

地下水が関与した崩壊に関する研究

鹿児島大学 地頭 藺 隆

深い地下水が関与した崩壊の事例

- 1977年6月24日鹿児島市竜ヶ水
- 1997年7月10日鹿児島県出水市針原
- 2010年7月4日～8日鹿児島県南大隅町根占山本
- 2015年6月～9月鹿児島県垂水市深港
- 2017年7月6日大分県日田市小野
- 2018年4月11日大分県中津市耶馬溪町金吉

深い地下水が関与した崩壊の予測に関する研究

- 渓流水から危険箇所抽出（場所の予測）
- 湧水を指標にした警戒避難対応（時間の予測）

1997年鹿児島県出水市で発生した深層崩壊



1997年7月10日発生

総雨量401mm

風化安山岩, 凝灰角礫岩

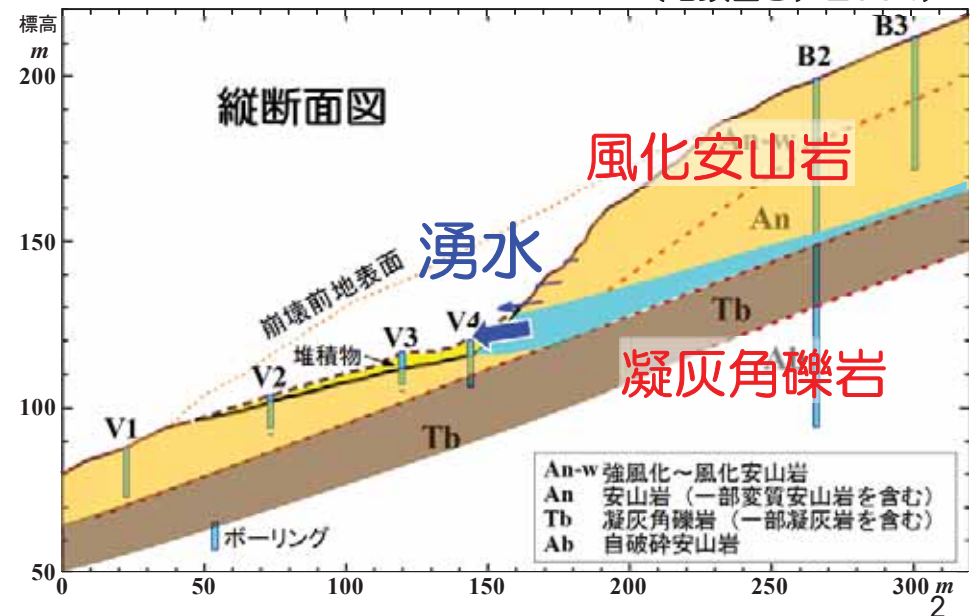
崩壊幅80m, 長さ190m, 最大深30m

崩壊土砂量13万 m^3

死者21人

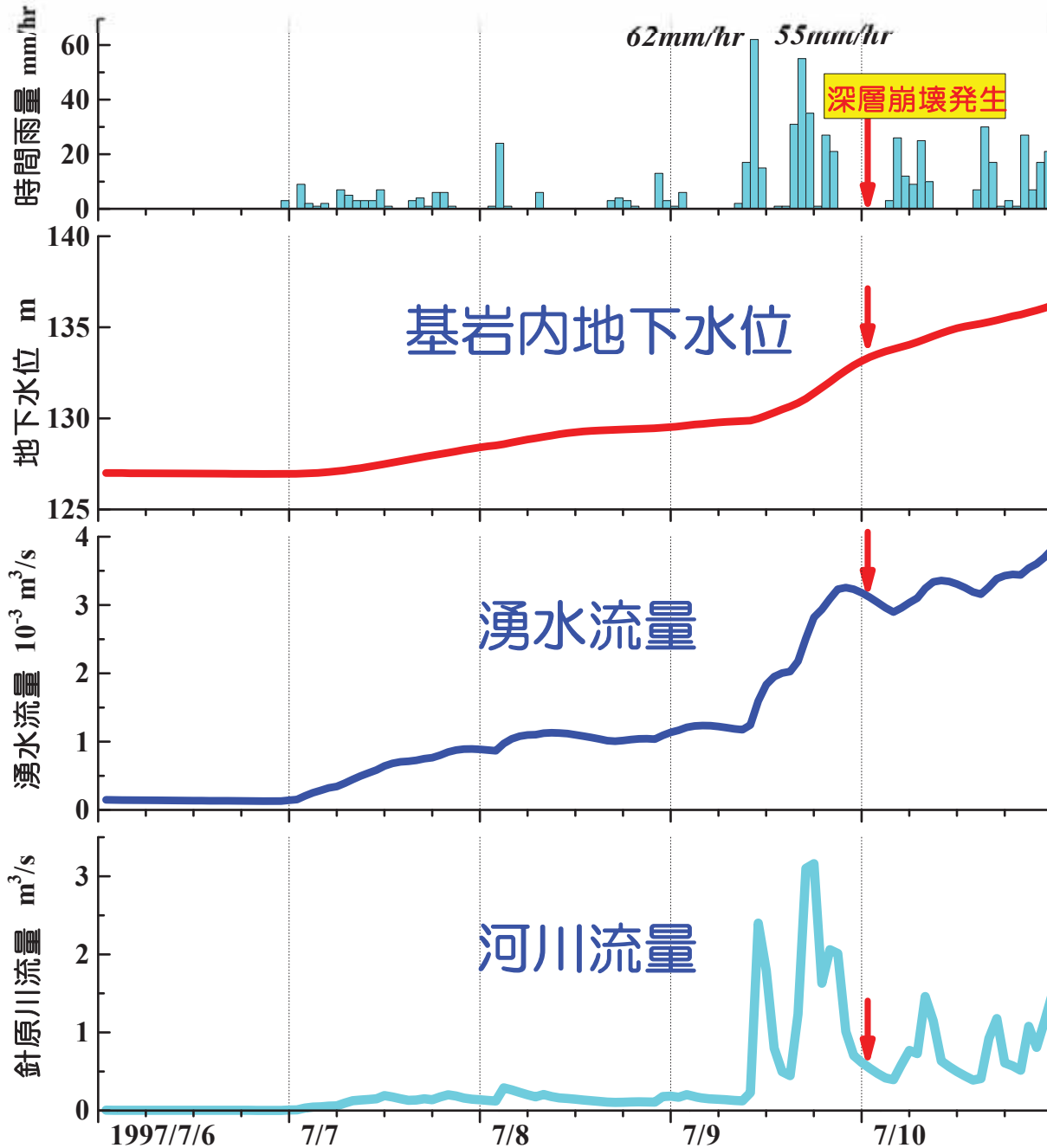
透水層と難透水層の境界で発生

(地頭蘭ら, 2004)



1997年崩壊時の地下水位，湧水流量，河川流量の再現

(地頭蘭ら，2004)

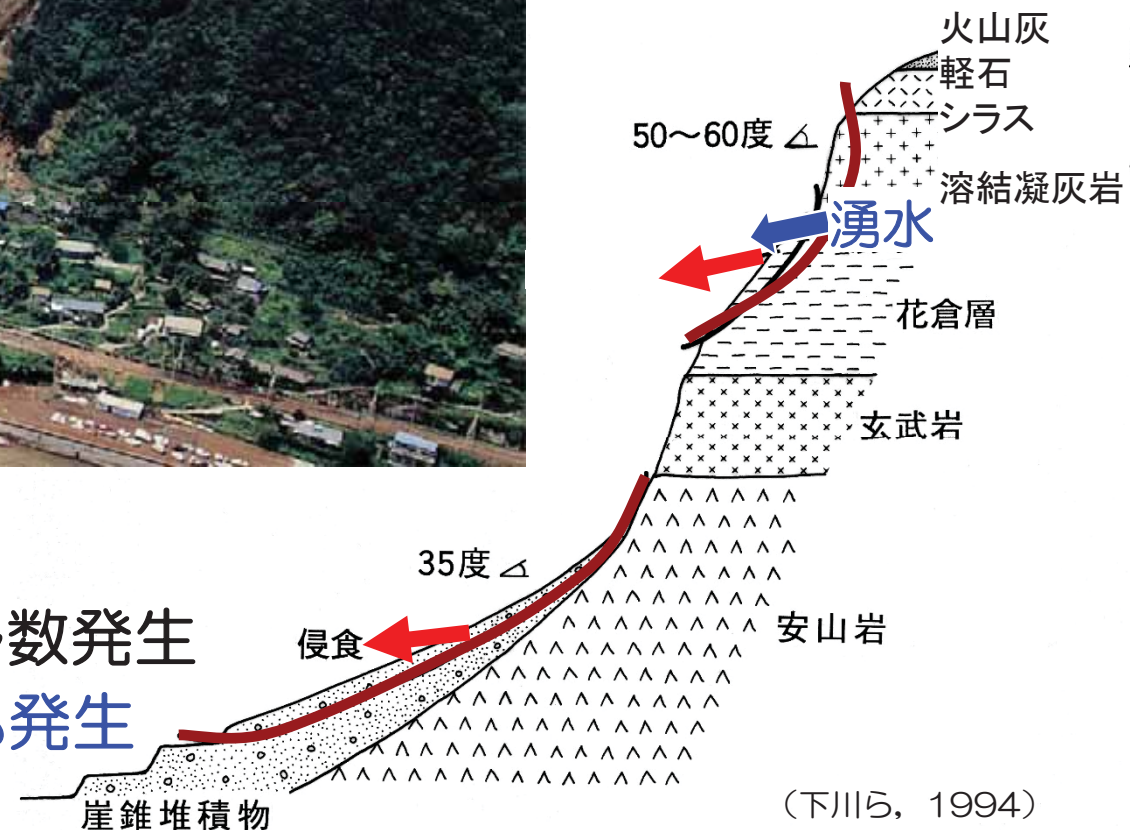


- 1997年7月10日出水市針原の深層崩壊発生時の基岩内地下水位，湧水流量，河川流量を再現

- 崩壊発生は，
降雨ピークから8時間後
降雨終了から4時間後

- 崩壊発生時，河川流量は減少していたが，山腹の基岩内地下水位は上昇中，湧水流量は多い状態

始良カルデラ 壁の崩壊

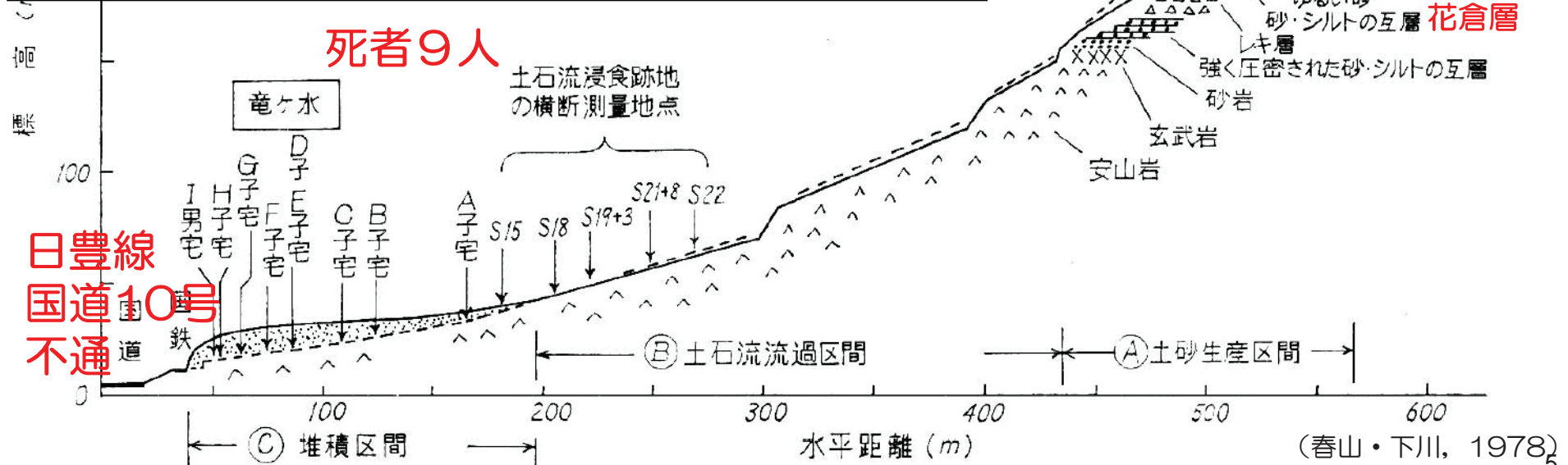
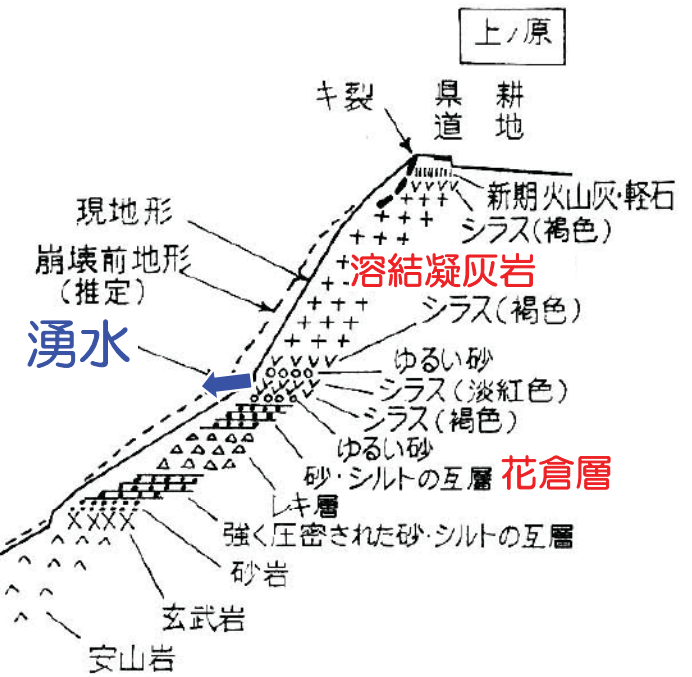
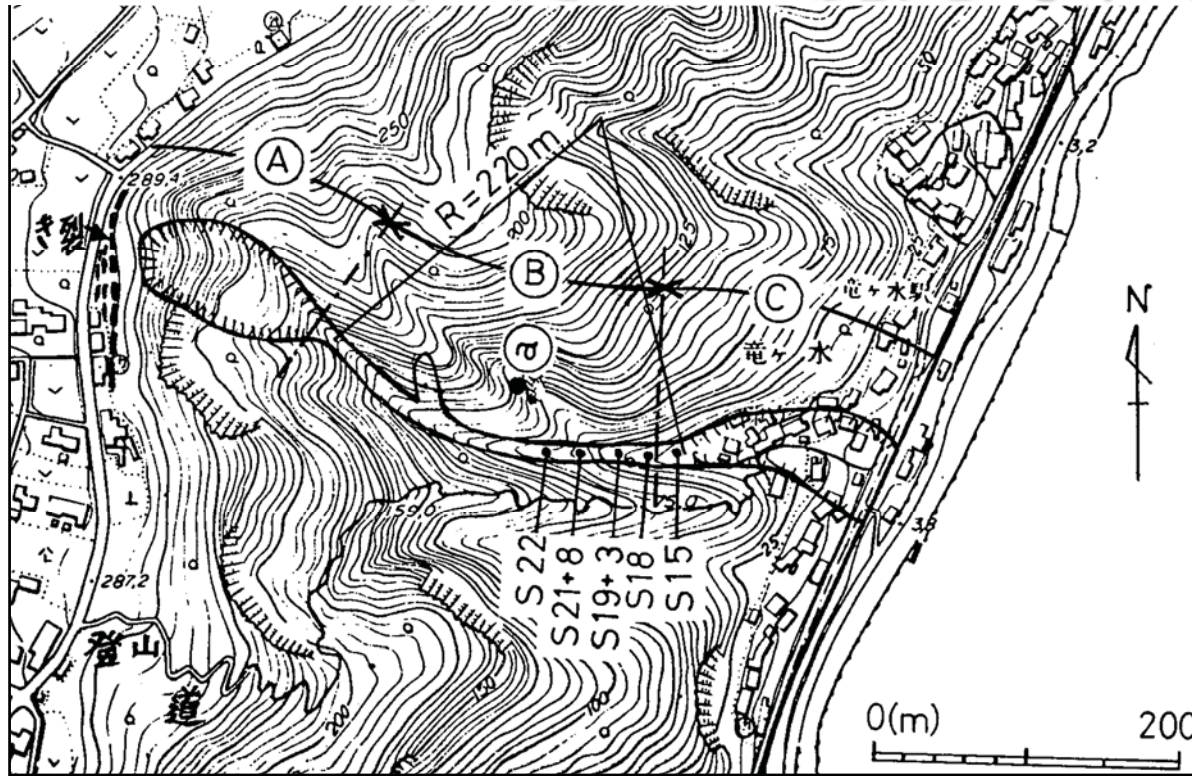


- 地質の構成が複雑
- 1993年豪雨で崩壊が多数発生
- 地下水が関与した崩壊も発生

1977年6月24日鹿児島市竜ヶ水土石流災害

降雨：時間雨量 9mm
 日雨量 34mm
 累加雨量 695mm
 (5/1~6/24)

崩壊土砂量：16,000m³



死者9人

2015年垂水市深港川の 土石流災害

崩壊

土石流

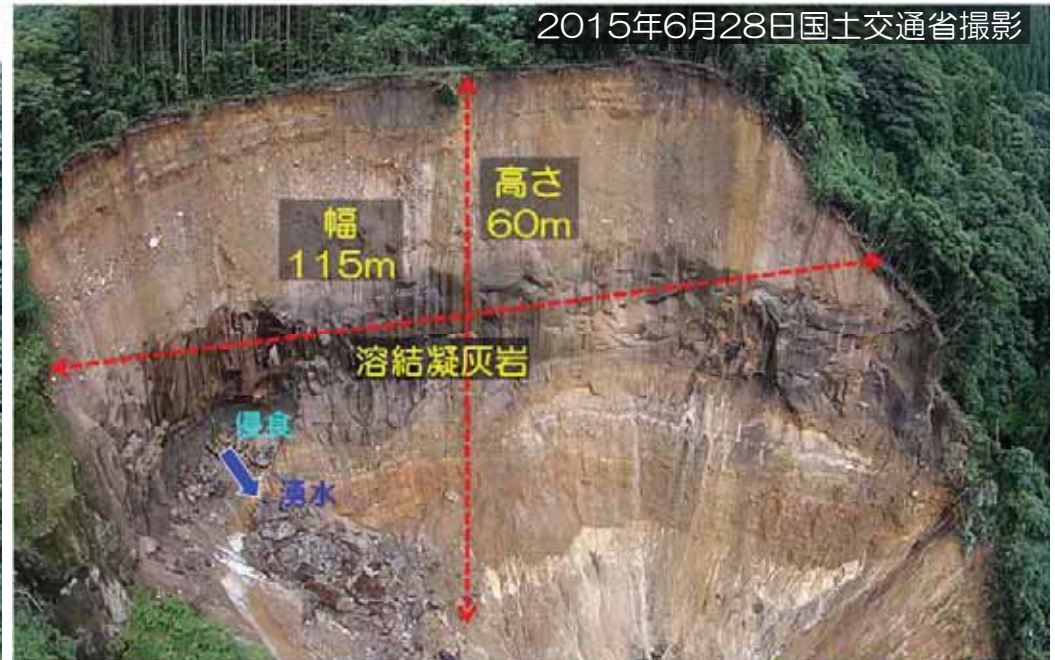


- 地下水が関与した崩壊が繰り返し発生
6月24日, 7月5日, 7月28日, 9月1日
- 崩壊土砂は土石流となって流下

2015年7月5日国土交通省撮影

2015年垂水市深港川の崩壊

2015年6月28日国土交通省撮影



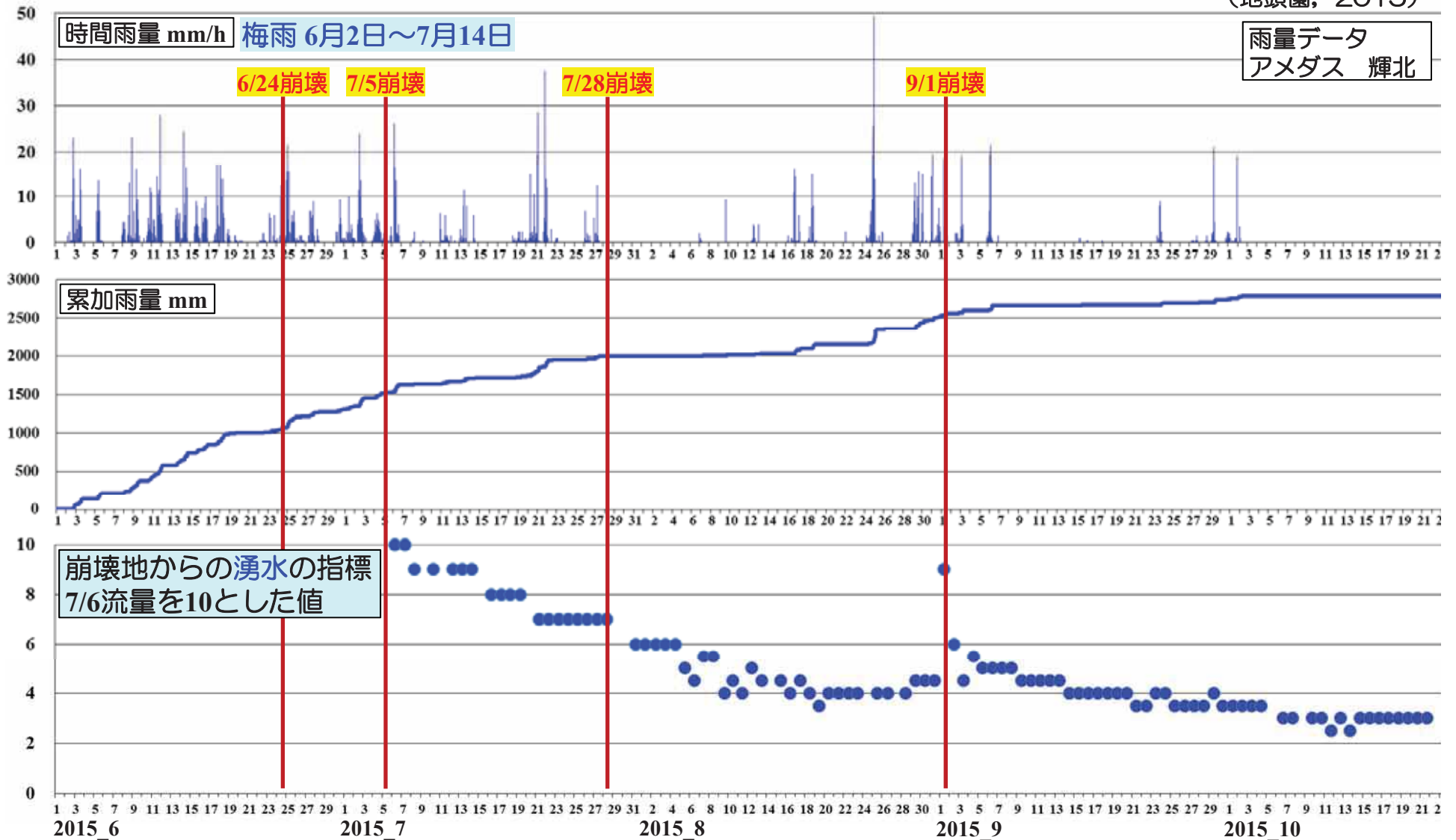
- 地下水が関与した崩壊が繰り返し発生
崩壊土砂は土石流となって流下
- 溶結凝灰岩は節理が発達し、透水性大
その下部が湧水で侵食され、上部崩落
- 1回の崩壊土砂量は、数千～2万 m^3
- 雨が止んでから崩壊発生



崩壊発生時の雨量と湧水量の変化

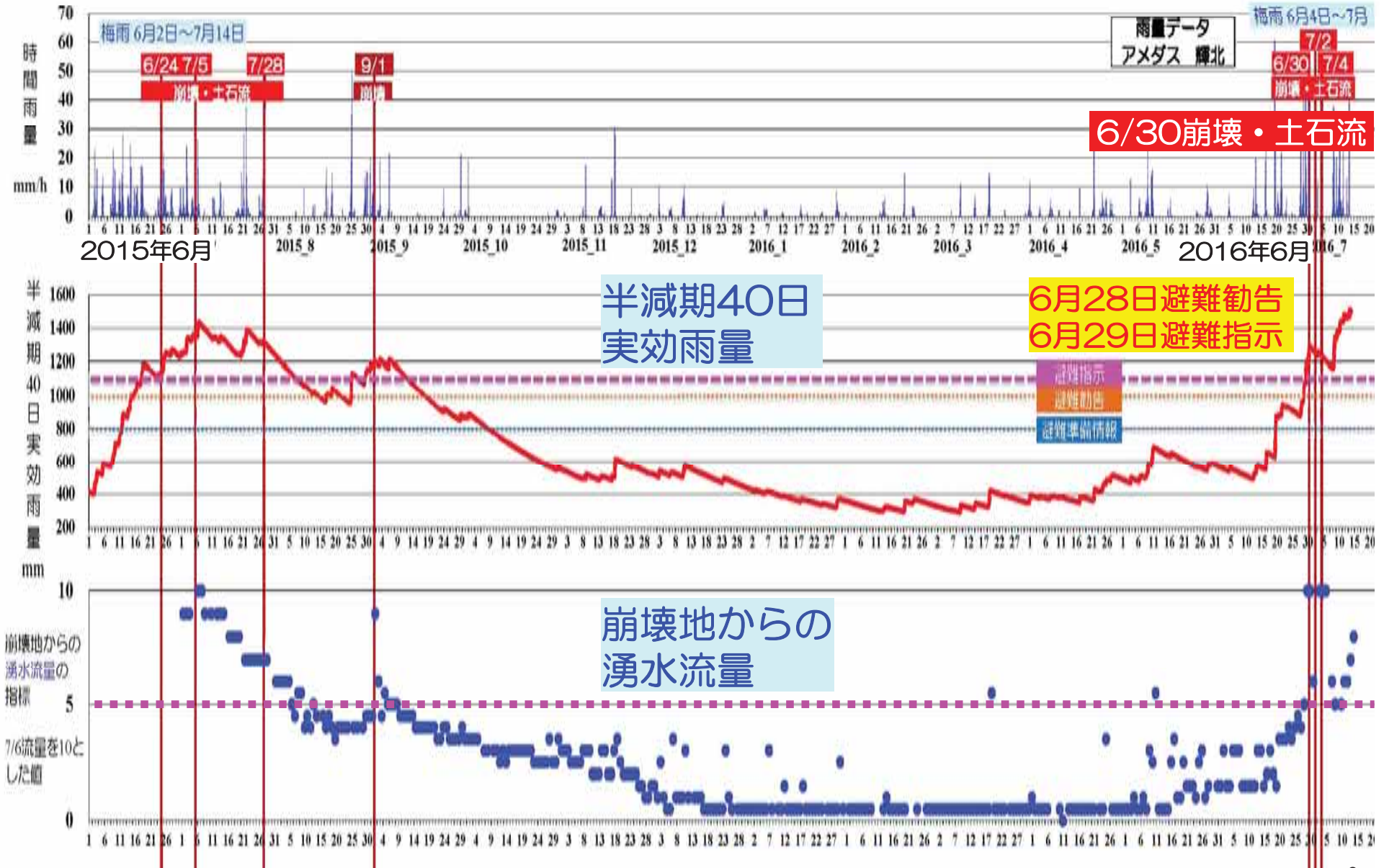
- 雨がほとんど降っていない時に崩壊が繰り返し発生
- 崩壊地からの湧水量の減少は緩やか

(地頭藪, 2015)



地下水を活用した土砂災害発生の際の警戒避難対応 (垂水市深港地区)

(地頭園ら, 2016)



2017年7月6日大分県日田市小野の大規模崩壊

平成29年7月九州北部豪雨

崩壊斜面長 約370m
最大幅 約300m

斜面地質は火山岩類
地すべり地形を呈する
斜面で崩壊発生
崖錐堆積物の再移動

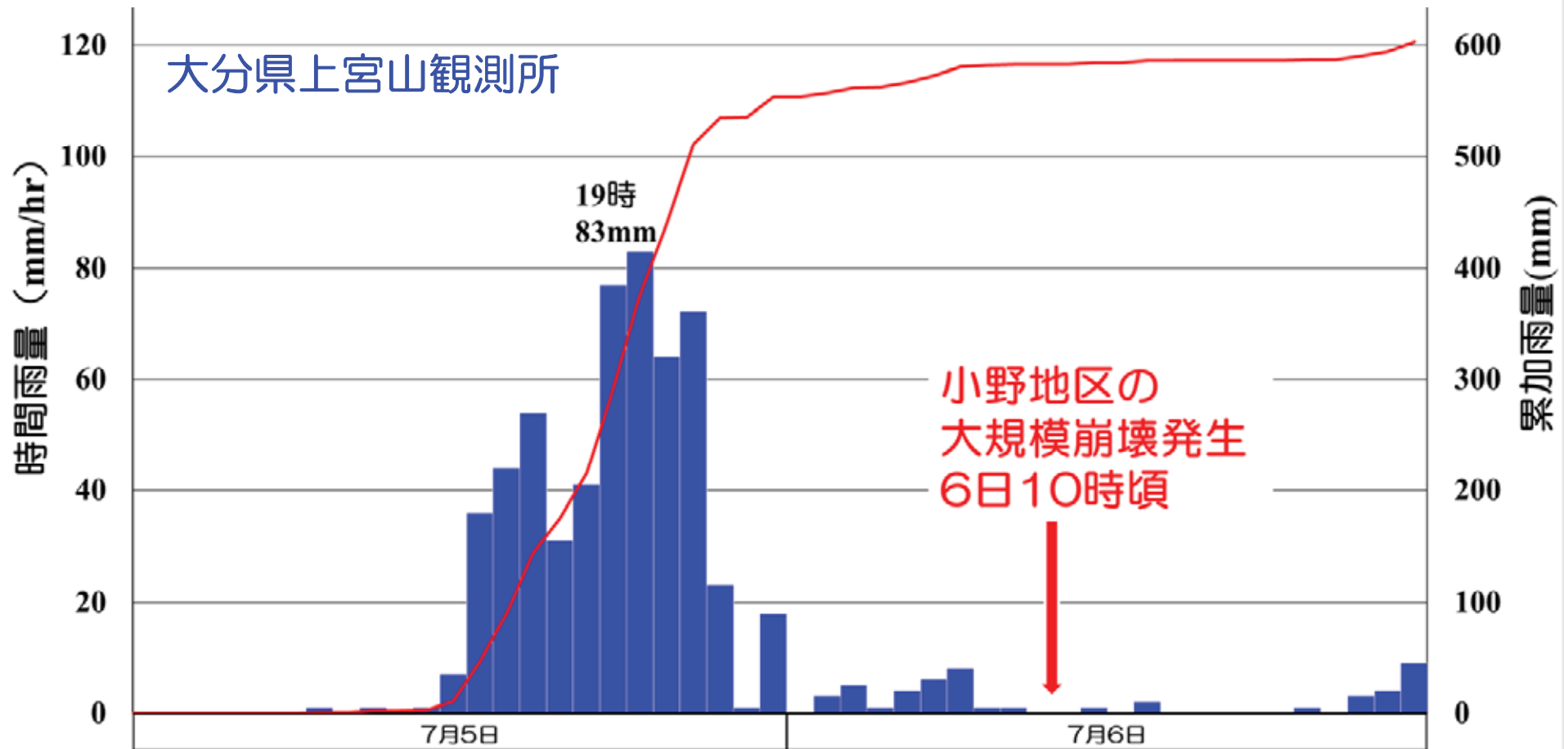
湛水

崩壊土砂

小野川

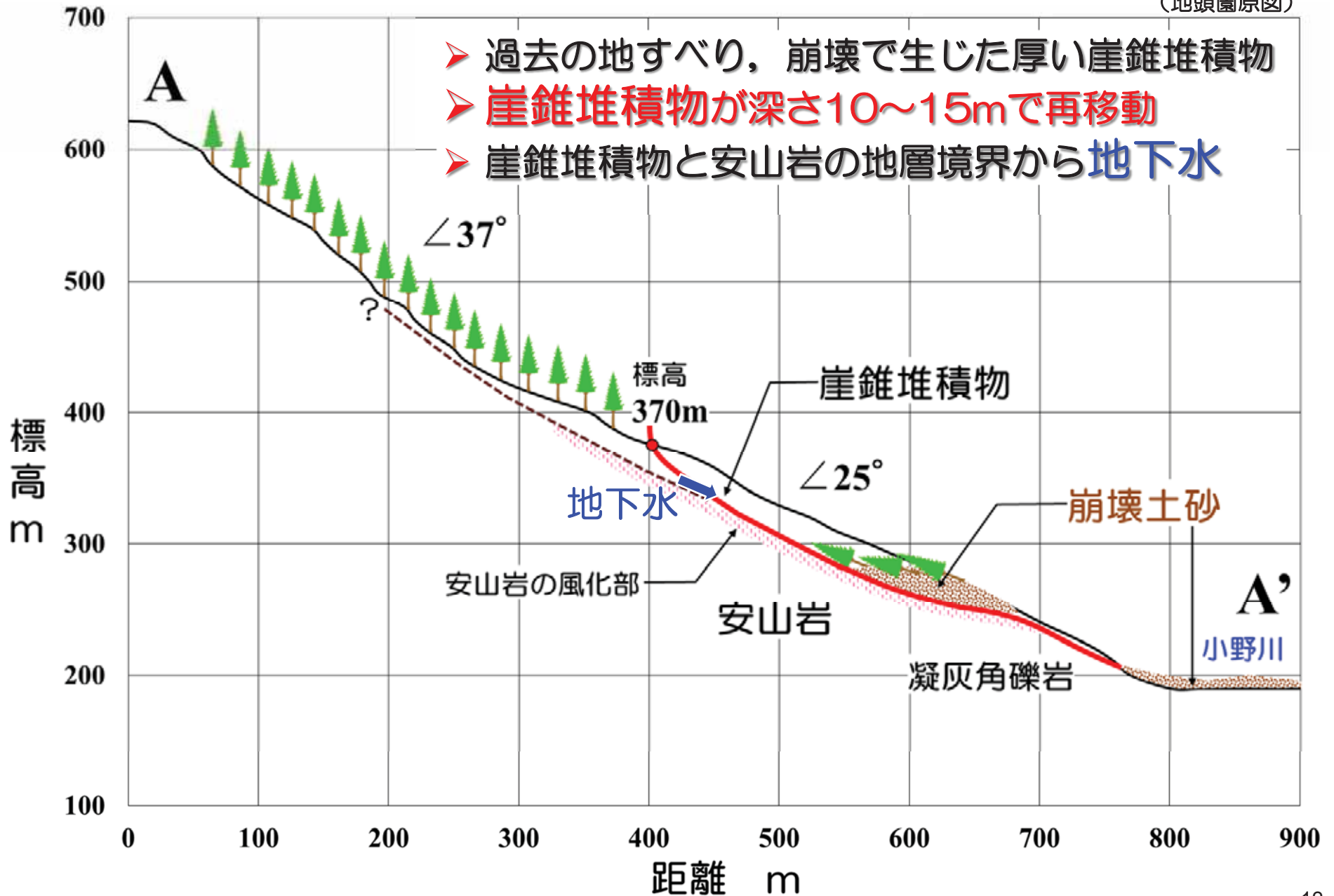
2017年日田市小野の大規模崩壊発生時の雨量

- 7月5日昼頃から雨が降り始め、19時に最大時間雨量83mm
- 6日10時までの総雨量は583mm
- 大規模崩壊は、降雨ピークから12時間以上経過して発生



2017年日田市小野の大規模崩壊の模式図

(地頭菌原図)



地下水が関与した大規模崩壊による 土砂災害の予測手法の開発

(地頭菌原図)

水文調査

どこが危ないか？

- 地下水の集中箇所，湧水を探して危険斜面の抽出

いつ危ないか？

- 湧水を指標にした警戒避難対応

地形地質調査

従来からの調査

- 大規模崩壊発生の前兆現象
- 微地形，地質構造など

地下水が関与した大規模崩壊の
発生リスクの高い地域

- 大規模崩壊の土砂災害警戒区域
- 大規模崩壊の警戒避難システム

渓流水・湧水を活用した崩壊発生の予測

(地頭菌原図)

① 危険渓流の抽出 〈流域レベルの評価〉

渓流水の流量と電気伝導度（EC）の測定

⇒ 渓流水ECが高くて比流量が多い流域の抽出



地形的流域界を越えた地下水流入

⇒ 深い地下水が関与する崩壊の恐れのある流域



② 危険斜面の抽出 〈斜面レベルの評価〉

①で抽出された流域内で湧水の分布調査



湧水流量が多い斜面の背後には地下水集中

⇒ 深い地下水が関与する崩壊の恐れがある斜面



③ 警戒避難対応 〈湧水センサーによる評価〉

崩壊の恐れのある斜面において湧水観測

⇒ 湧水を指標とした警戒避難対応

渓流水の流量と電気伝導度の測定



流積測定



電気伝導度測定

EC計

タブレットPC・EC計・GPSを一体化した装置



流速測定

岩盤

流速計

センサー情報はBluetoothでタブレットPCへ転送

位置番号	20
測定日	2014/03/16 11:49
緯度	31° 47' 7.51"
経度	131° 16' 8.17"
標高	0
EC	723
pH	7.15
水温	7.8
気温	13.5
備考	

測定開始

測定

一覧表

修正

本川

左支川

右支川

その他

左湧水

右湧水

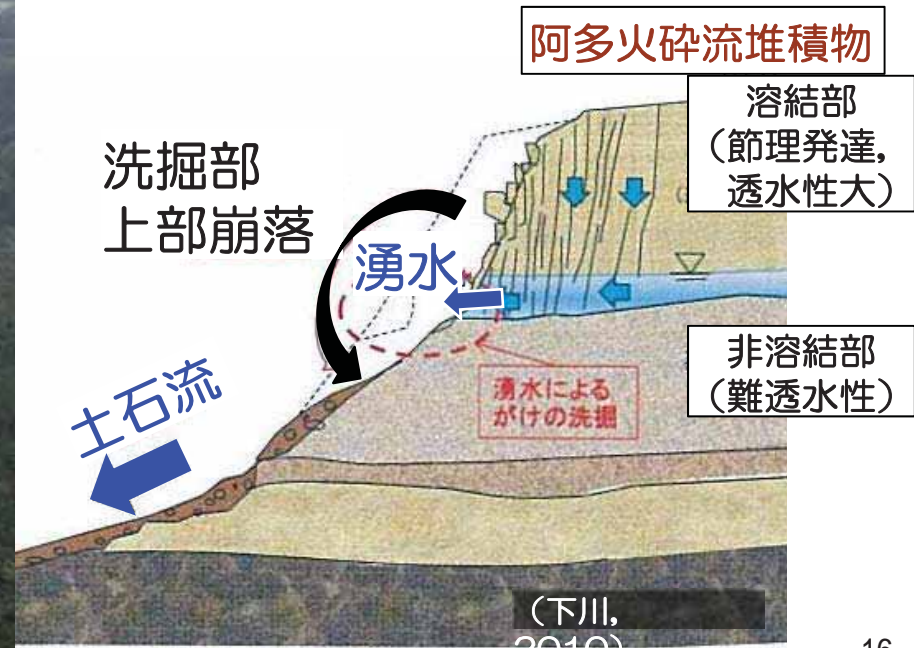
測定開始

データ保存

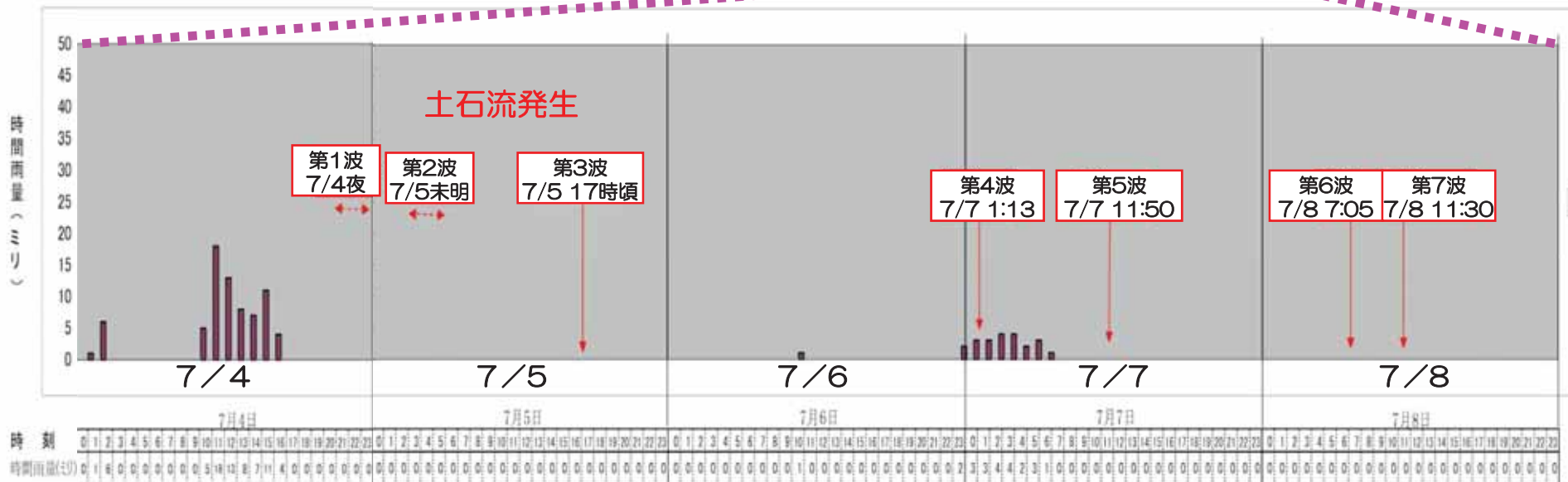
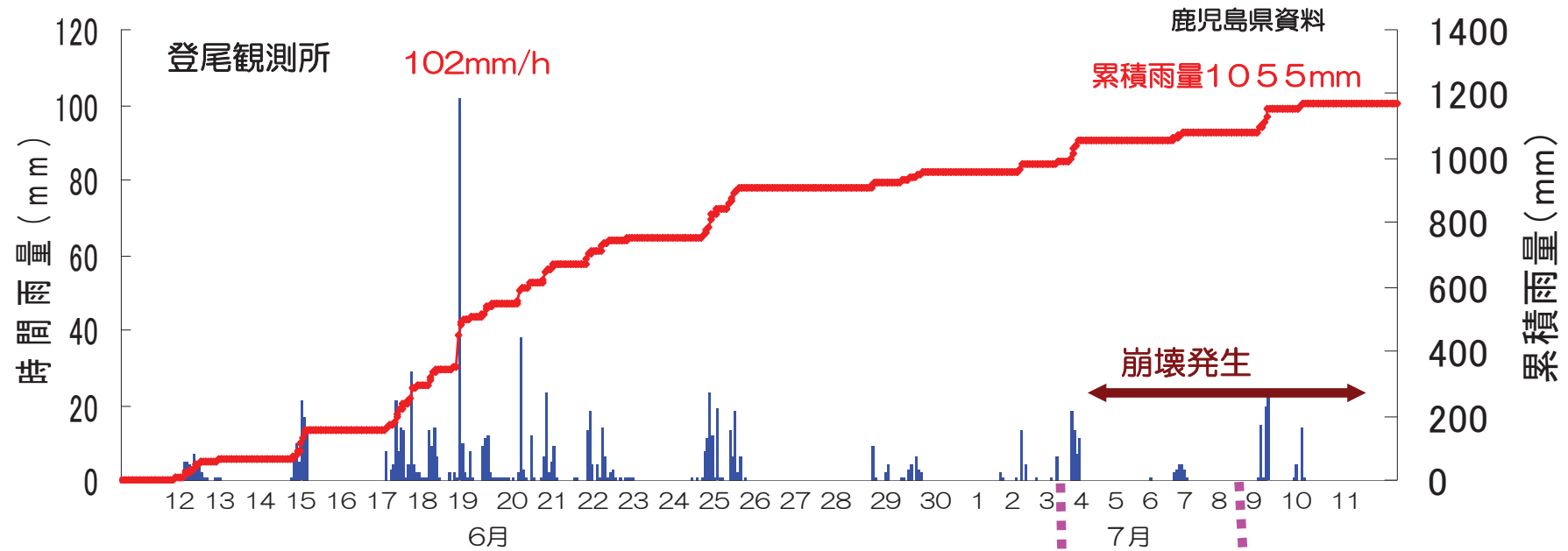
タブレットPC画面

2010年鹿児島県南大隅町で発生した深層崩壊

- ✓ 崩壊斜面は、亀裂の多い溶結凝灰岩層と非溶結凝灰岩層
- ✓ 地層境界から多量の湧水
- ✓ 湧水付近が侵食され、上部の溶結凝灰岩層が崩壊
- ✓ 無降雨時に崩壊、先行雨量1055mm
- ✓ 土砂量8千~3万m³の崩壊が繰り返し発生



2010年南大隅町の崩壊発生時の降雨状況



南大隅町の火砕流台地周縁における水文調査

(地頭菌ら, 2016)



火砕流台地

花崗岩山地

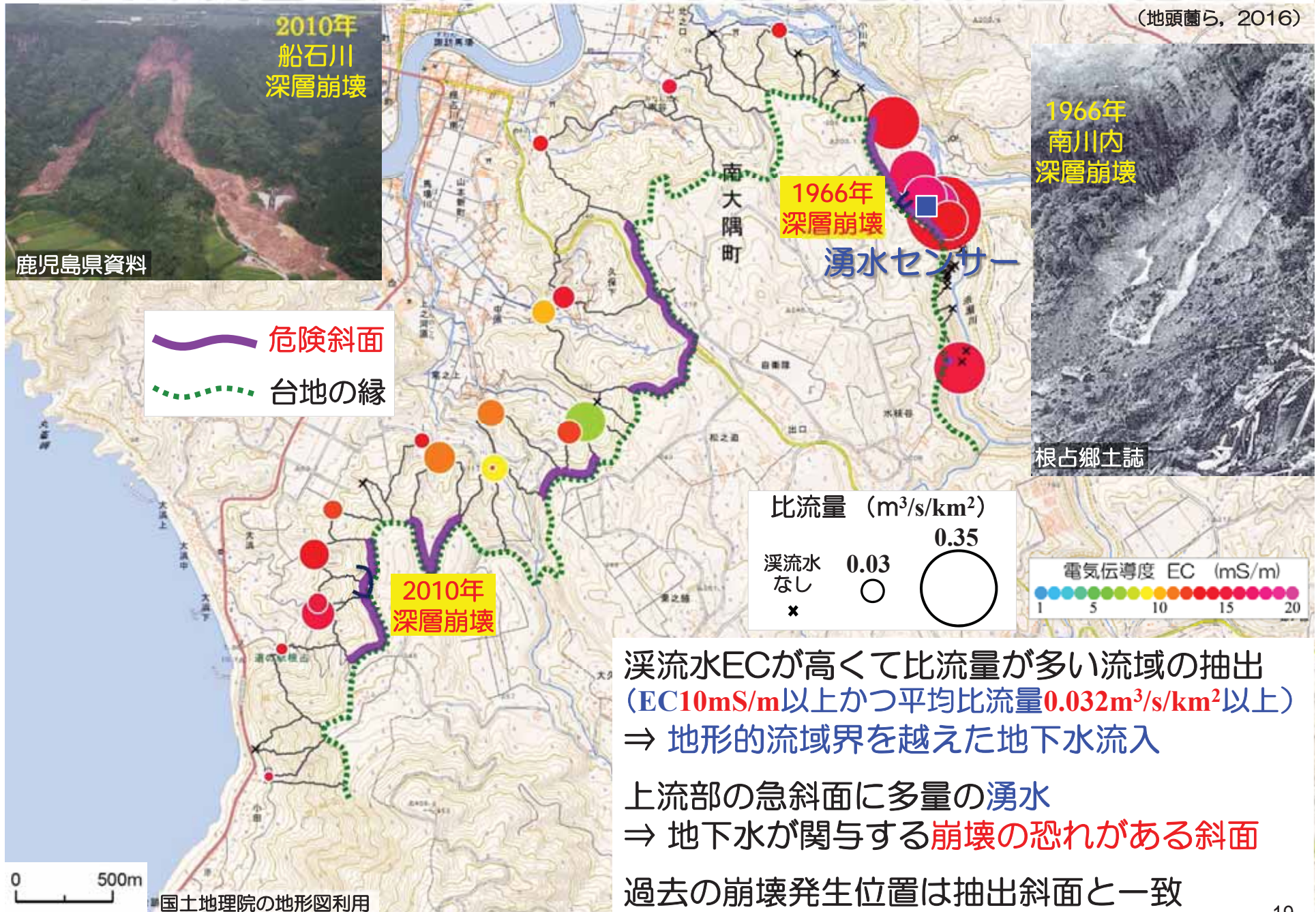
- 台地の縁
- 渓流水測定点

国土地理院の地形図利用

0 500m

火砕流台地周縁における崩壊危険斜面の抽出

(地頭菑ら, 2016)



湧水センサーの設置状況

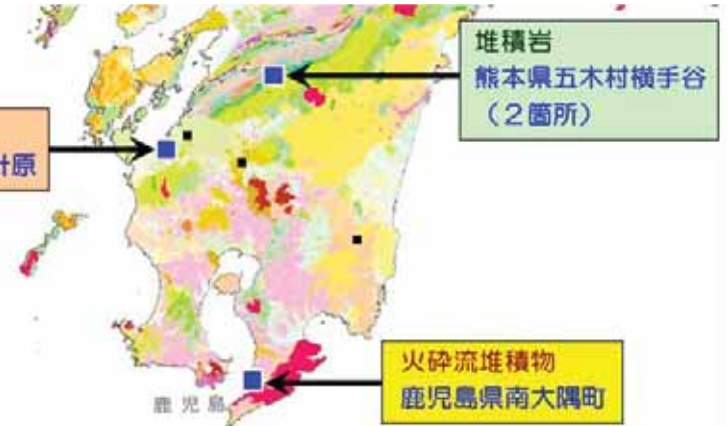


スマートフォンで
リアルタイム監視

湧水センサーのWeb画面

火山岩
鹿児島県出水市針原

堆積岩
熊本県五木村横手谷
(2箇所)



火砕流堆積物
鹿児島県南大隅町

(地頭菌ら, 2014)



湧水センサーによる深層崩壊の警戒対応

(地頭菌ら, 2014)

①湧水が増加中

⇒地下水位が上昇中

⇒**崩壊の危険性が増加中**

②湧水が多いまま頭打ち

⇒排水能力を超えた地下水集中

⇒地下水位が上昇

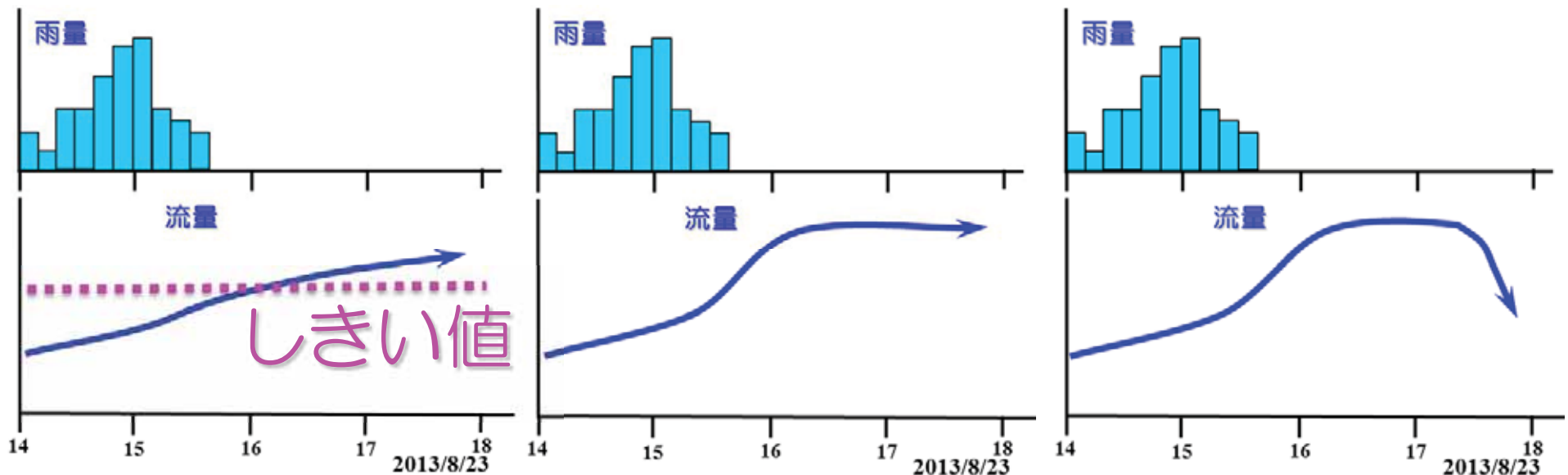
崩壊の危険性が増加中

③湧水が急激に減少

⇒地下水排水システムが破壊

⇒地下水位が急上昇

崩壊の恐れ



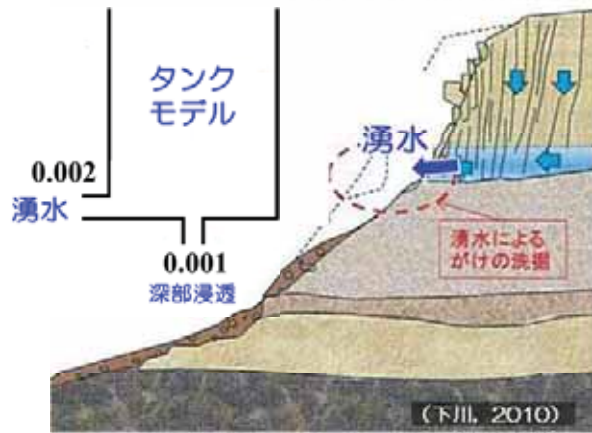
深層崩壊は雨が止んでから起こる場合もある

⇒ **降雨終了後も警戒が必要**

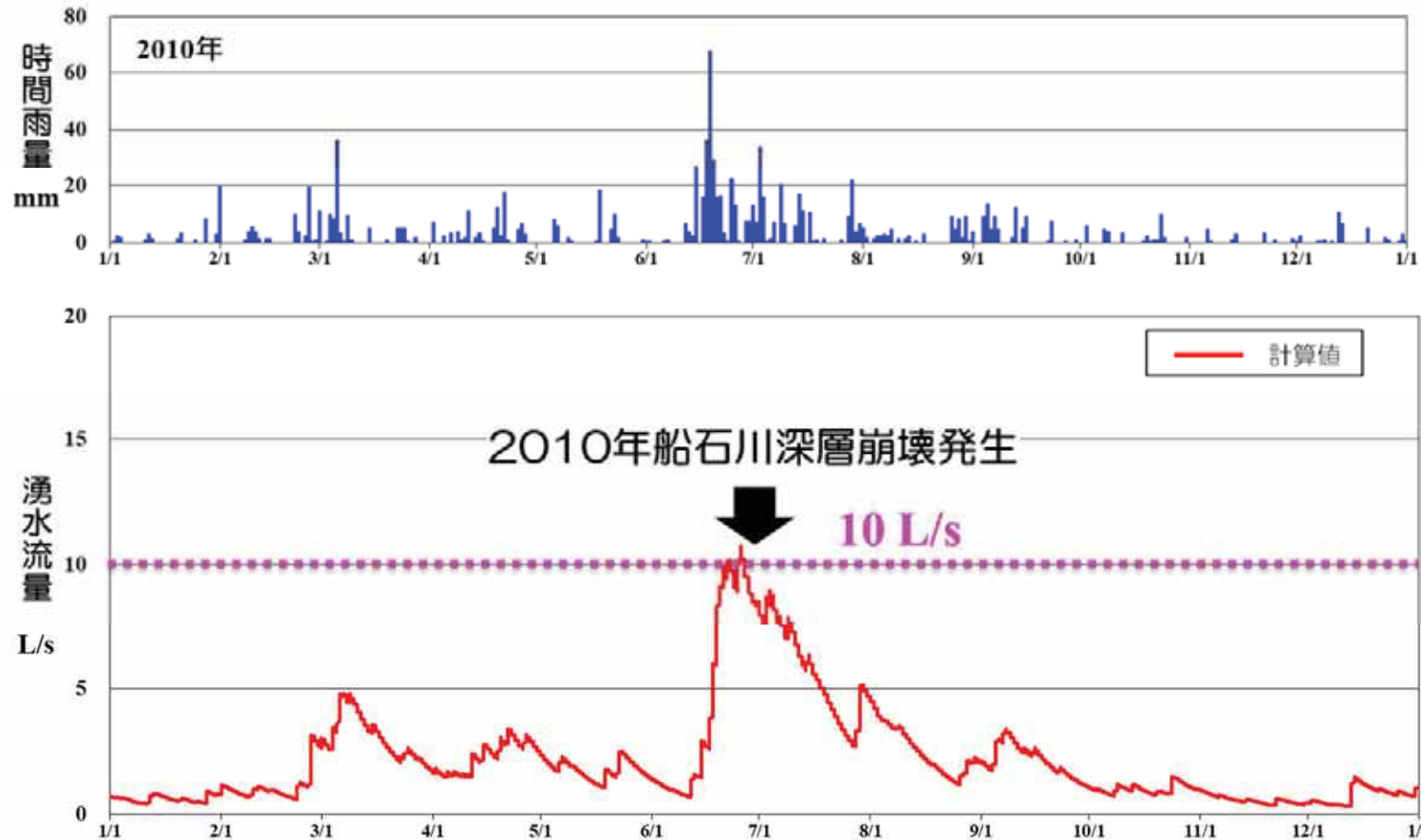
いつまで警戒するか？

深層崩壊発生の際避難基準の策定

(地頭藪原図)

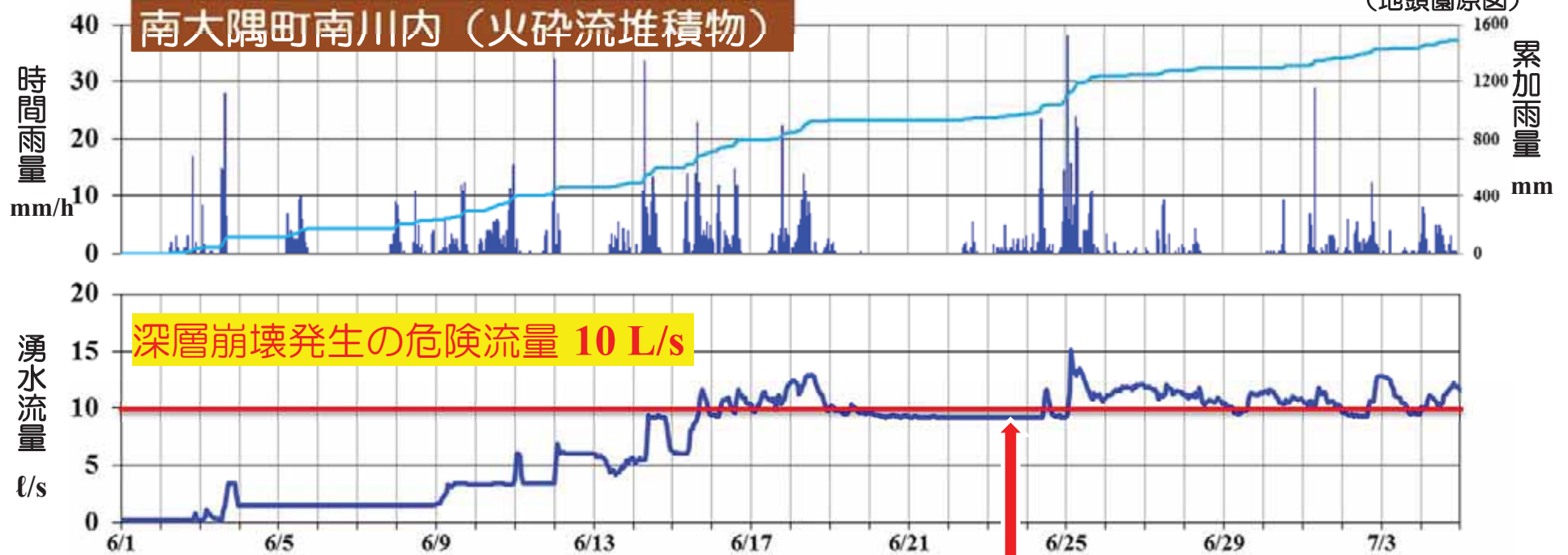


- 湧水センサーのデータから降雨と地下水流出の応答にタンクモデルを適用
- 2010年船石川深層崩壊発生時の湧水流量を算出 10 L/s
- 既往の深層崩壊発生雨量から湧水流量を求めて、警戒避難基準を策定



2015年梅雨期の湧水センサーの観測結果

(地頭菌原図)



- 6月2日に梅雨に入り、大雨が続いて、湧水流量が上昇した。
- 雨が止んでも、湧水流量は多い状態が続いたため、**南大隅町**は警戒対応を継続した。

6月23日撮影
雨が止んでも多量の
地下水流出が続いた



2018年4月11日大分県中津市 耶馬溪町で発生した大規模崩壊

降雨がないときに発生，死者6人



耶馬溪町の崩壊斜面の地形・地質

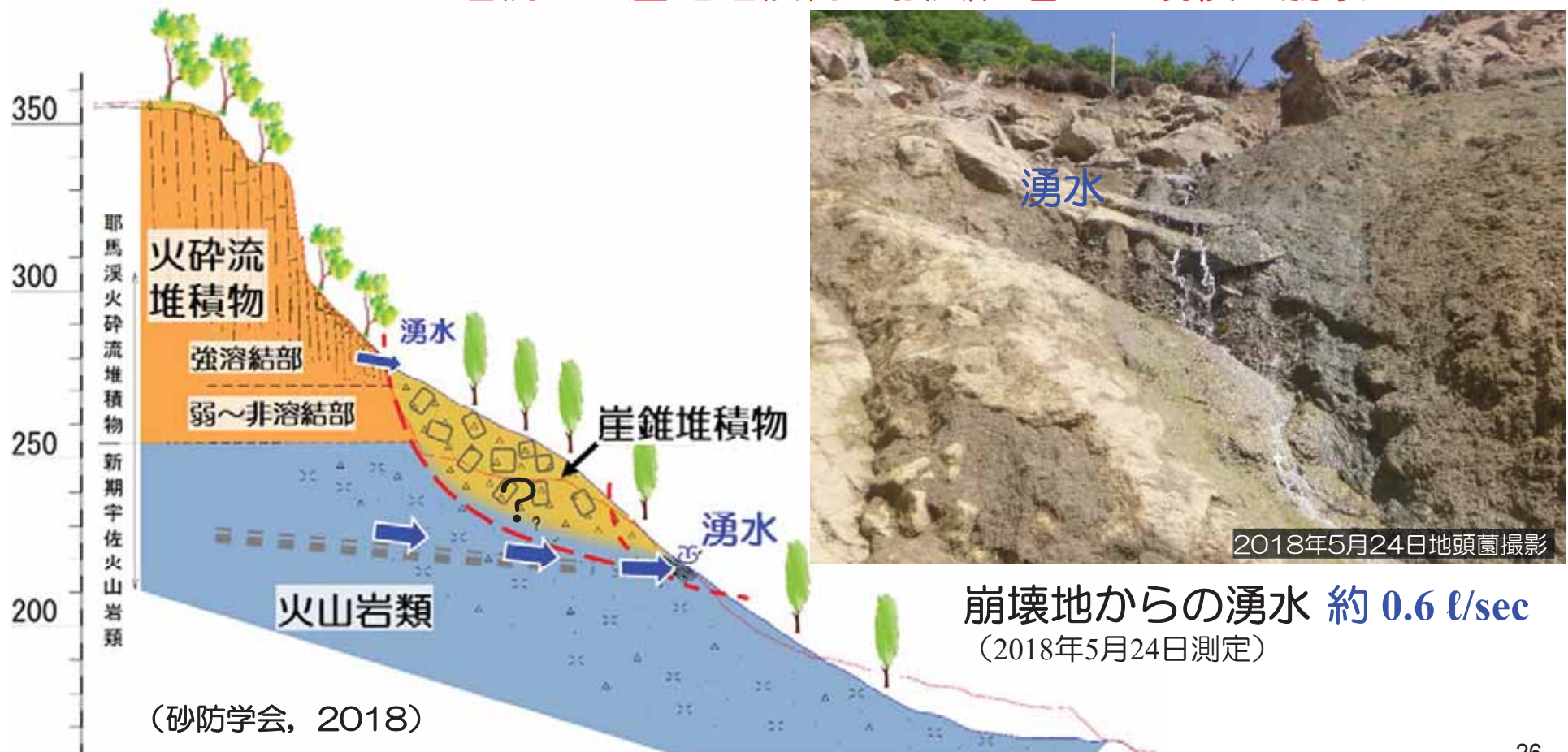
崩壊斜面は、最上部の溶結凝灰岩急崖で繰り返された崩壊・落石により崖錐が発達していた。特に、急崖直下のやや勾配の緩い斜面には溶結凝灰岩の巨石を含んだ崖錐が厚く発達していたことが隣接斜面から推定される。



(砂防学会, 2018)

耶馬溪町の大規模崩壊の発生機構

- 崩壊地内の標高220m付近から地下水湧出
湧水付近の地層は**風化**，**粘土化**
- 湧水出口付近の地下水排水システムの破壊により地下圧が徐々に上昇，あるいは，湧水出口付近で長年の侵食
⇒ 湧水付近で小規模な崩壊
⇒ 連続して崖錐堆積物と強風化層が大規模に崩壊



耶馬溪町の火砕流 台地周縁に小流域 設定

(地頭藪ら原図)



中津市耶馬溪町
2018年4月11日
大規模崩壊発生

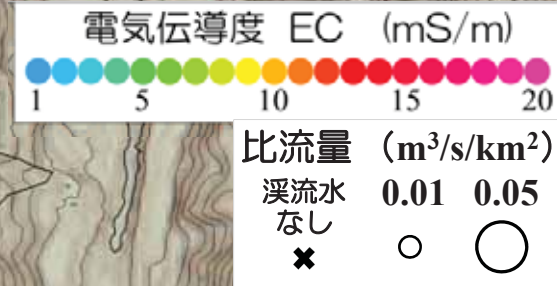
小流域（緑色）下流端で渓流水の
流量と電気伝導度（EC）を測定
数字は流域面積（km²）



耶馬溪町の火砕流台地周縁の 渓流水・湧水EC

(地頭菌ら原図)

国土地理院の5mメッシュ標高データを用いてCS立体図(戸田, 2012)を作成



- 崩壊地内の標高220m付近から地下水湧出
- 湧水流量は 0.55 L/sec (2018年5月24日測定)
- 湧水測定点における地形的流域面積 0.007km²であり、比流量は 0.079m³/s/km²
- 南九州火砕流台地の平均比流量 0.032m³/s/km²の2.5倍
- 崩壊斜面には水文的集水域に規制された広範囲の地下水が集中

火砕流台地に発達した谷

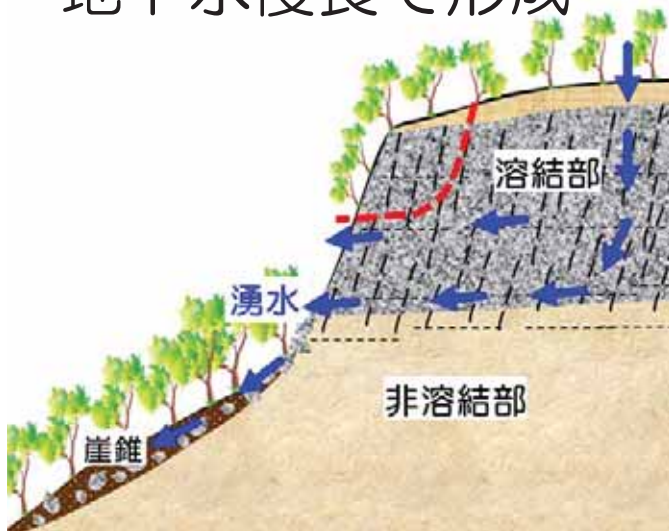
(地頭菌ら原図)



- ①火砕流堆積直後の浸透能が低い時期に
地表流で形成された谷
- ②浸透能回復後，地下水によって形成された谷



凹地形は
地下水侵食で形成



火砕流台地周縁の湧水と微地形

(地頭藪ら原図)

台地上端の凹地形

- 地下水による侵食や崩落で形成

航空レーザー測量1mDEM（国交省大隅河川国道事務所）により作成したCS立体図

崖錐斜面のガリ

- 湧水点から発達
- 湧水の侵食で形成

1966年
深層崩壊

ガリ

崖錐

凹地形

凹地形やガリの微地形判読
地下水集中箇所を抽出できるか？

湧水

0 30m
30