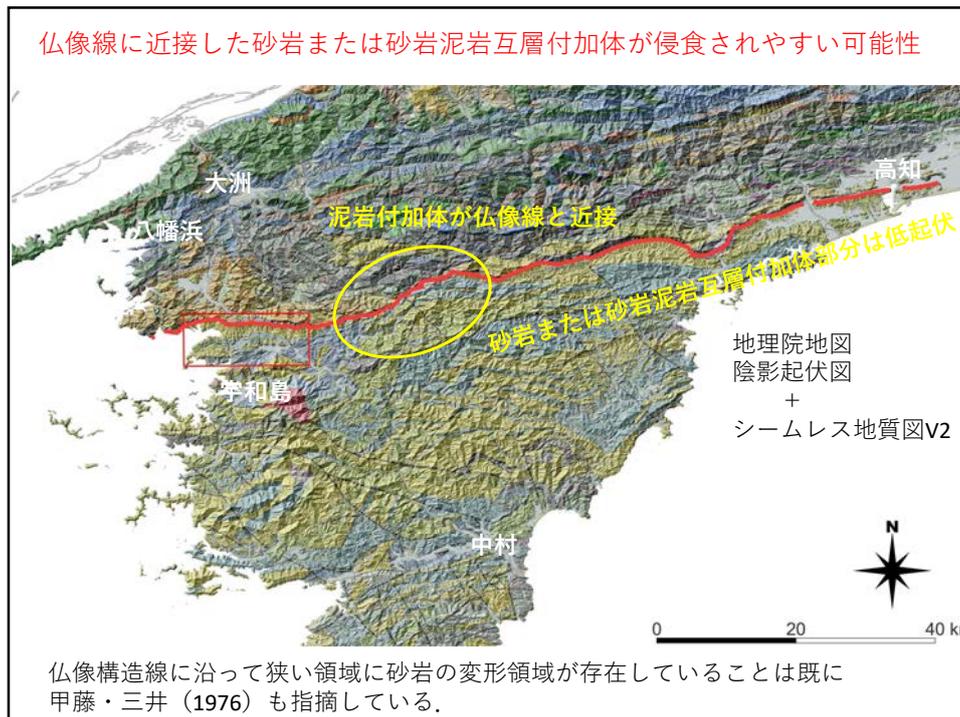


仏像構造線の南側に並ぶ四国南西部の狭い低起伏地域



仏像構造線の南側に並ぶ四国南西部の狭い低起伏地域



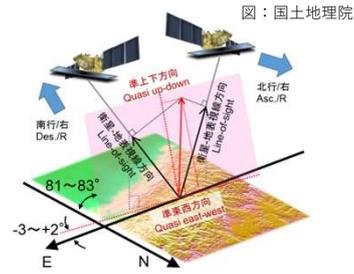
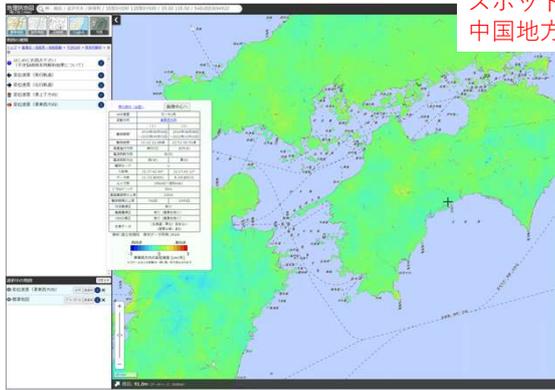


話題

1. 地すべり・深層崩壊と地質構造の関係
2. 断層変形と風化がもたらした深層崩壊の多発
3. 衛星SARによる四国山地の活動的斜面変動の分布

2023年3月に国土地理院とJAXA が公表した干渉SAR時系列解析結果

スポット的な変動域=活動的な地すべり
中国地方に比べて明らかに四国山地は多い



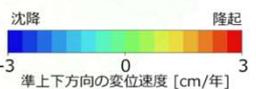
準東西方向・準上下方向の変動が可視化されている。
なお観測できるのは東西・上下の変動のみ。

観測方法の詳細

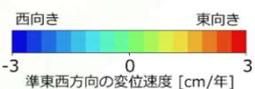
速度データは年あたりに変換。ピクセルサイズが90mなので大規模な重力斜面変形であれば検出できる可能性がある。

SAR衛星	だいち2号	
変動方向	準上下方向	
	(1)	(2)
観測期間	2014年08月06日 ~2022年09月03日	2014年08月08日 ~2022年12月19日
観測時間	11:12-12:48頃	22:51-00:51頃
衛星進行方向	南行(D)	北行(A)
電波照射方向	右(R)	
電波照射方位	西(W)	東(E)
観測モード	U	
入射角	32.37-42.90°	32.17-43.12°
データ数	11-31(全909)	8-26(全823)
ルック数	16look(一部8look)	
ピクセルサイズ	90m	
垂直基線長の上限	200m	
観測間隔の上限	760日	1095日
対流圏補正	有り	
電離層補正	有り(離島を除く)	
GNSS補正	有り(離島を除く)	
冬季データ	(北海道・東北) 含まない (関東以南) 含む	

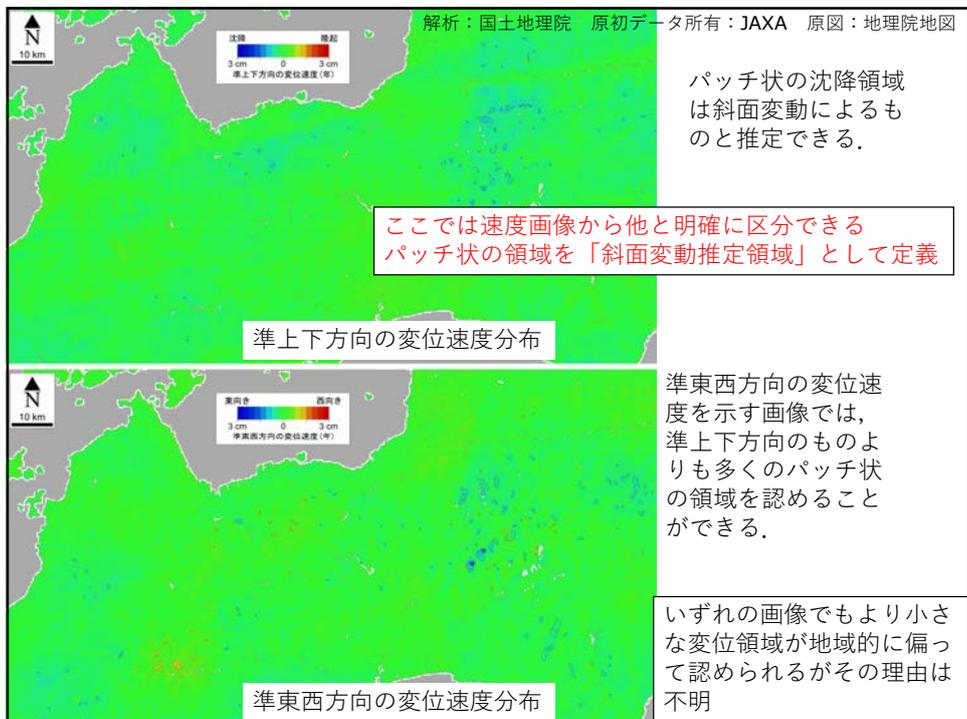
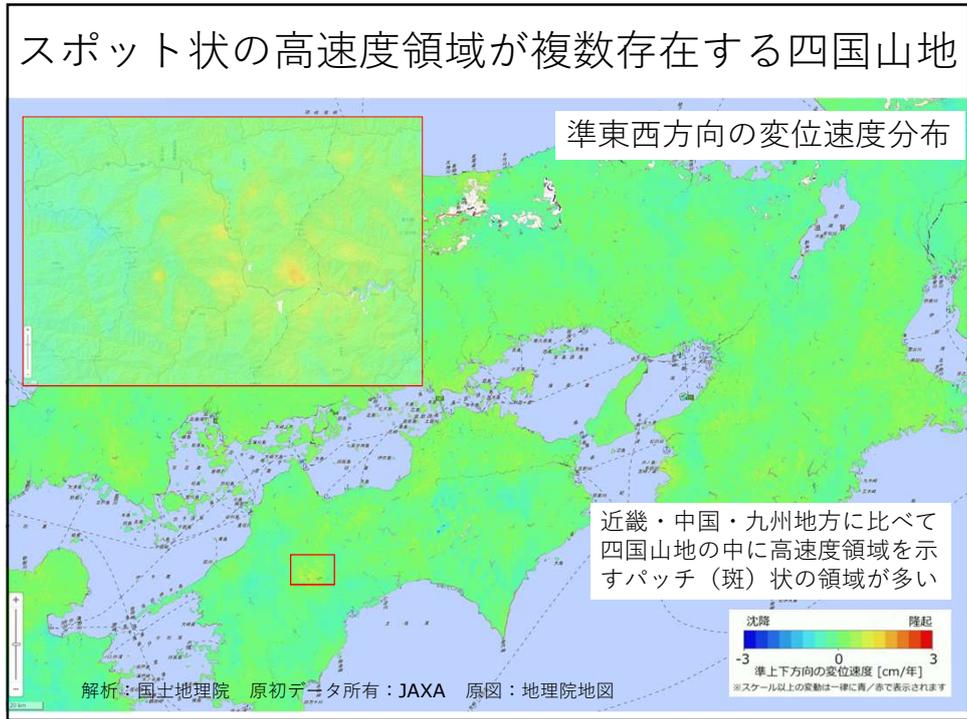
解析:国土地理院 原初データ所有:JAXA

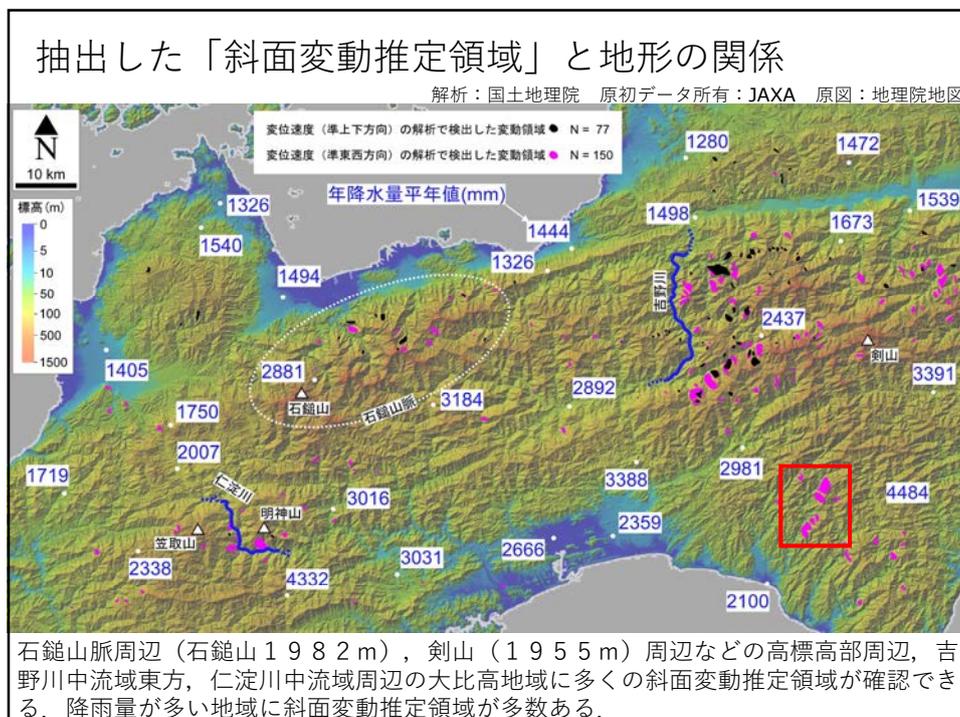
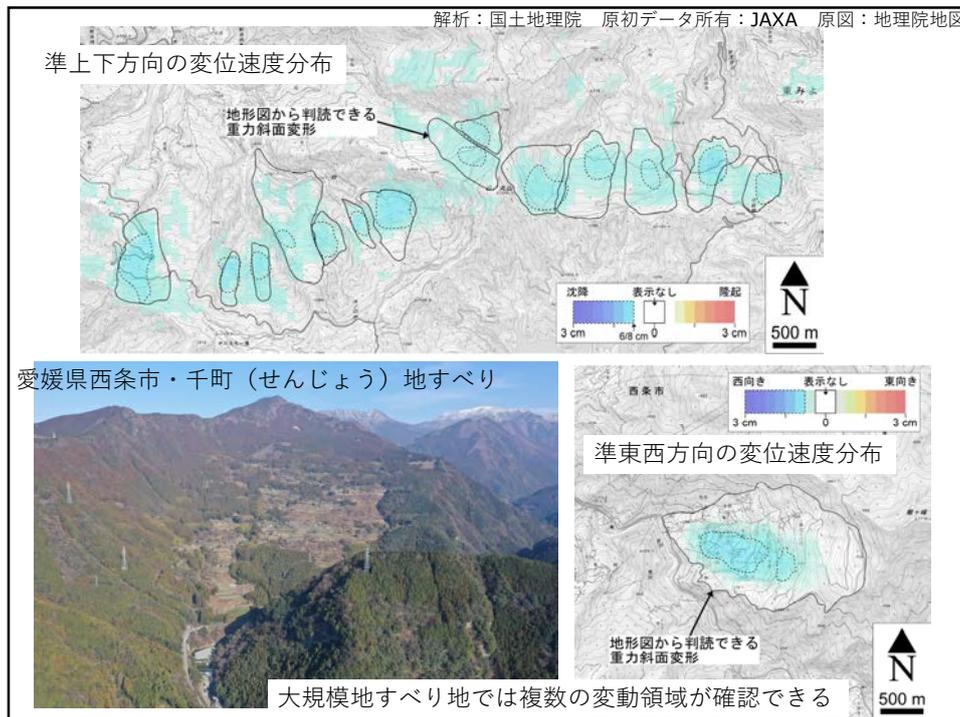


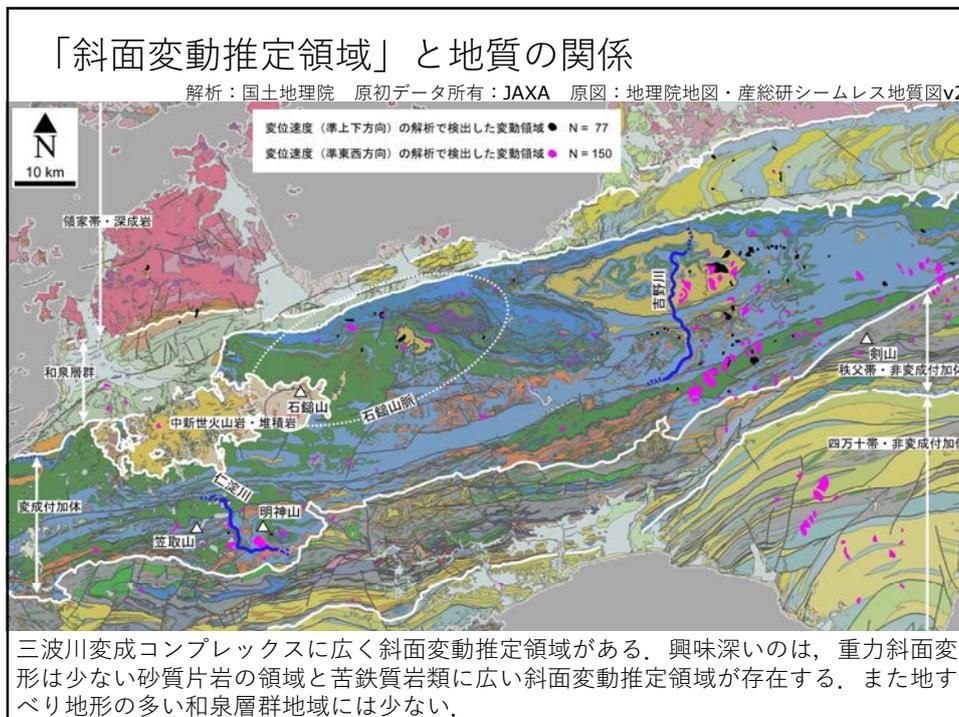
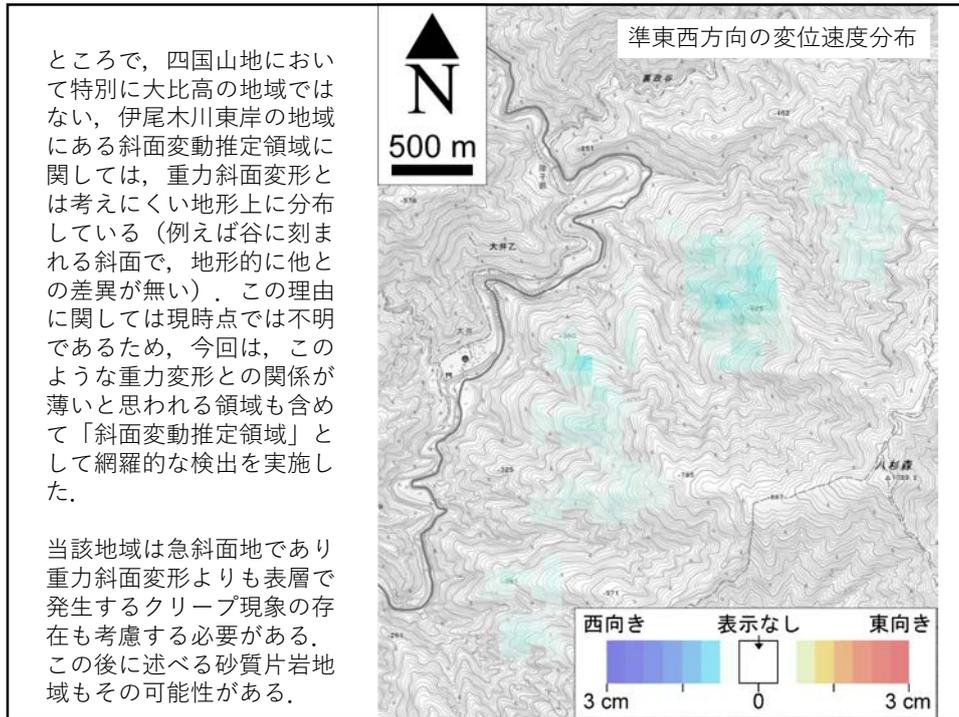
※スケール以上の変動は一律に青/赤で表示されます



※スケール以上の変動は一律に青/赤で表示されます

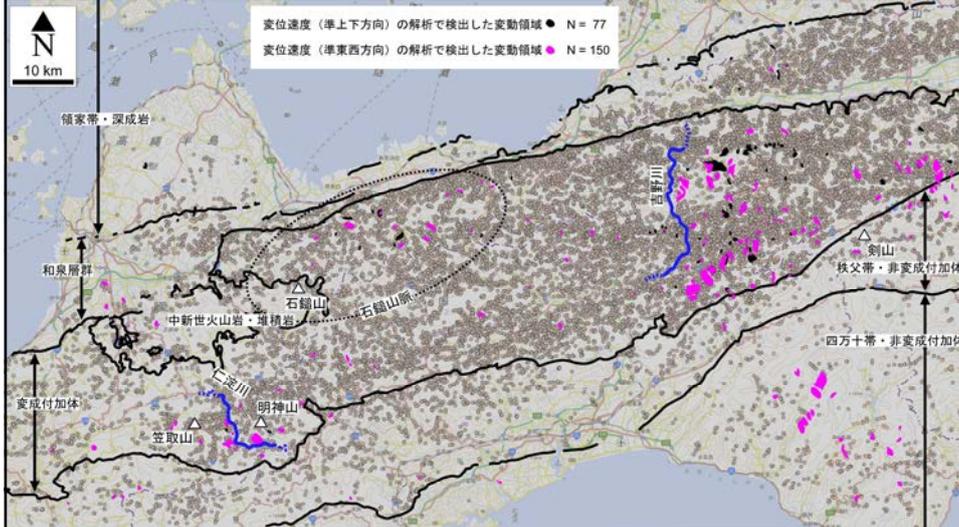






「斜面変動推定領域」と地すべり地形分布との関係

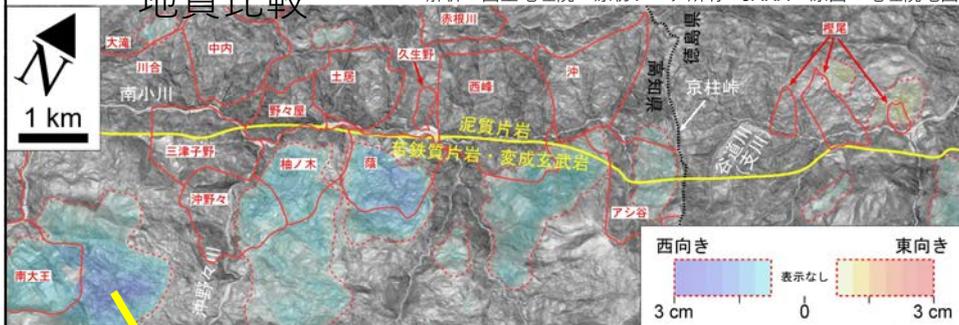
解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA 原図：地理院地図・防災科研地すべり地形分布図



地すべり地形分布との重ね合わせでは、やはり三波川変成コンプレックス地域に斜面変動推定領域が多い。和泉層群に斜面変動推定領域が少ないことに関しては、地すべり防止区域が三波川側と比べて少ないという事実とも一致している。

地質比較

解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA 原図：地理院地図



変位領域は泥質片岩地と比較すると御荷鉾ユニット・苦鉄質岩分布地に多く分布する。同地域の地すべり変動は比較的活発である上に、緩斜面で発生していることにも変位が検出されやすい理由があるように思われる。

なお、高知県・徳島県の地すべり指定地との重ね合わせでは、檜尾など対策がされた指定地では変位が小さくなっているが、周辺には変位が認められる。

今後の研究の可能性

高知県・仁淀川町椿山地域，そしてその南方にある明確な重力斜面変形は同じく東方向に向いている。椿山では変位が確認できるが，その南方は確認できない。これは重力変形の初期であるために，非常に速度が小さいものと思われる。事前にこのような場所をピックアップしておき，継続的に観察を行えば，それがどのようなタイミングで加速するかどうかを確認できると思われる。



解析：国土地理院 原初データ所有：JAXA 原図：地理院地図

本日の話題（再度）

1. 地すべり・深層崩壊と地質構造の関係
2. 断層変形と風化がもたらした深層崩壊の多発
3. 衛星SARによる四国山地の活動的斜面変動の分布

おわり