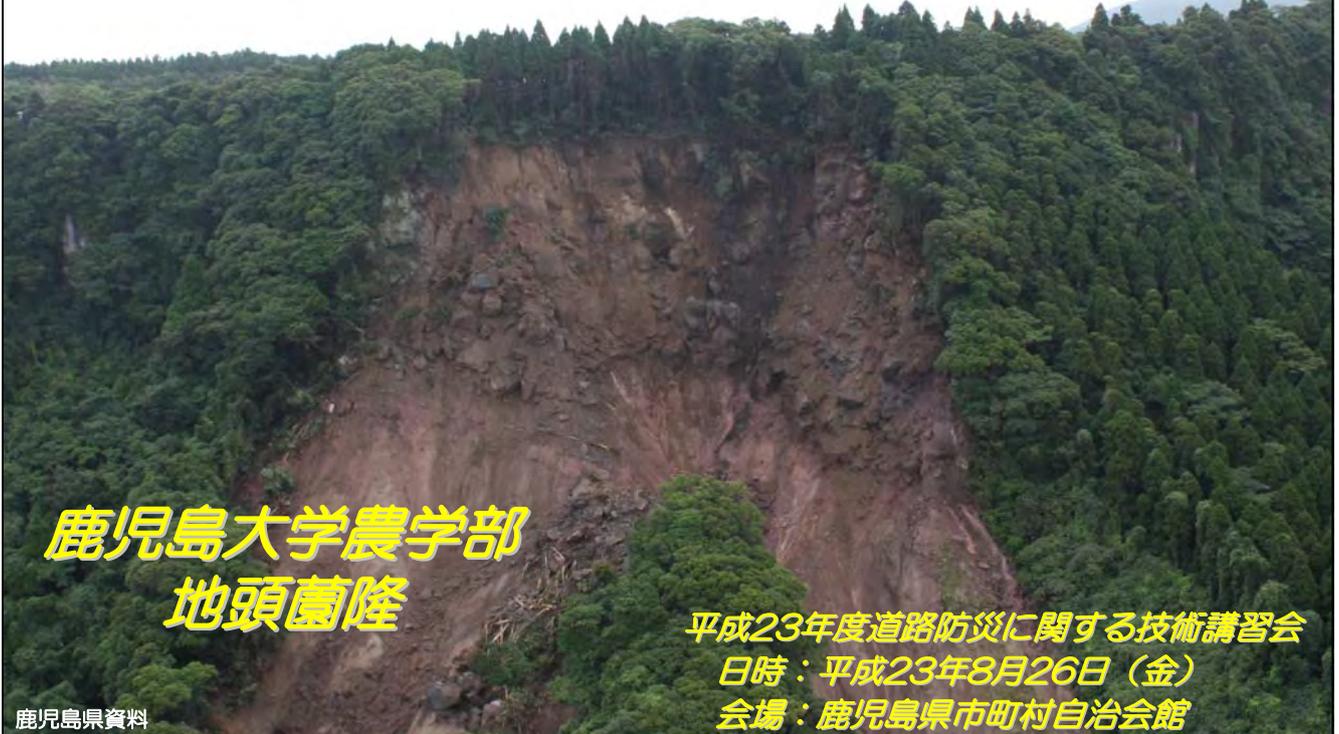


『鹿児島県で発生した土砂災害と崩壊発生予測の研究』

鹿児島大学 農学部

准教授 地頭菌 隆

鹿児島県で発生した土砂災害と 崩壊発生予測の研究



鹿児島大学農学部
地頭 藺隆

平成23年度道路防災に関する技術講習会
日時：平成23年8月26日（金）
会場：鹿児島県市町村自治会館

鹿児島県で発生した土砂災害と 崩壊発生予測の研究

今日の話の内容

1. はじめに—表層崩壊と深層崩壊—
2. 鹿児島県で発生した土砂災害の事例
3. 崩壊発生予測の研究
4. おわりに—まとめ—

平成22（2010）年の土砂災害発生状況

国土交通省砂防部資料



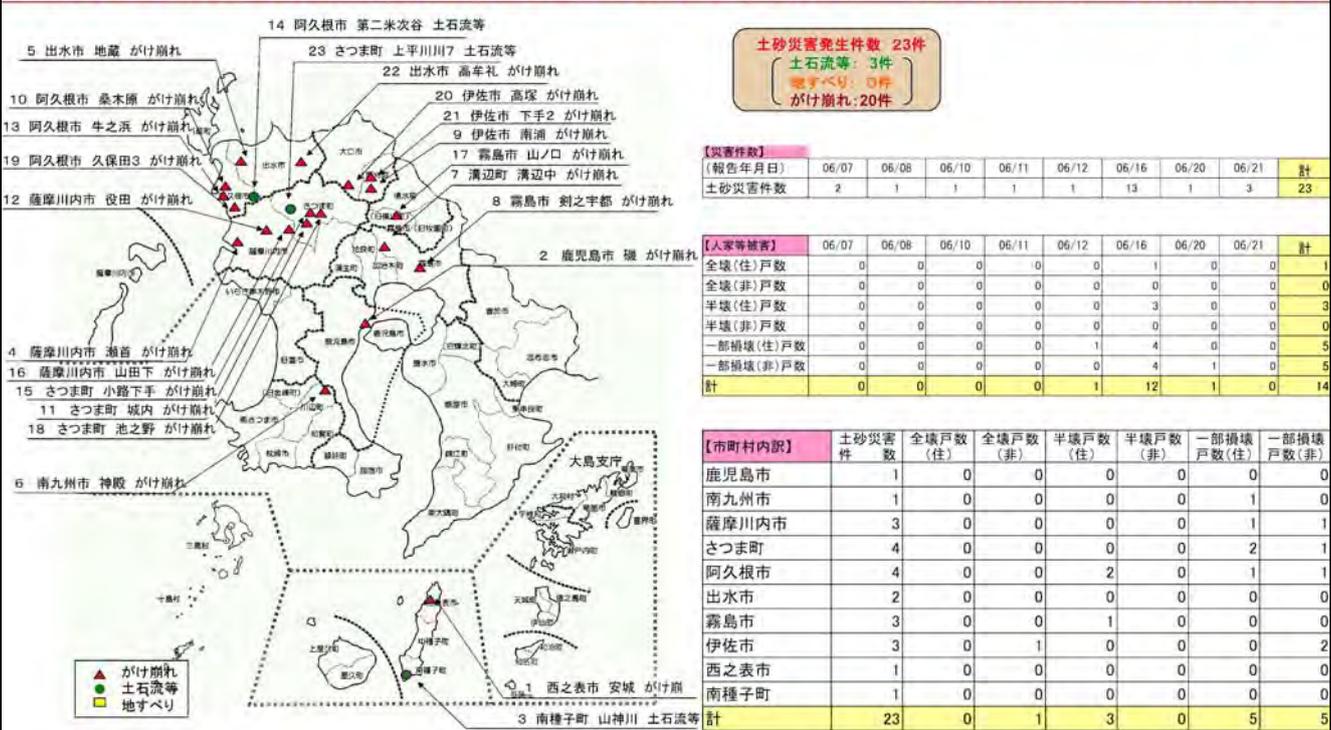
平成23（2011）年の土砂災害発生状況（鹿児島県）

鹿児島県資料

6月7日から6月22日までの梅雨前線豪雨
における土砂災害発生状況

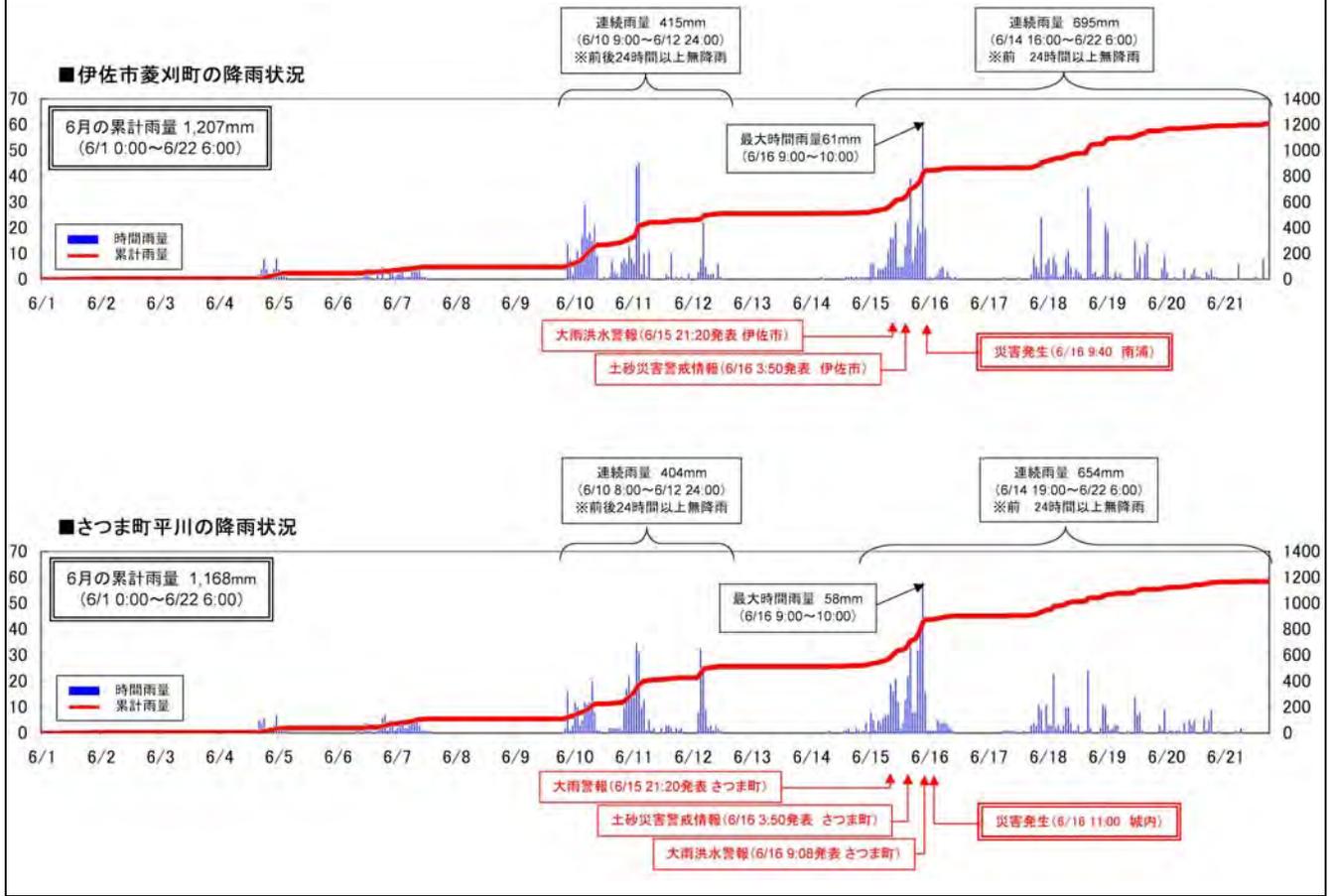
鹿児島県土木部砂防課
平成23年6月22日8:30時点

土砂災害23件発生。死者0名、負傷者0名、全壊1戸、半壊3戸、一部損壊5戸、非住家被害5戸。



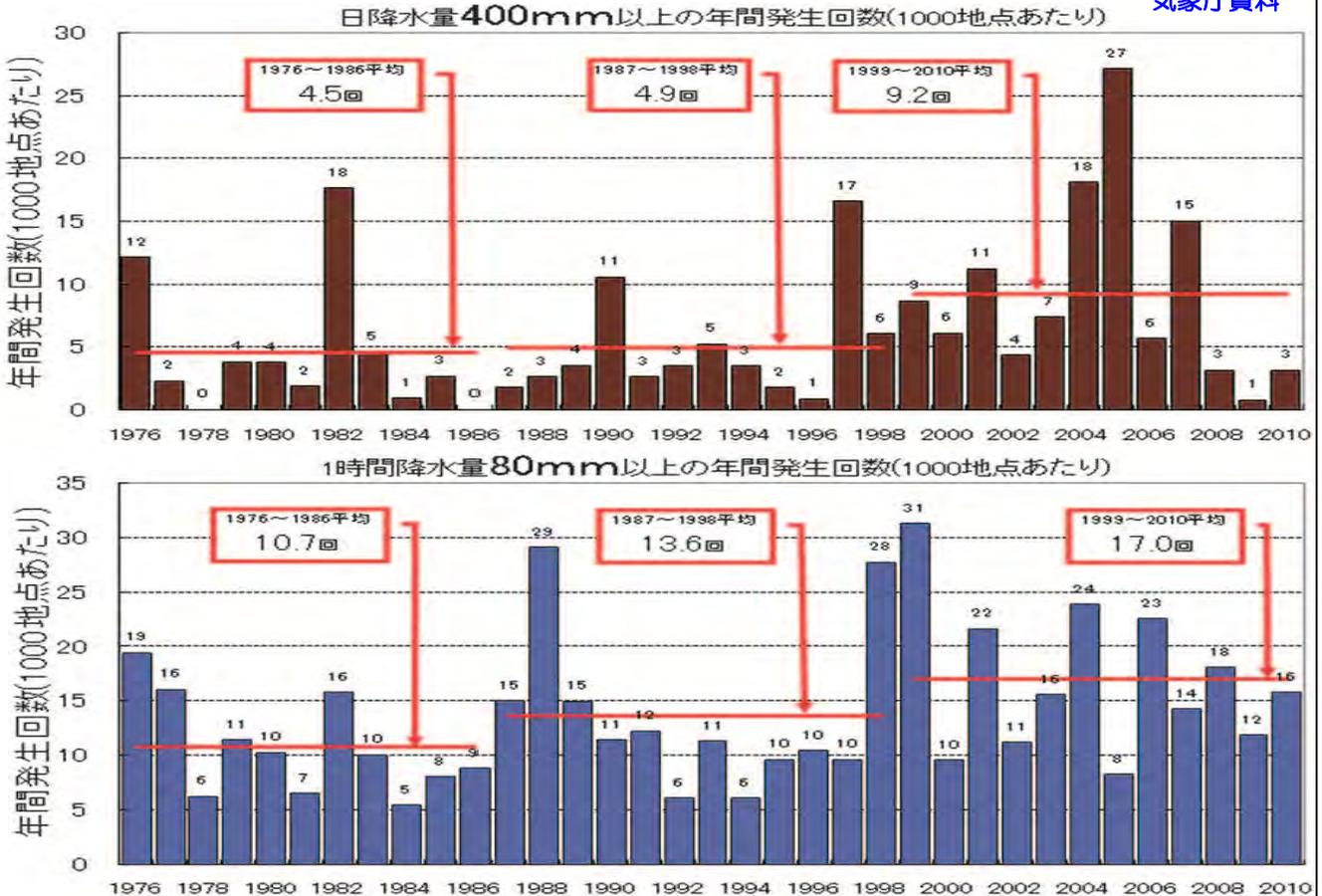
平成23（2011）年の土砂災害発生状況（鹿児島県）

鹿児島県資料



近年、大雨・強雨が増加している

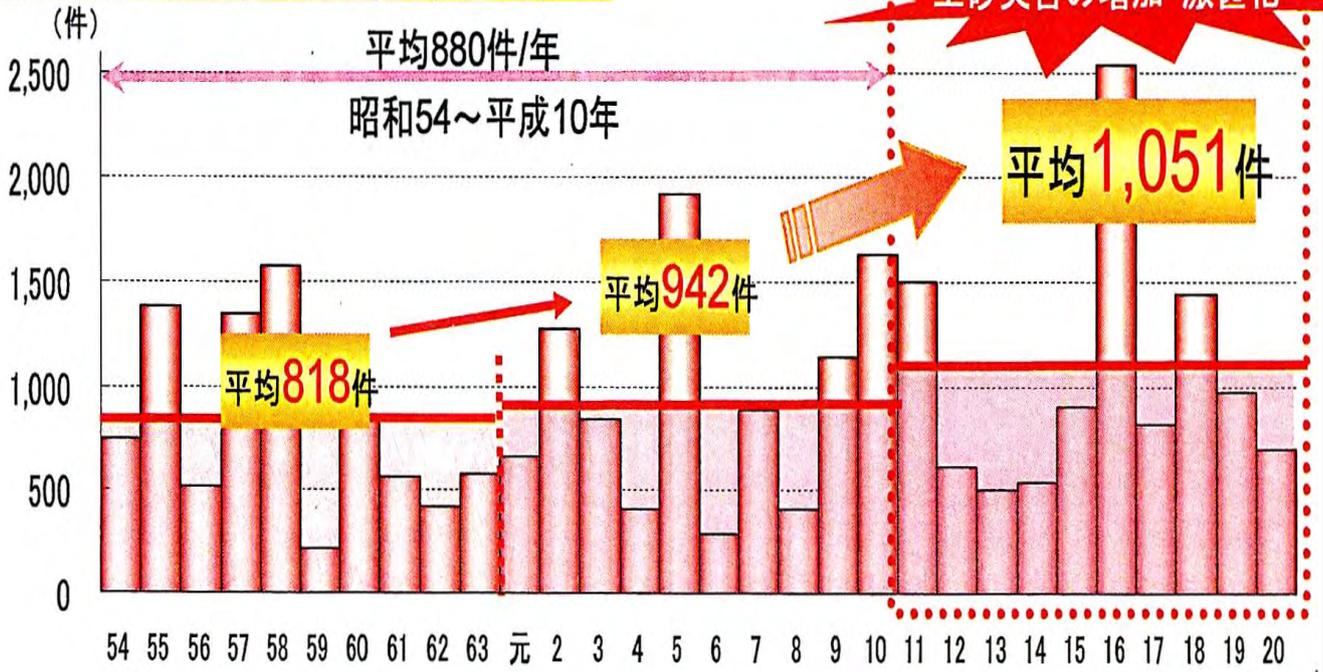
気象庁資料



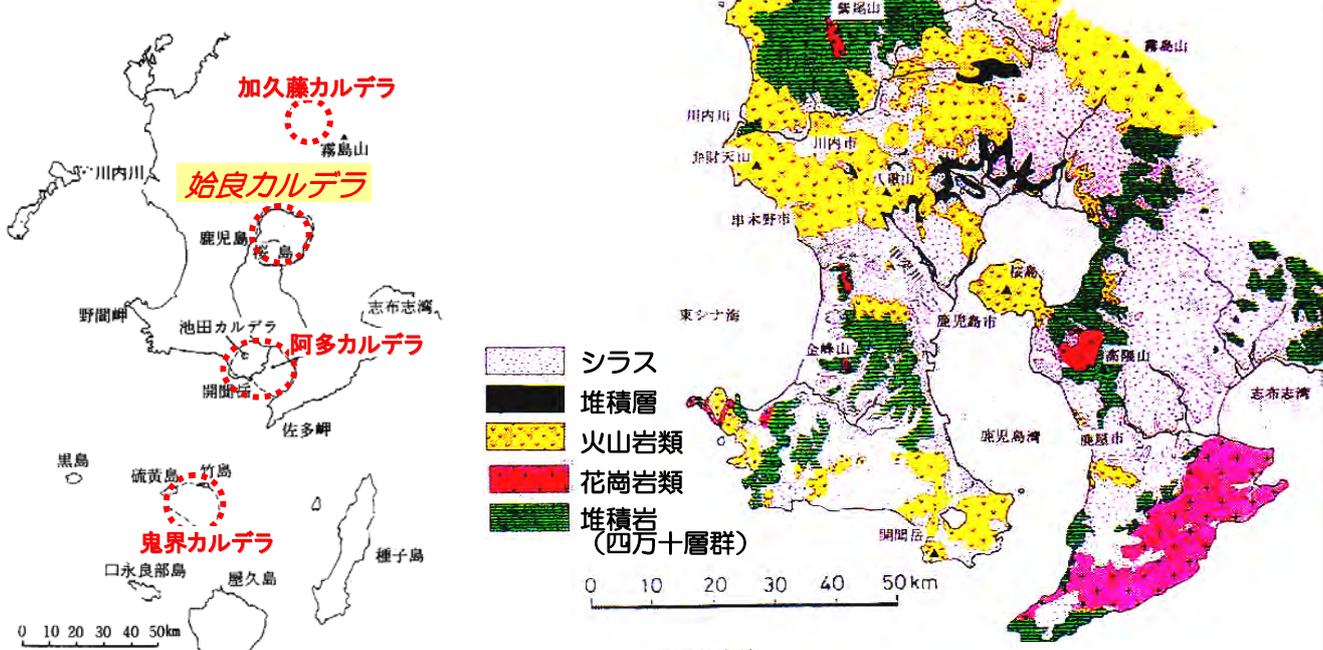
近年、土砂災害が増加、激甚化している

国土交通省砂防部資料

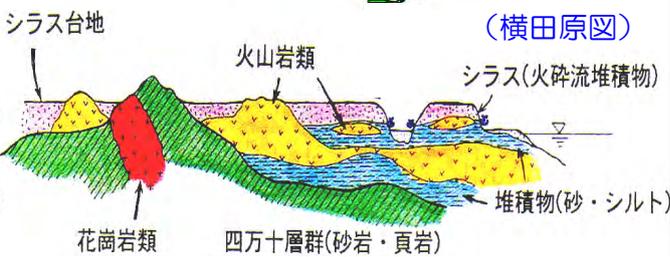
過去30年における災害発生件数



鹿児島島の地質



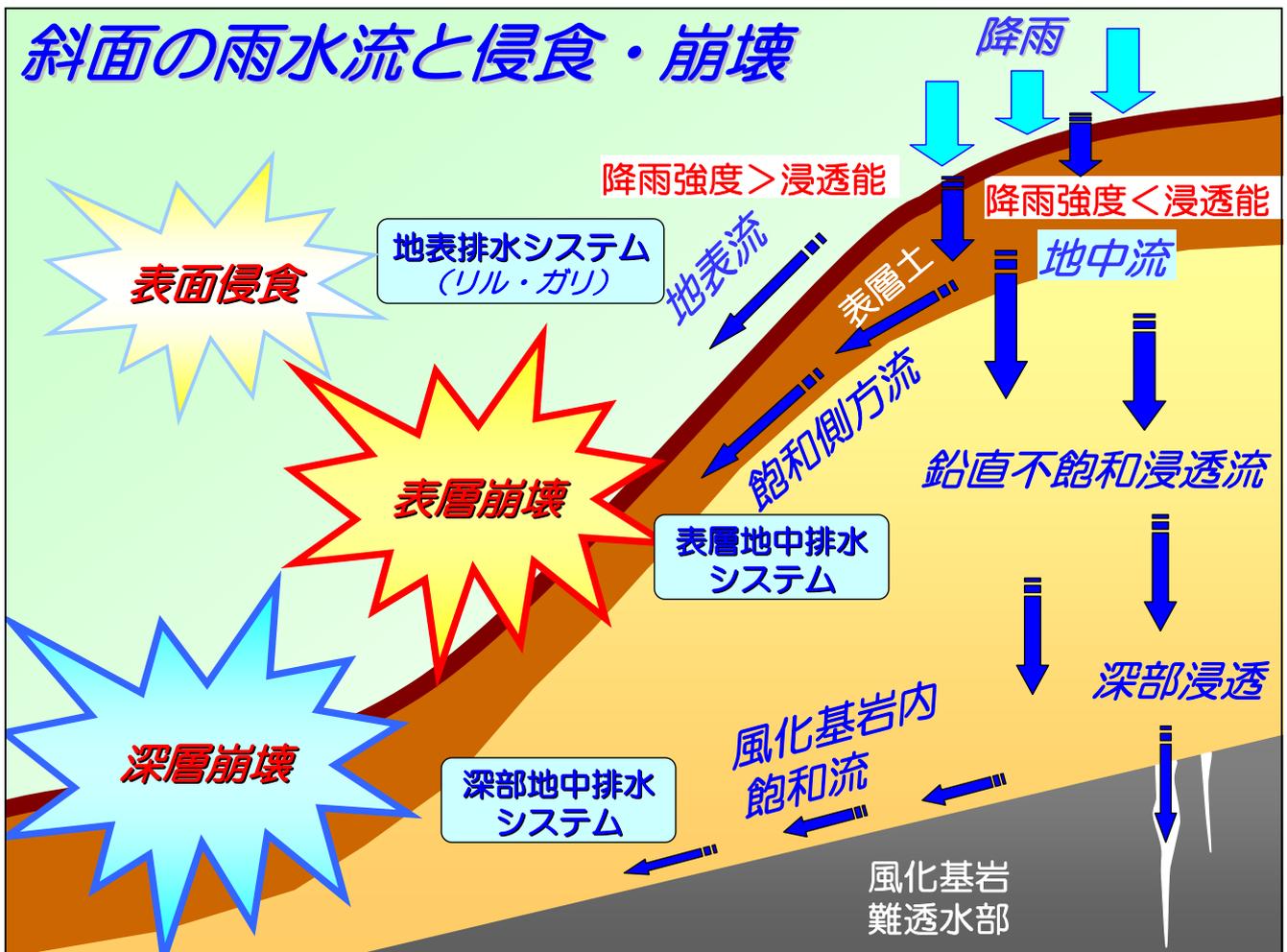
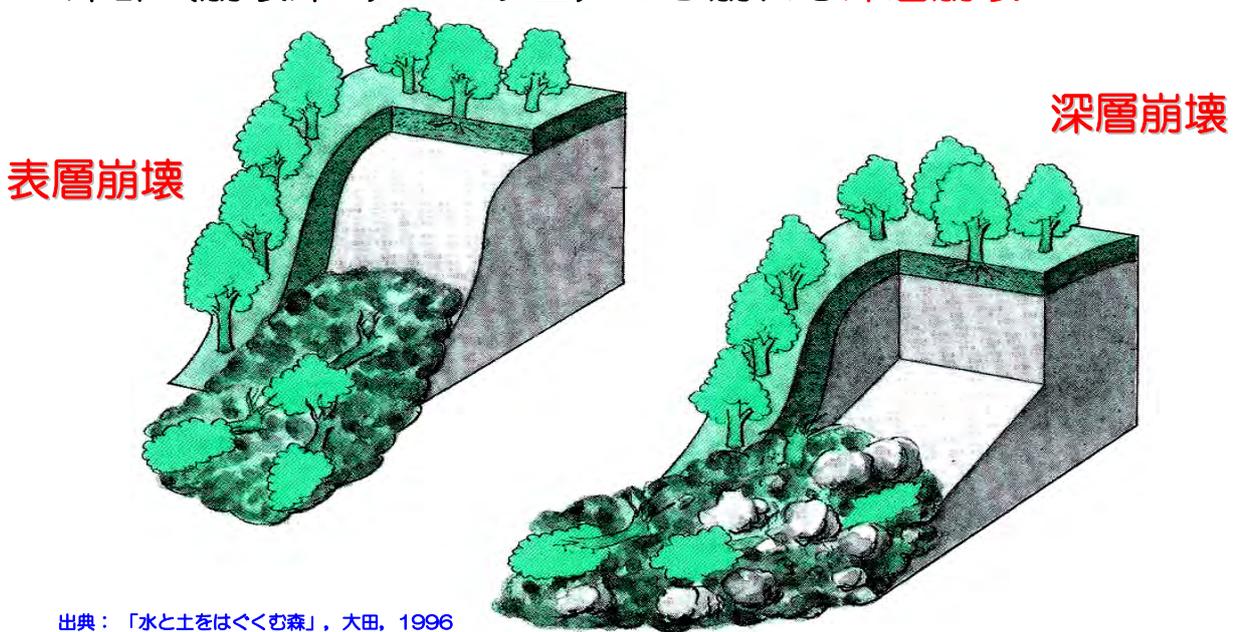
- 南九州には大きなカルデラが集中
- シラスは約3万年前に始良カルデラから噴出した火砕流堆積物



山崩れ

山地斜面の風化土層あるいは基盤岩が大雨，地震などで安定を失い高速度で崩落する現象

- ・ 崩壊深が浅い（深くても2, 3m程度） **表層崩壊**
- ・ 深部（崩壊深4, 5m以上）から崩れる **深層崩壊**

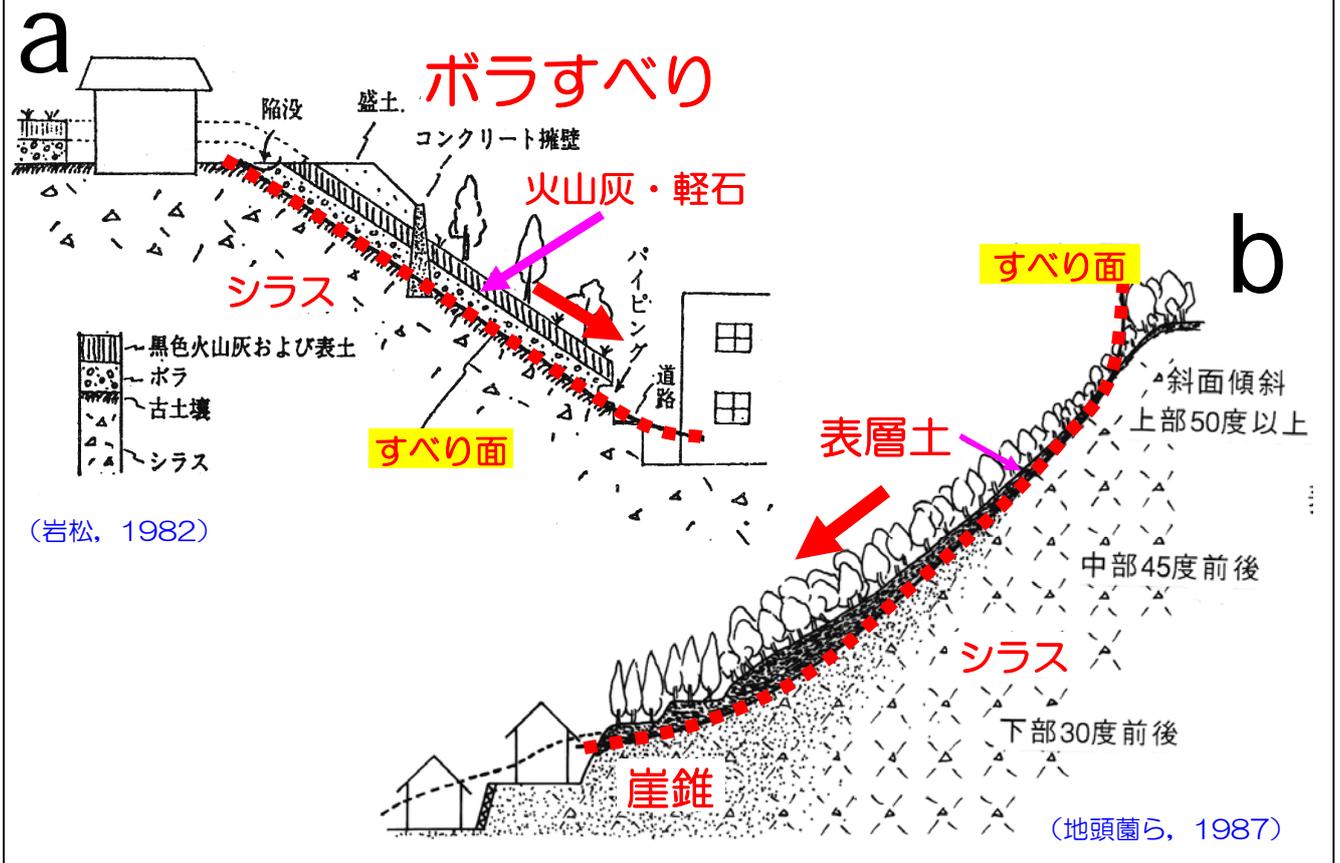


シラス斜面の表層崩壊

シラス台地



シラス斜面の表層崩壊



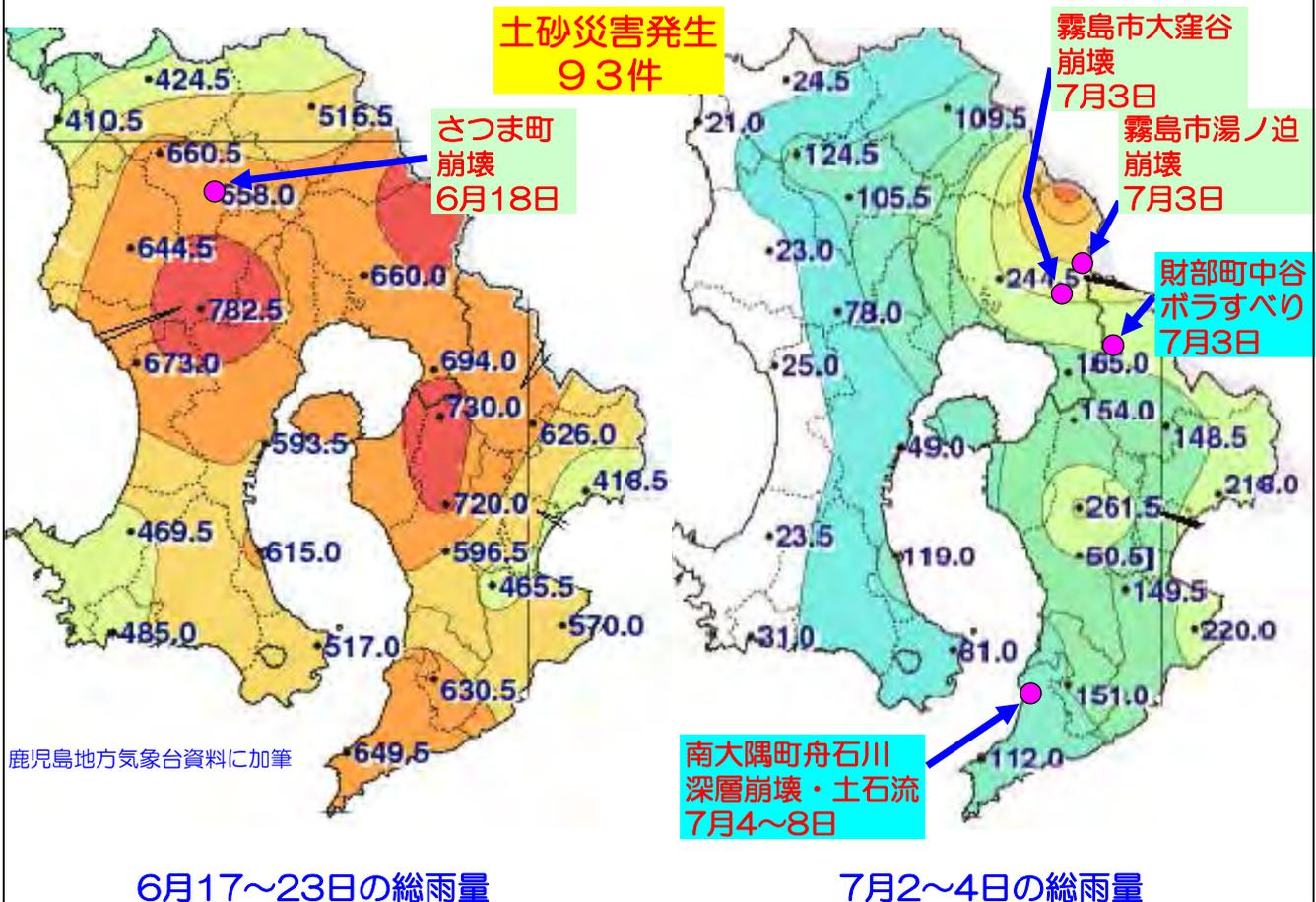
深層崩壊

鹿児島県出水市針原
 発生：1997年7月10日
 雨量：総雨量401mm
 最大時間雨量62mm
 地質：風化安山岩と凝灰角礫岩（基盤）
 地形：平均傾斜25度程度
 規模：崩壊幅80m，長さ190m
 最大深30m，崩壊土砂量13万m³
 被害：死者21名，住家被害29棟



(1997年7月12日撮影)

2010年梅雨時期の大雨と土砂災害発生地



火砕流台地

2010年 鹿児島県南大隅町

深層崩壊

鹿児島県南大隅町船石川
発生：2010年7月4～8日
雨量：総雨量1055mm
地質：溶結凝灰岩

大浜川

2号堰堤

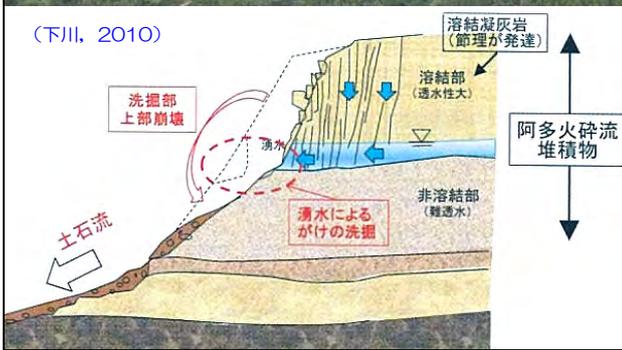
3号堰堤

土石流

船石川2

1号堰堤

鹿児島県資料

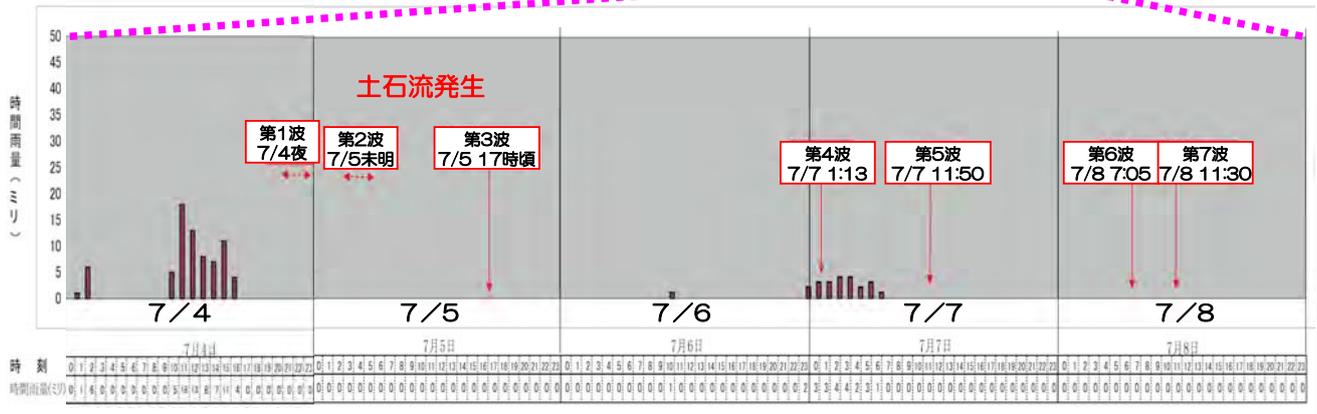
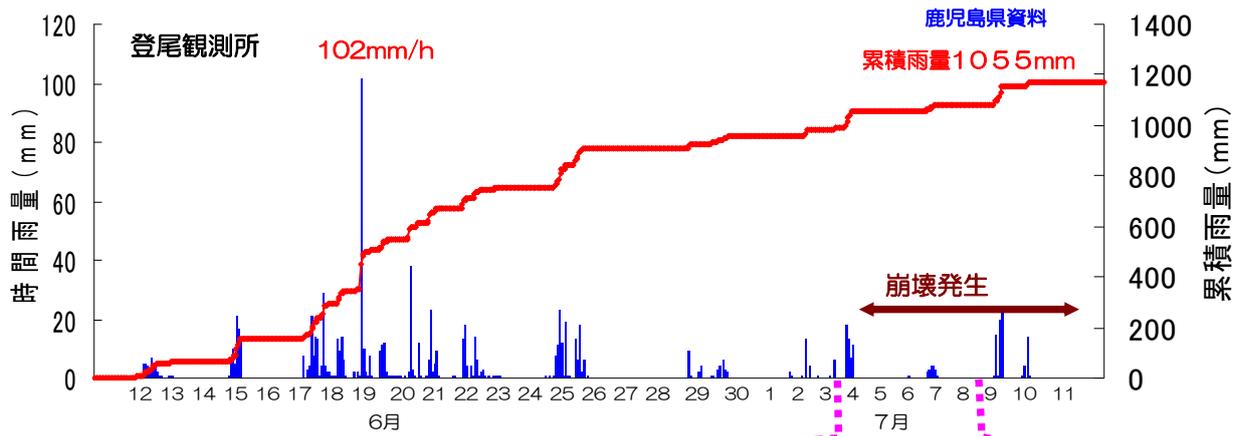


2010年7月 鹿児島県南大隅町

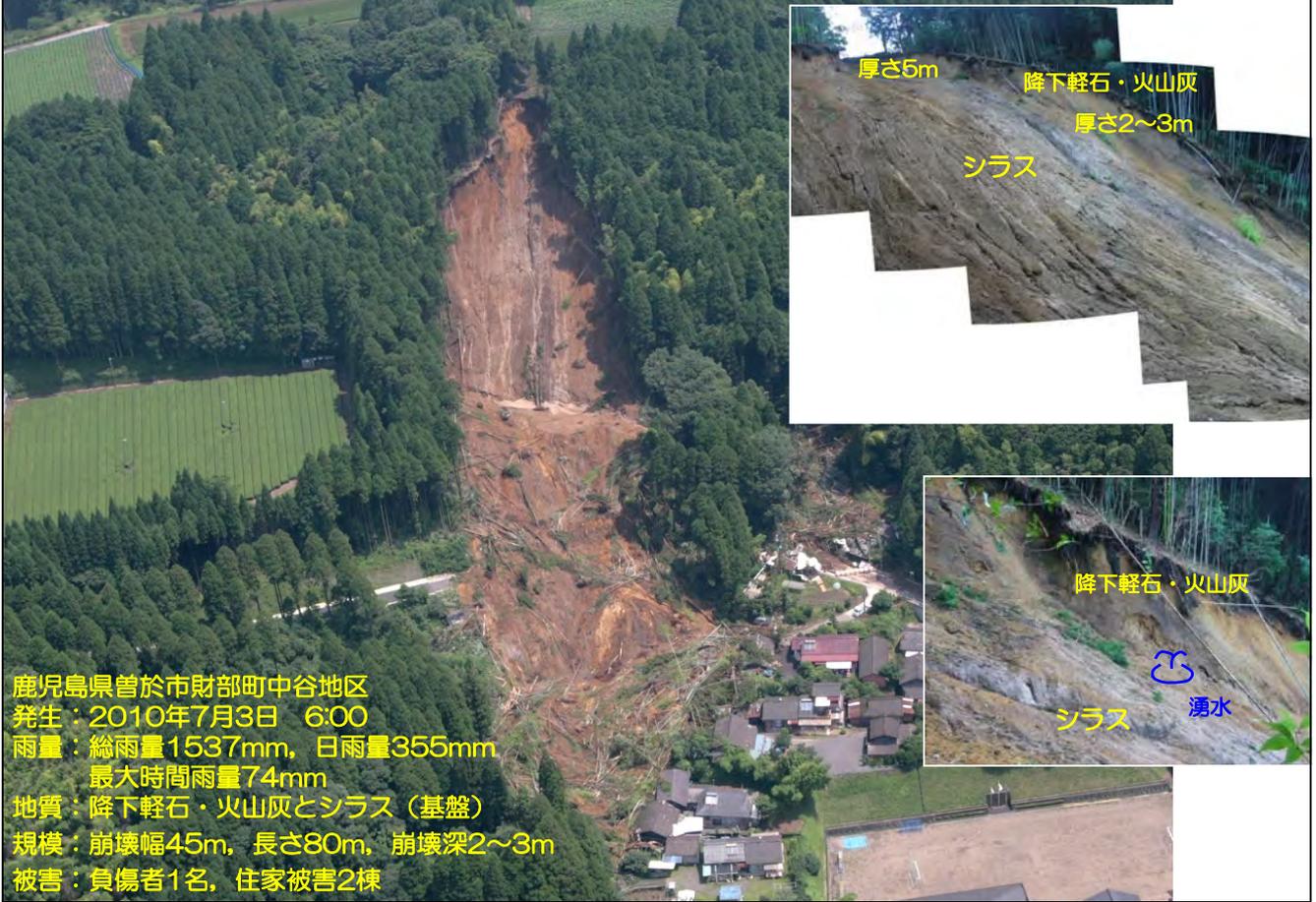
深層崩壊

鹿児島県資料

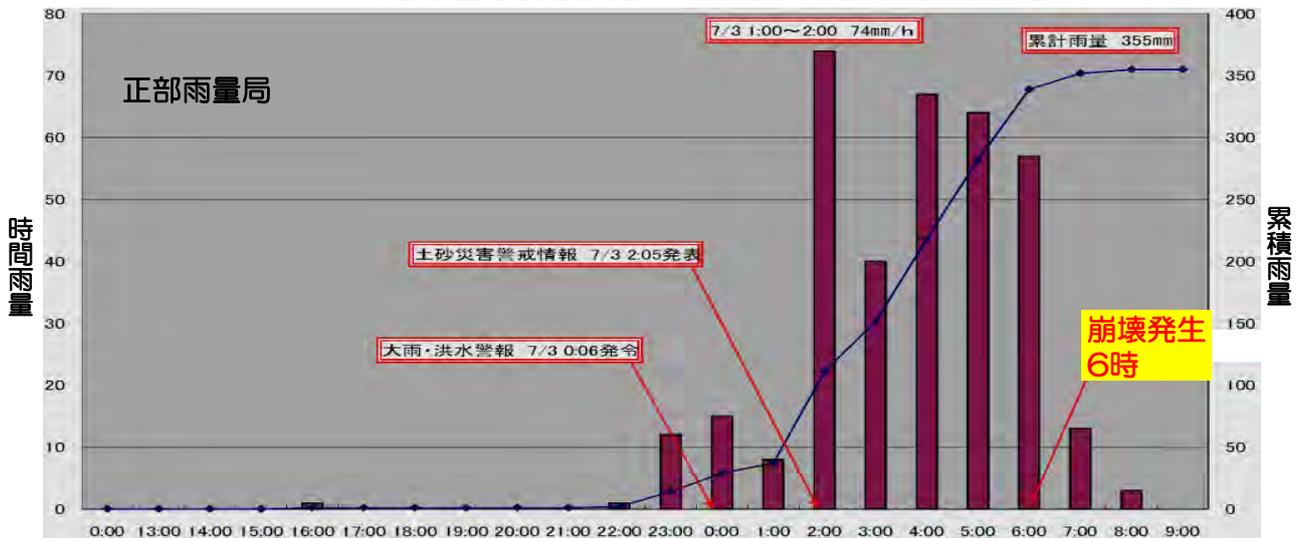
2010年 南大隅町 深層崩壊発生時の降雨状況



2010年 鹿児島県曾於市財部町 ボラすべり

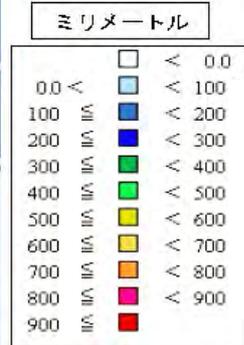
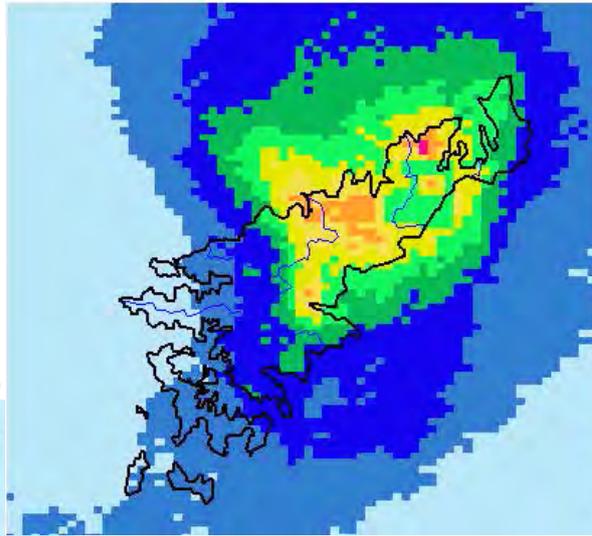


降雨状況

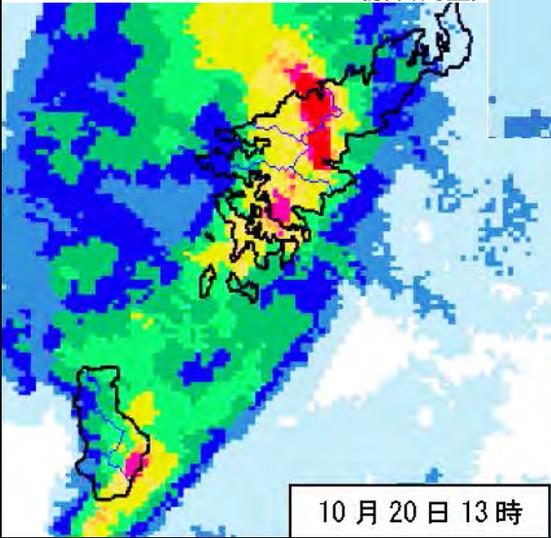


2010年 奄美豪雨の 降雨状況

10月20日 0時~24時の降水量（解析雨量）



10月20日 13時までの1時間雨量分布
（解析雨量）

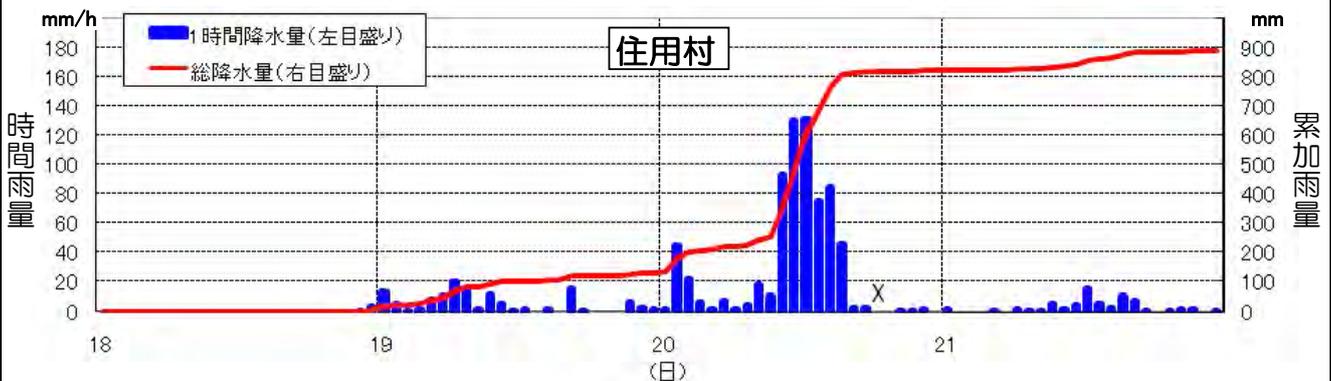
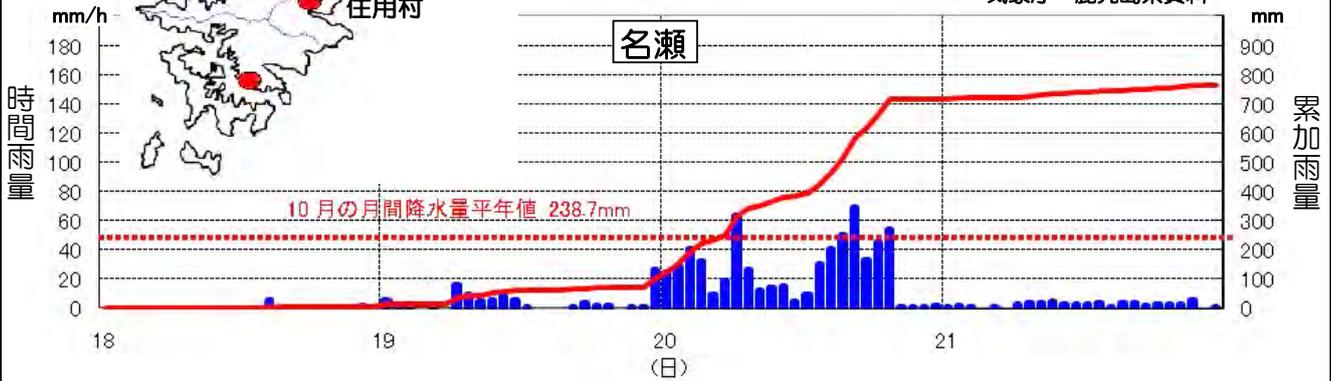


10月20日 13時

2010年奄美豪雨の降雨状況



気象庁・鹿児島県資料



奄美地方における集中豪雨災害(土砂災害)

鹿児島県 土木部 砂防課
11/25 8:00現在

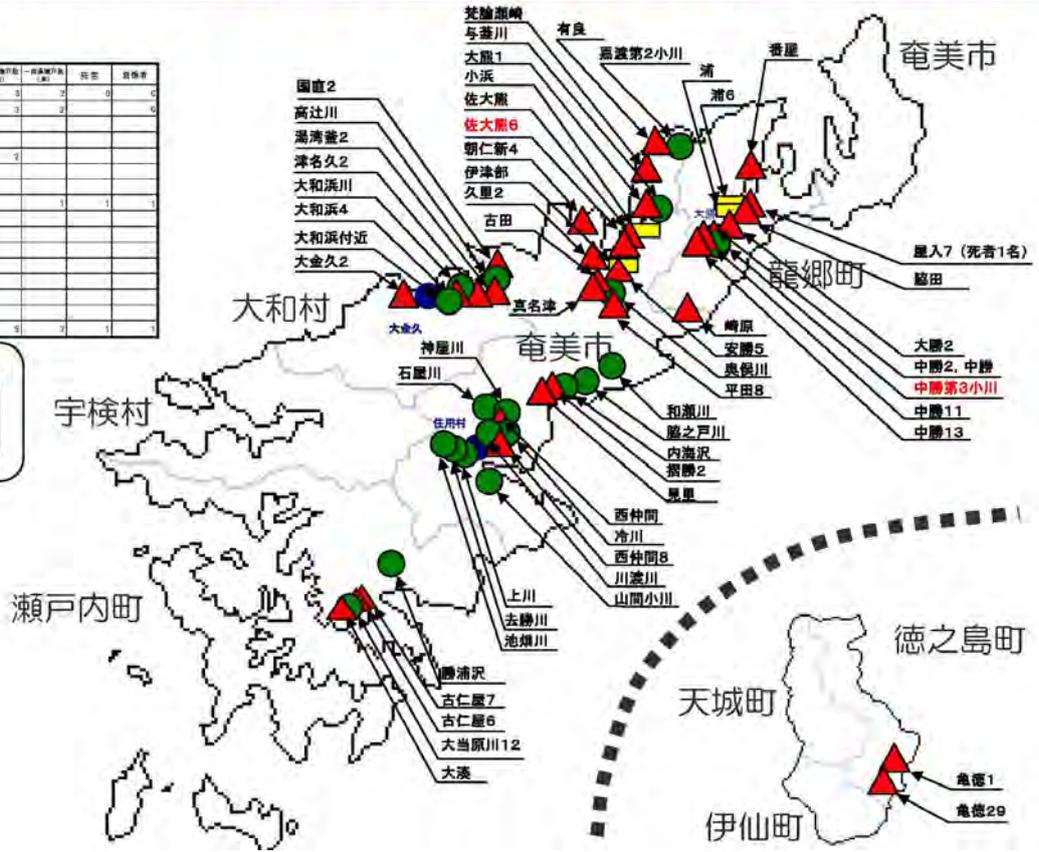
土砂災害58件発生。全壊6戸。半壊1戸。一部損壊8戸。死者1人。負傷者1人。

市町村別 被災状況

市町村別	土砂災害発生件数	全壊戸数	半壊戸数	一部損壊戸数	死者	負傷者
奄美市	57	2	0	0	0	0
龍郷町	1	0	0	0	0	0
大和村	0	0	0	0	0	0
宇検村	0	0	0	0	0	0
瀬戸内町	0	0	0	0	0	0
徳之島町	0	0	0	0	0	0
天城町	0	0	0	0	0	0
伊仙町	0	0	0	0	0	0
合計	58	2	0	0	0	0

土砂災害発生件数 58件

- 土石流等: 20件
- 地すべり: 4件
- ▲ がけ崩れ: 34件



2010年 奄美市住用町西仲間の土砂災害



2010年 奄美市住用町山間の土石流災害



2010年 奄美市住用町城の土砂災害



多量の水・土砂礫が流下し、溪岸・溪床を侵食

道路に多量の土砂礫が流出

2010年 奄美市与蓋川の山崩れ・土石流

国土交通省・
鹿児島県資料

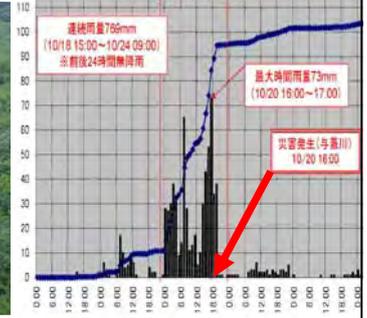


10月20日
18時頃発生

朝日小学校



山腹崩壊

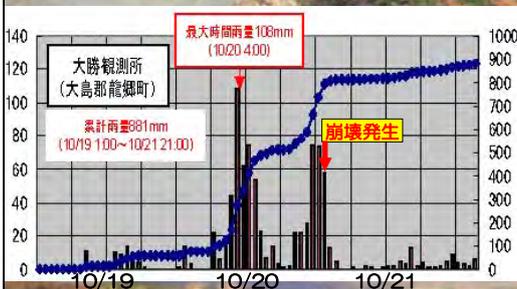
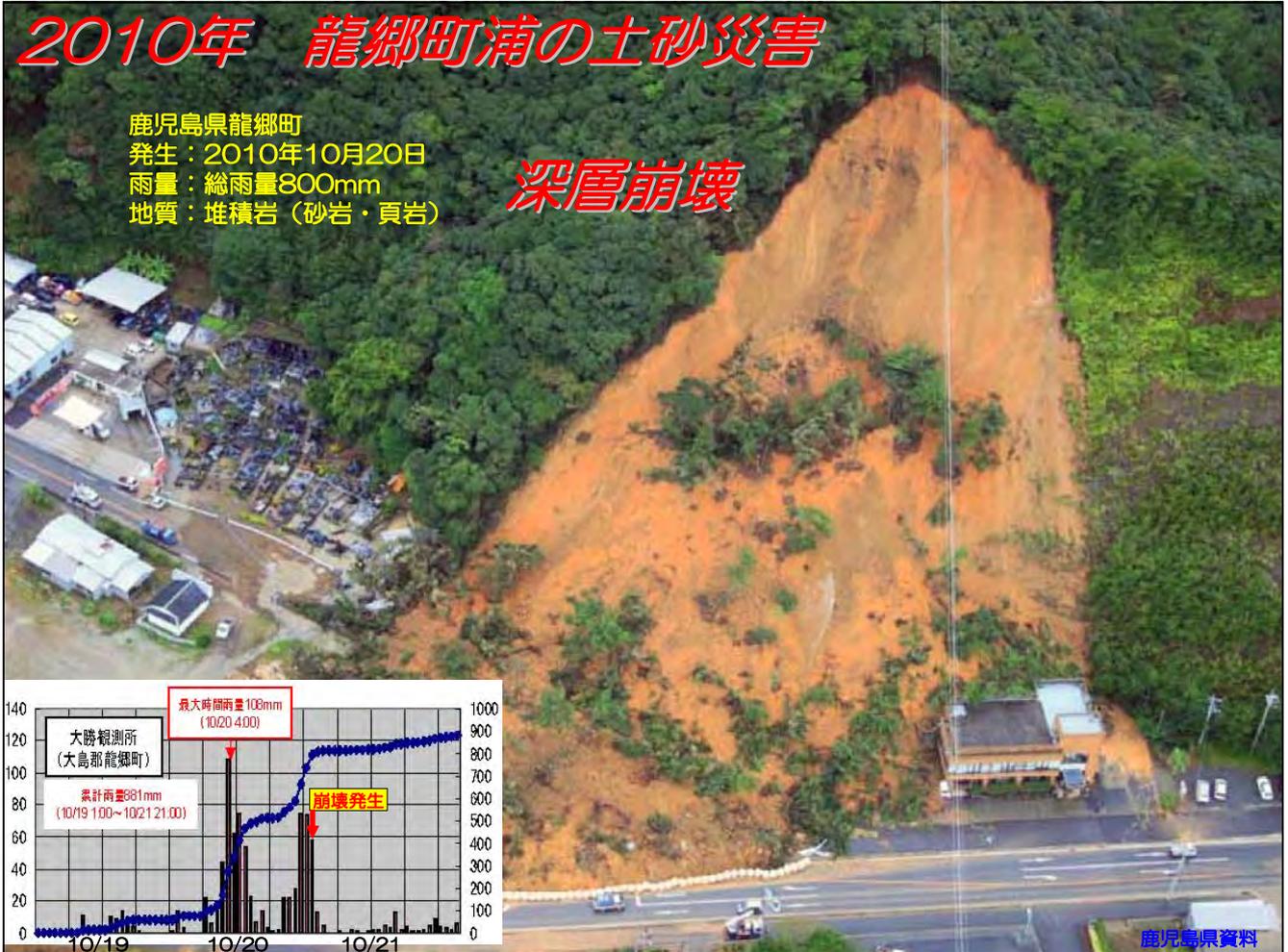


砂防堰堤（高さ約12m）
流出土砂量（約9千m³）の2/3を捕捉

2010年 龍郷町浦の土砂災害

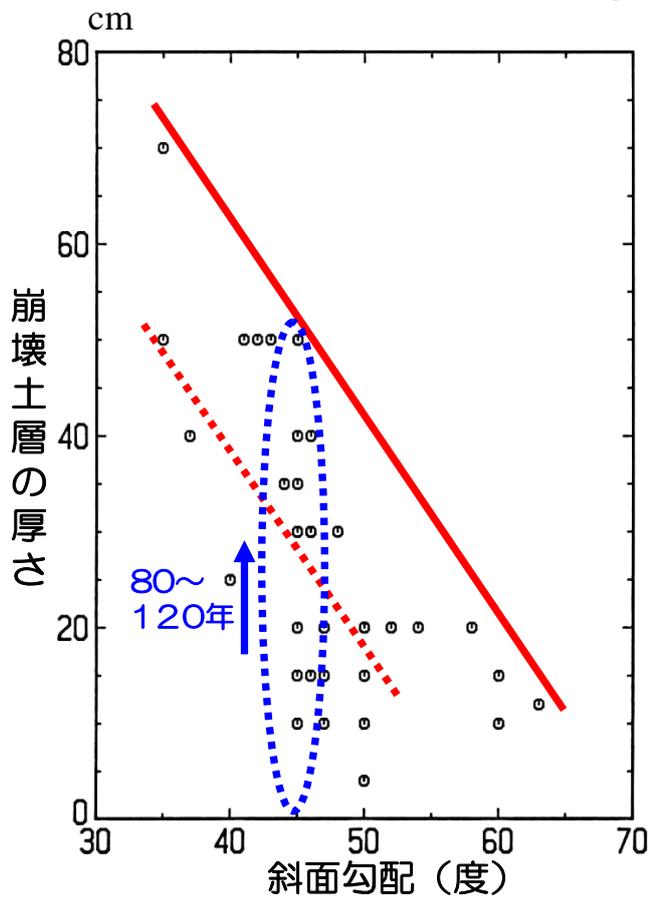
鹿児島県龍郷町
発生：2010年10月20日
雨量：総雨量800mm
地質：堆積岩（砂岩・頁岩）

深層崩壊



鹿児島県資料

シラス斜面における崩壊土層厚と斜面勾配の関係



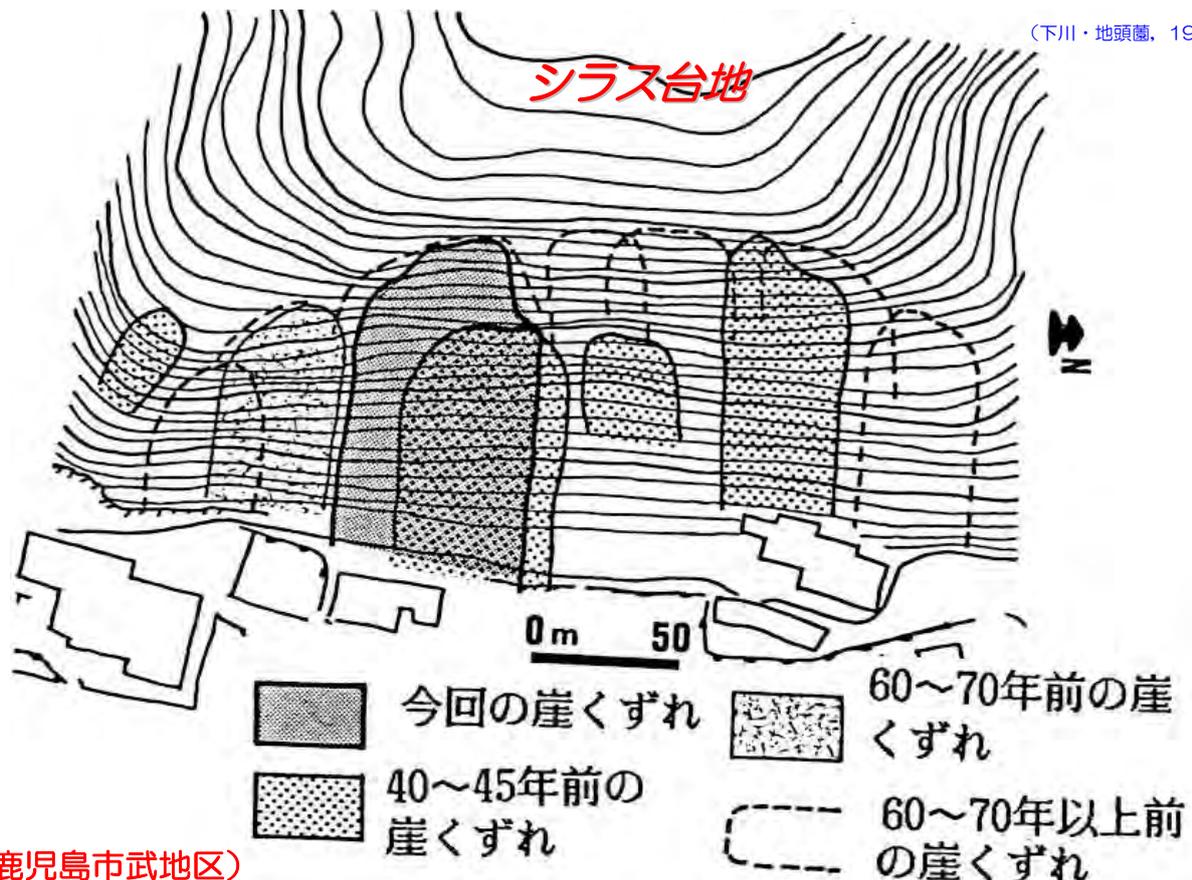
シラス斜面の崩壊跡地で崩壊土層厚さと斜面勾配を測定

-線は、最小崩壊土層厚さ
- 線は、最大崩壊土層厚さ

- 崩壊土層厚さは斜面勾配に対して最大厚さをもち、勾配が大きくなると最大厚さは小さくなる
- 斜面土層は与えられた勾配に対してある程度まで発達すると崩壊可能域（最小崩壊土層厚さ以上）に入り、崩壊の危険性が高まっていく

シラス斜面の表層崩壊は繰り返す

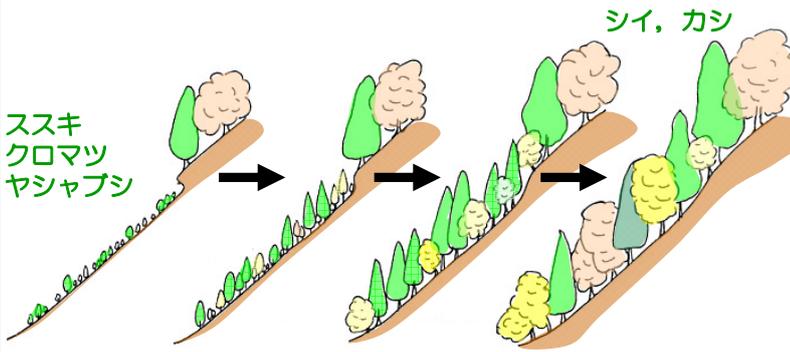
(下川・地頭蘭, 1987)



(鹿児島市武地区)

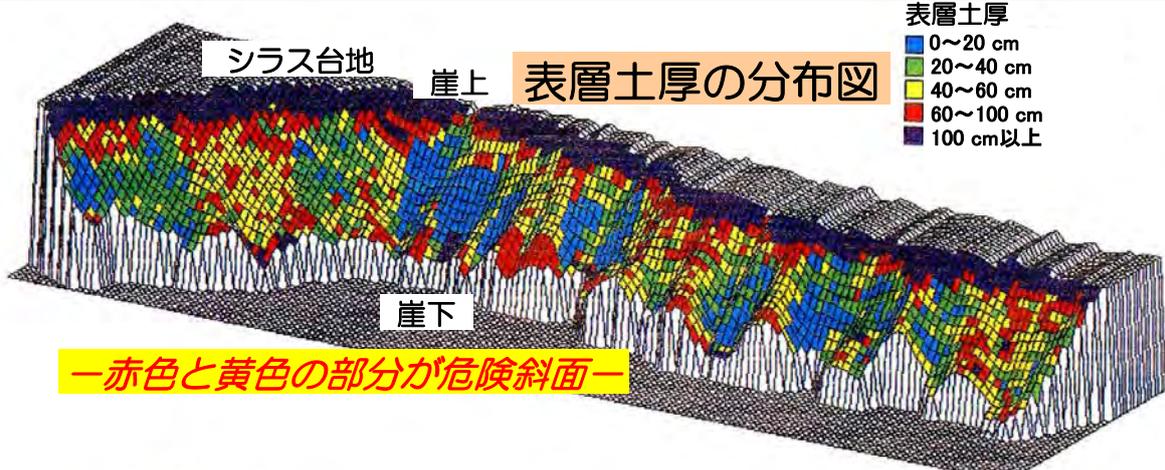
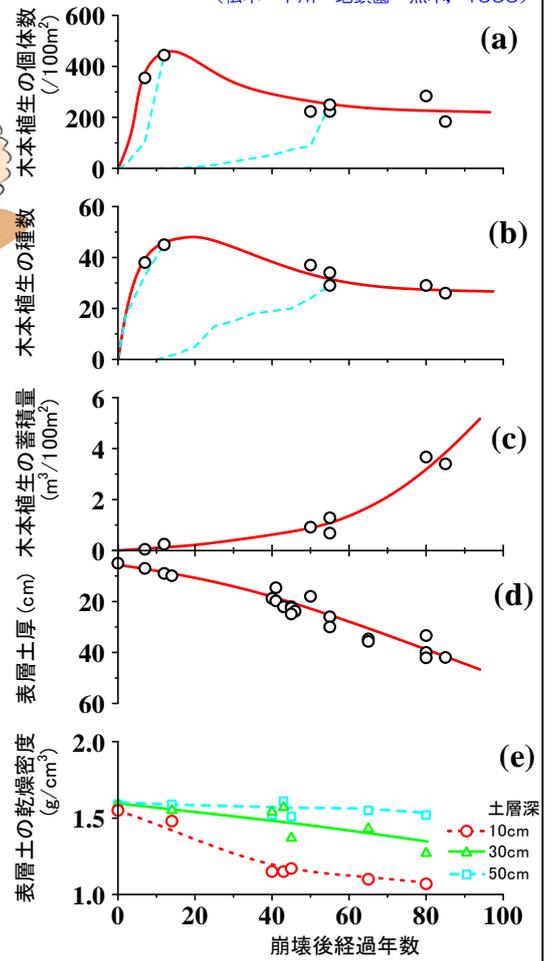
植生の遷移と表層土の発達

(松本・下川・地頭蘭・黒木, 1999)

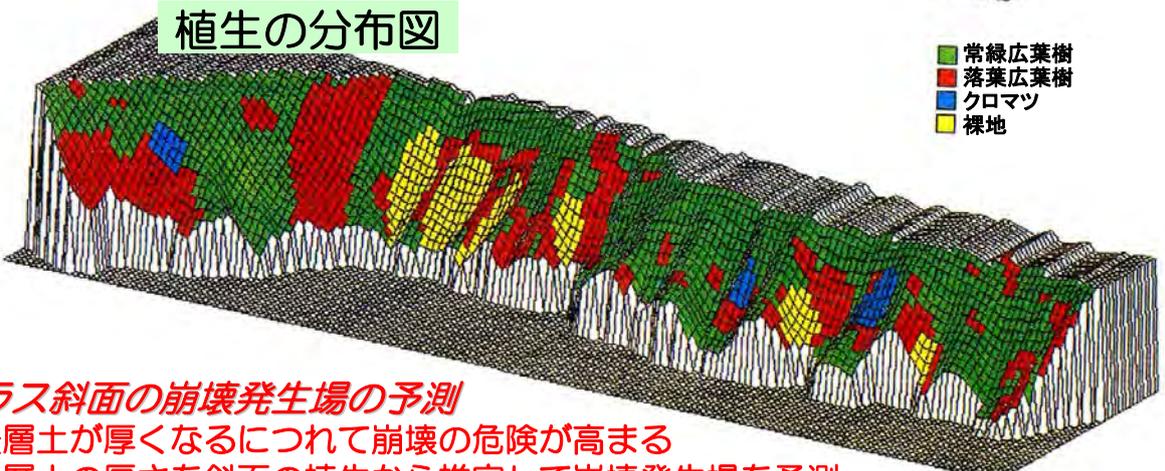


(下川・地頭蘭, 1984)

- **遷移**とは、植生が時間とともに自然に移り変わっていく現象
- 植生の個体数や種数は急激に増加するが、その後減少して一定
- 植生の蓄積量はゆっくり増加
- **表層土厚もゆっくり増加、やがて限界に達して崩壊発生**
- **表層土の発達と植生の生長は密接に関係**



—赤色と黄色の部分が危険斜面—



シラス斜面の崩壊発生場の予測

表層土が厚くなるにつれて崩壊の危険が高まる
表層土の厚さを斜面の植生から推定して崩壊発生場を予測

(下川・地頭蘭, 1989)

2009年Morakot台風による台湾の土砂災害

- 総雨量は多いところで3000mm以上
- 各地で降水量に関する記録が更新
- 台湾の中部から南部にかけて崩壊・土石流・天然ダム決壊・洪水が多発
- 土砂災害を中心に700名以上が犠牲
- 高雄県甲仙郷小林村では**深層崩壊・天然ダム決壊**という一連の現象により死者・行方不明者450名以上



深層崩壊

- 崩壊幅約800m, 長さ約2.5km
- 崩壊土砂量約2200万m³

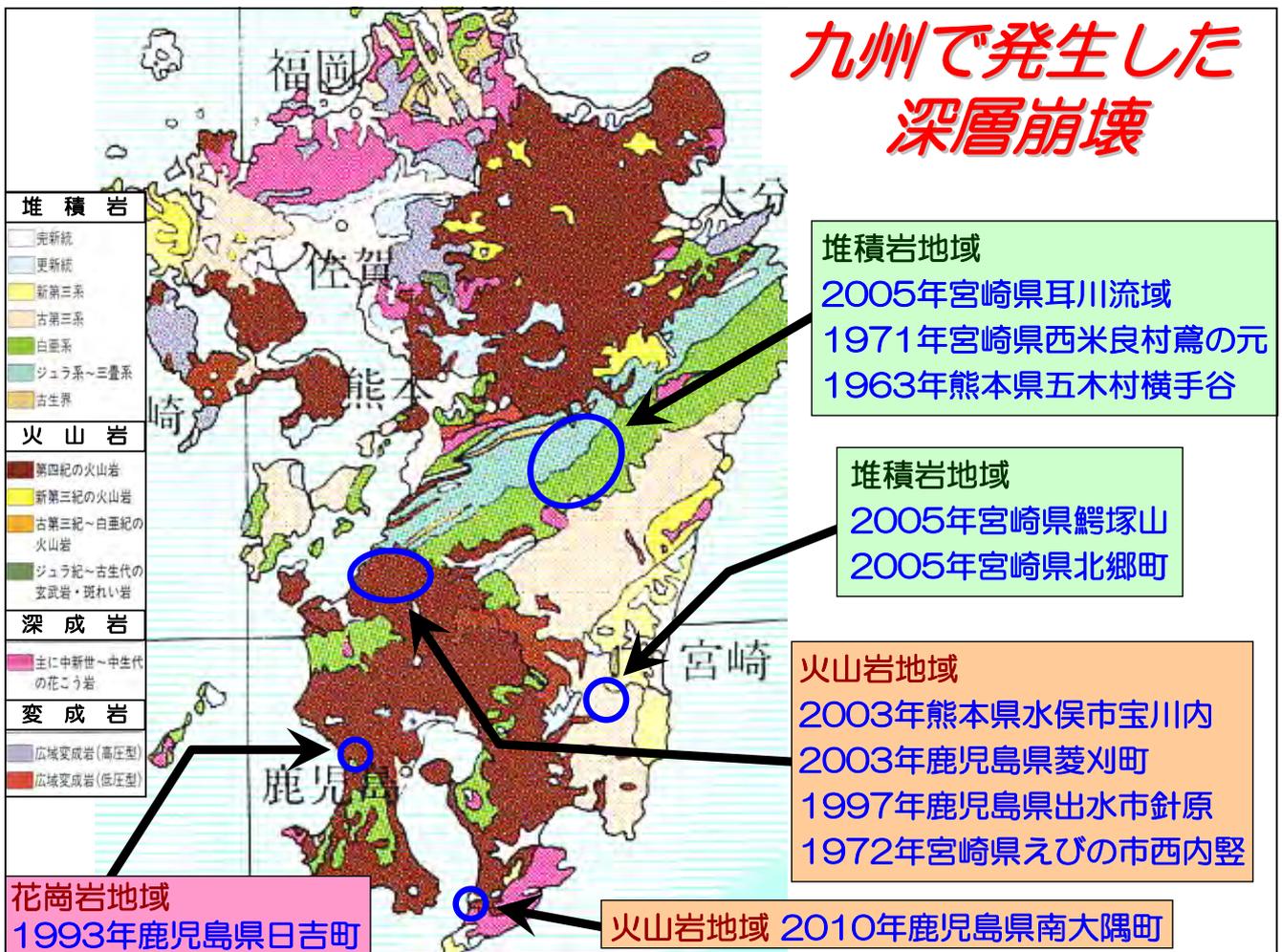


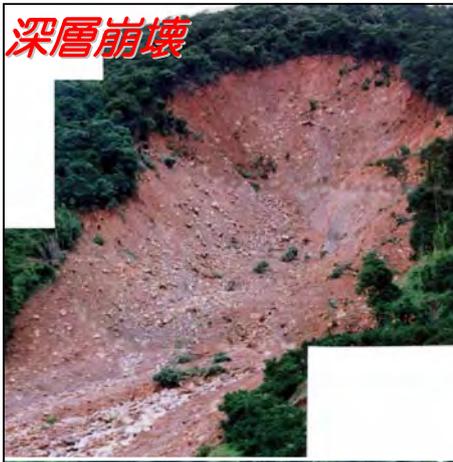
小林村の被災地

2010/3/4撮影



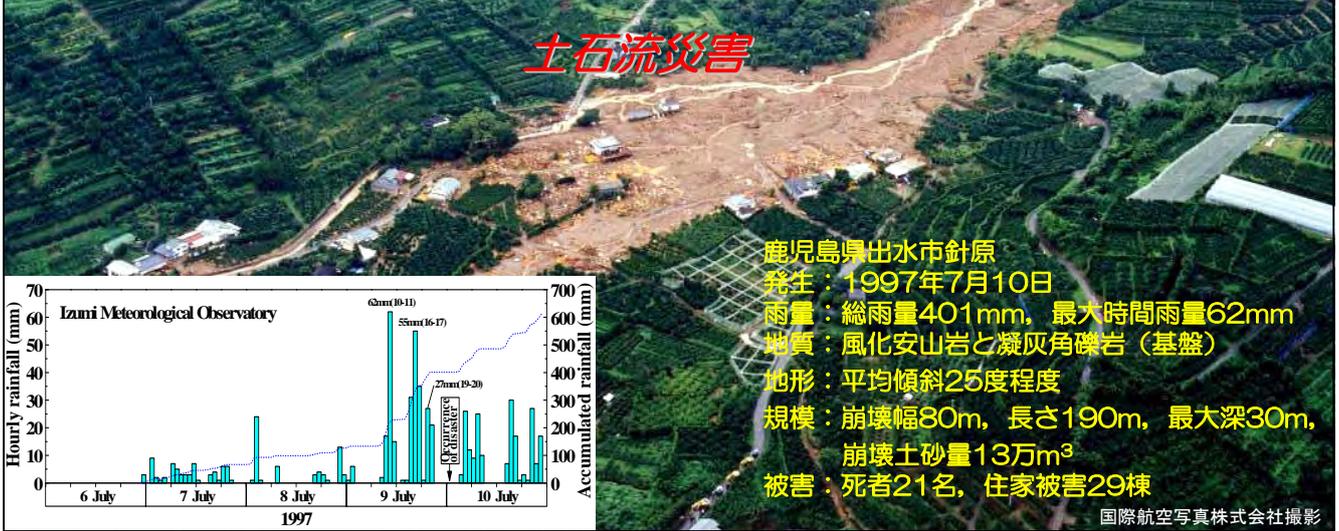
被災前





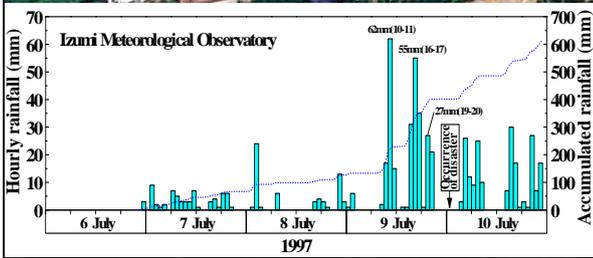
深層崩壊

1997年 鹿児島県出水市針原



土石流災害

鹿児島県出水市針原
 発生：1997年7月10日
 雨量：総雨量401mm，最大時間雨量62mm
 地質：風化安山岩と凝灰角礫岩（基盤）
 地形：平均傾斜25度程度
 規模：崩壊幅80m，長さ190m，最大深30m，
 崩壊土砂量13万m³
 被害：死者21名，住家被害29棟



国際航空写真株式会社撮影



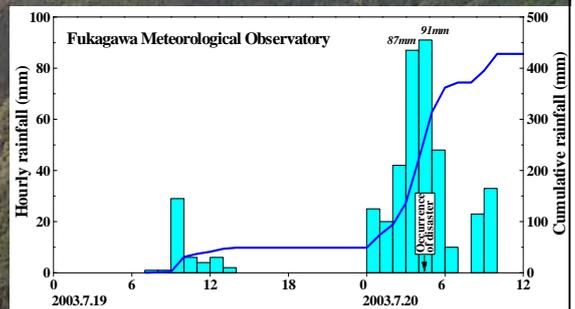
深層崩壊

2003年 熊本県水俣市宝川内



土石流災害

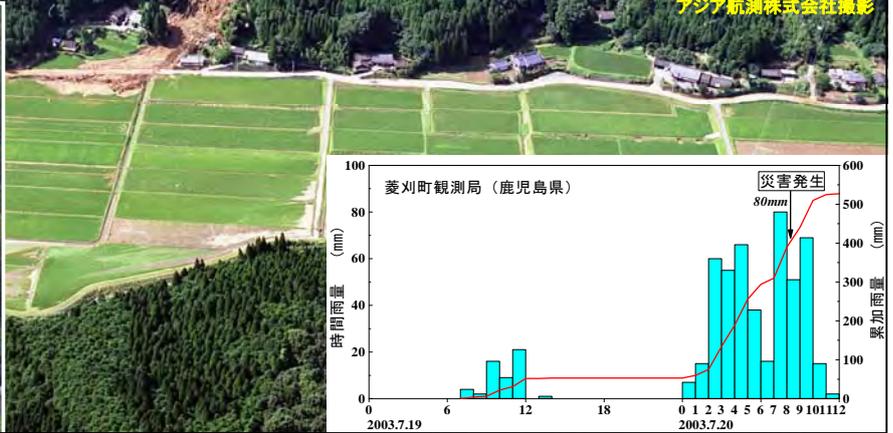
熊本県水俣市宝川内
 発生：2003年7月20日
 雨量：総雨量270mm，最大時間雨量91mm
 地質：風化安山岩と凝灰角礫岩（基盤）
 地形：平均傾斜35度程度
 規模：崩壊幅70~100m，長さ170m，最大深15m
 被害：死者15名，住家被害13棟



アジア航測株式会社撮影

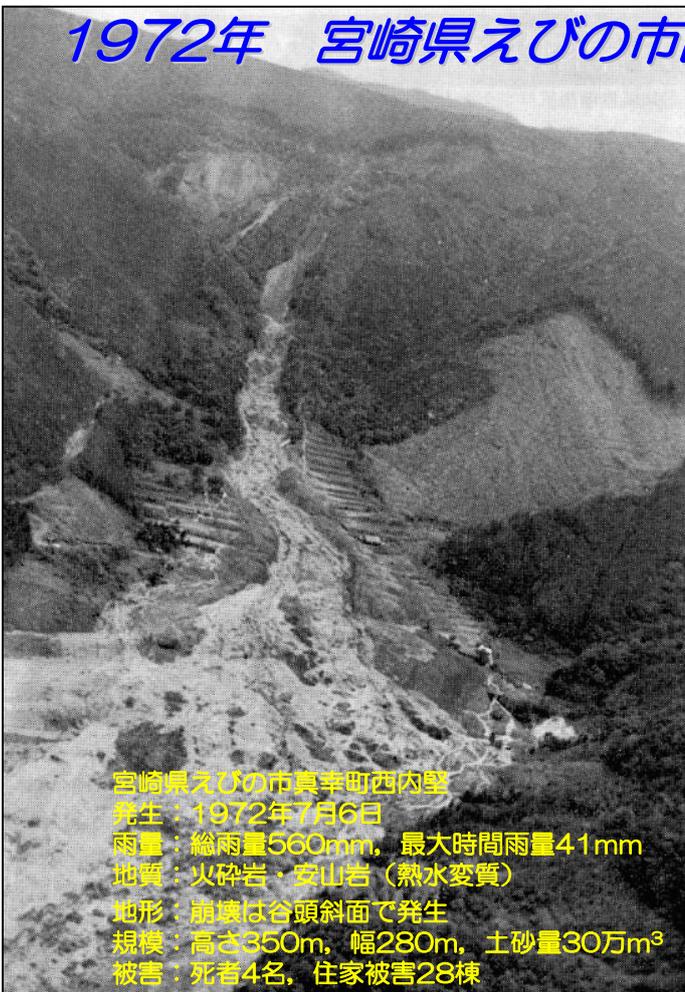
2003年 鹿児島県菱刈町前目

鹿児島県菱刈町前目
 発生：2003年7月20日
 雨量：総雨量400mm，最大時間雨量80mm
 地質：風化安山岩と凝灰角礫岩（基盤），熱水変質
 地形：傾斜20～30度程度
 規模：崩壊幅30m，長さ28m，最大深4m，土砂量3千m³
 被害：死者2名，住家被害1棟



1972年 宮崎県えびの市西内壁

宮崎県資料

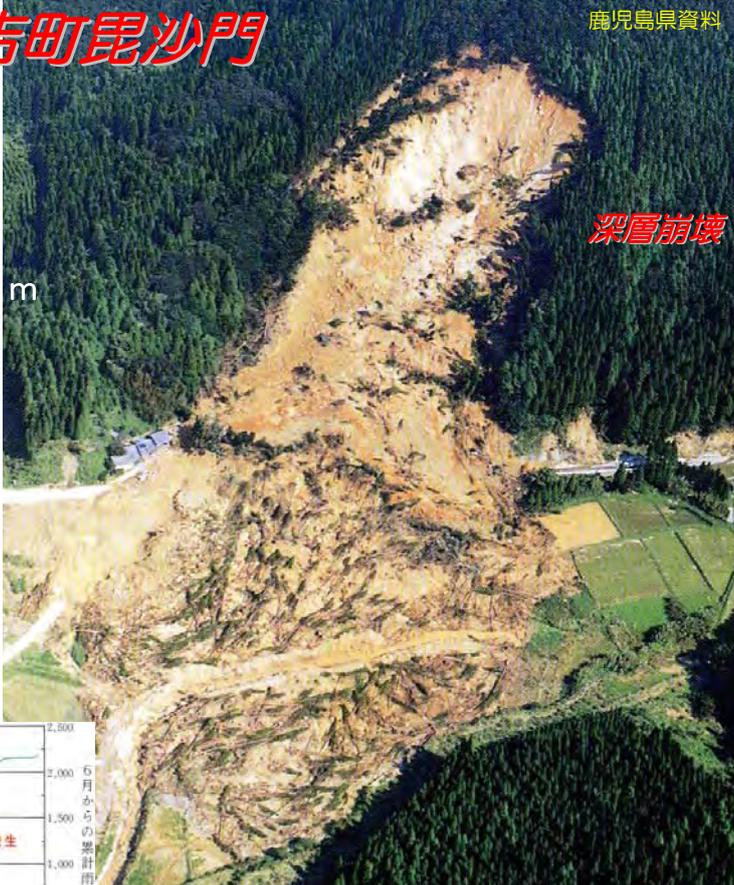


宮崎県えびの市真幸町西内壁
 発生：1972年7月6日
 雨量：総雨量560mm，最大時間雨量41mm
 地質：火砕岩・安山岩（熱水変質）
 地形：崩壊は谷頭斜面で発生
 規模：高さ350m，幅280m，土砂量30万m³
 被害：死者4名，住家被害28棟

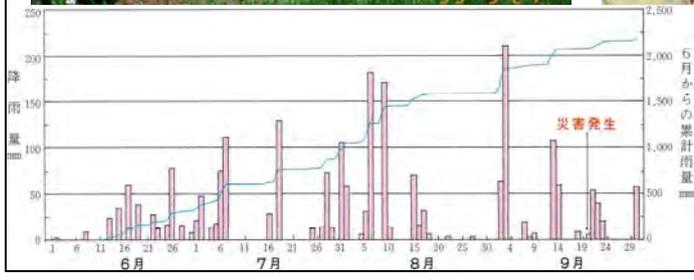
山津波記念石
 昭和47年7月6日午後1時45分頃
 山津波が発生
 約30万立方メートルの土砂が
 流出した。
 この石碑は当時の山津波で
 流れ出たものを現地ですのま
 山津波記念石として保存する
 ものである。
 尚、この石碑は高さ約5mである。
 〒884-0808 真幸町
 宮崎県
 小津土木事務所
 えびの市土木課
 TEL.0984-29-1111

1993年 鹿児島県日吉町毘沙門

発生：1993年9月20日
 雨量：雨がないうち発生
 6～9月の総雨量2172mm
 地質：花崗岩（深層風化）
 地形：傾斜20度程度
 規模：幅95m，長さ150m，深さ15～20m
 被害：死者2名，負傷者3名，家屋全壊2戸
 前兆：湧水増加，井戸水が濁れる



深層崩壊



2005年 宮崎県鰐塚山

—台風14号災害—



深層崩壊

土石流災害

宮崎県鰐塚山
 発生：2005年9月6日
 雨量：総雨量979mm
 地質：砂岩・頁岩
 規模：別府田野川流域の崩壊土量561万m³

2005年 宮崎県北郷町

—台風14号災害—

深層崩壊

天然ダム

宮崎県北郷町
(広瀬ダム上流)
発生：2005年9月6日
雨量：総雨量979mm
地質：砂岩・頁岩

2005_12_22 撮影

2005年 宮崎県耳川流域

—台風14号災害—

深層崩壊

天然ダム

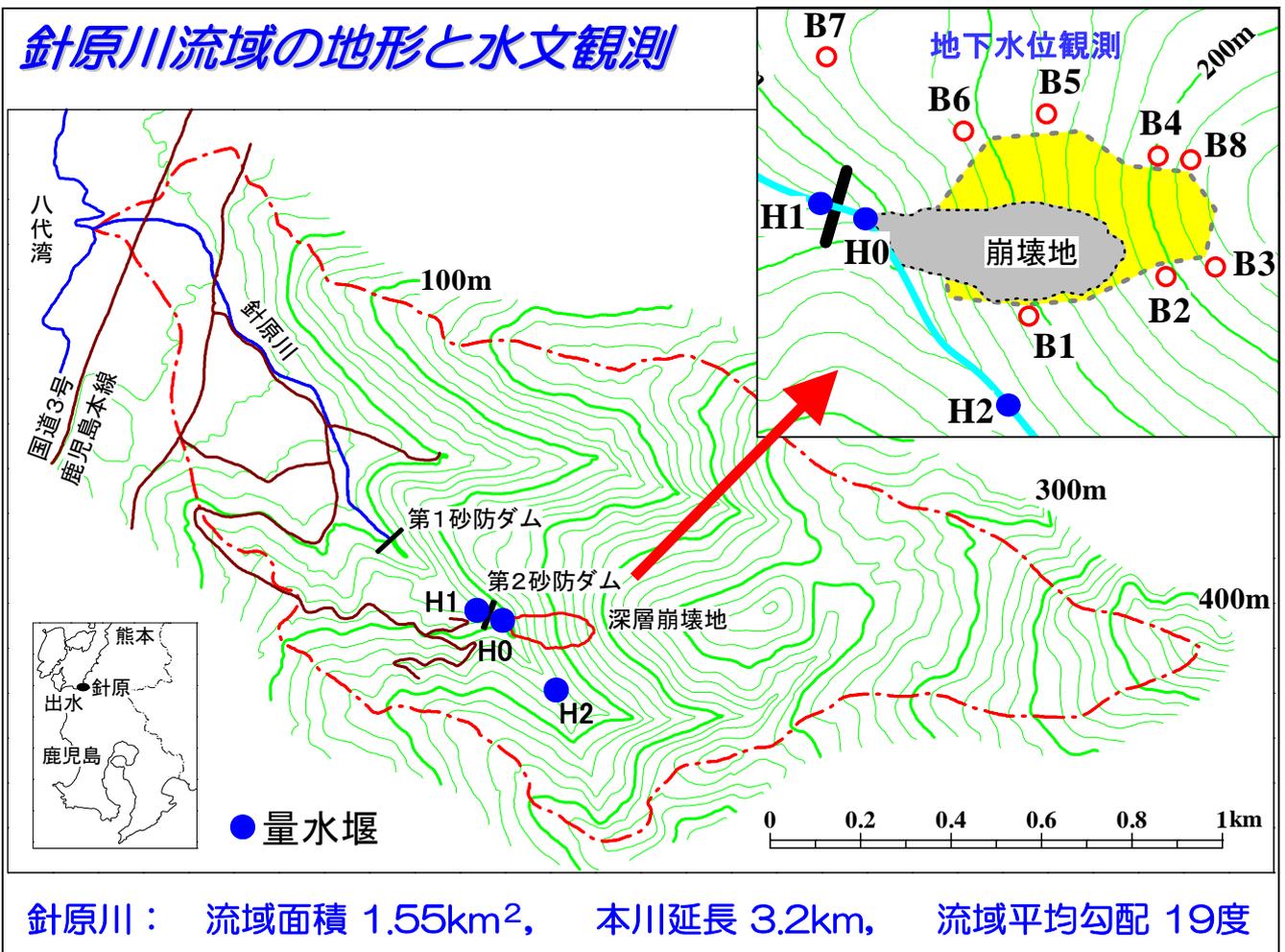
宮崎県耳川流域
(西郷村野々尾)
発生：2005年9月6日
雨量：総雨量1000mm
地質：砂岩・頁岩
規模：崩壊土量330万m³

(C)2005 Asia Air Survey co., Ltd.
2005/09/17 C-1 アジア航測株式会社撮影

1997年 鹿児島県出水市針原 深層崩壊と土石流



国際航空写真株式会社撮影

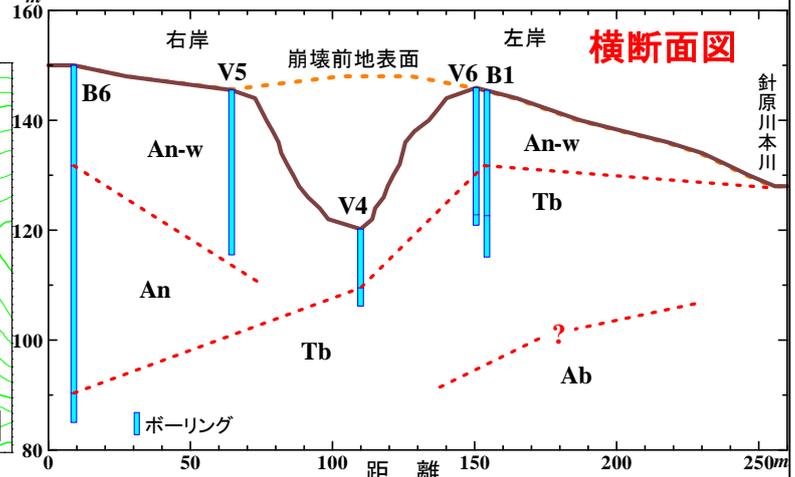
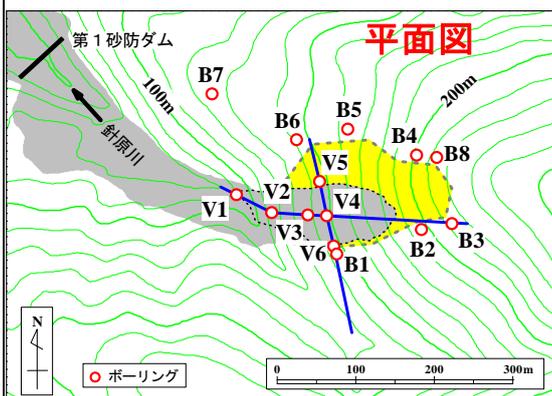
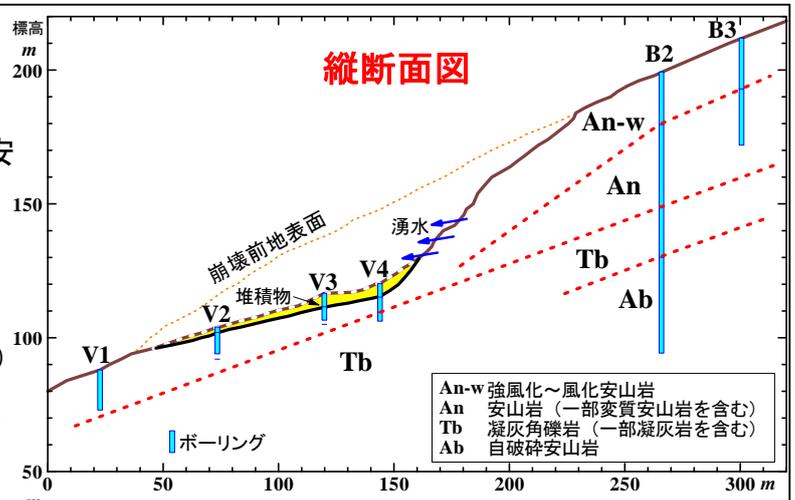




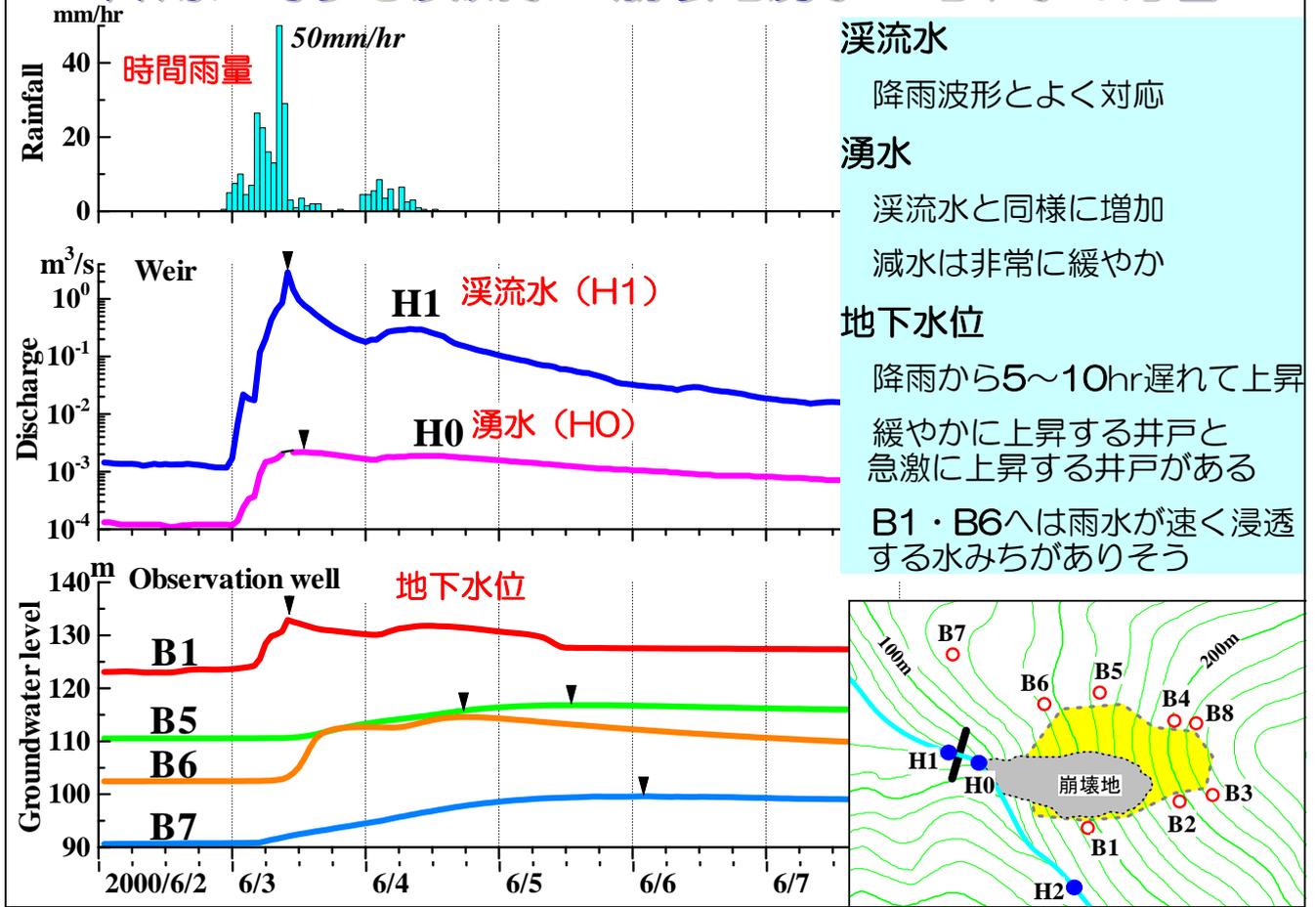
針原川流域における水文観測

深層崩壊地の地質構造

- 斜面表層は風化安山岩層 (An-w)
- 斜面上部ではAn-wの下に未風化の安山岩層 (An), 凝灰角礫岩層 (Tb)
- 斜面下部ではAn-wの下にAnはない
- Tbの下は自破碎安山岩層 (Ab)
- An-wには強風化の部分あり(帯水層)
- 縦断方向は地表面と並行してAnとTbが積み重なる
- 崩壊地でTbに落差 断層？



降雨に対する渓流水・崩壊地湧水・地下水の応答



渓流水

降雨波形とよく対応

湧水

渓流水と同様に増加

減水は非常に緩やか

地下水位

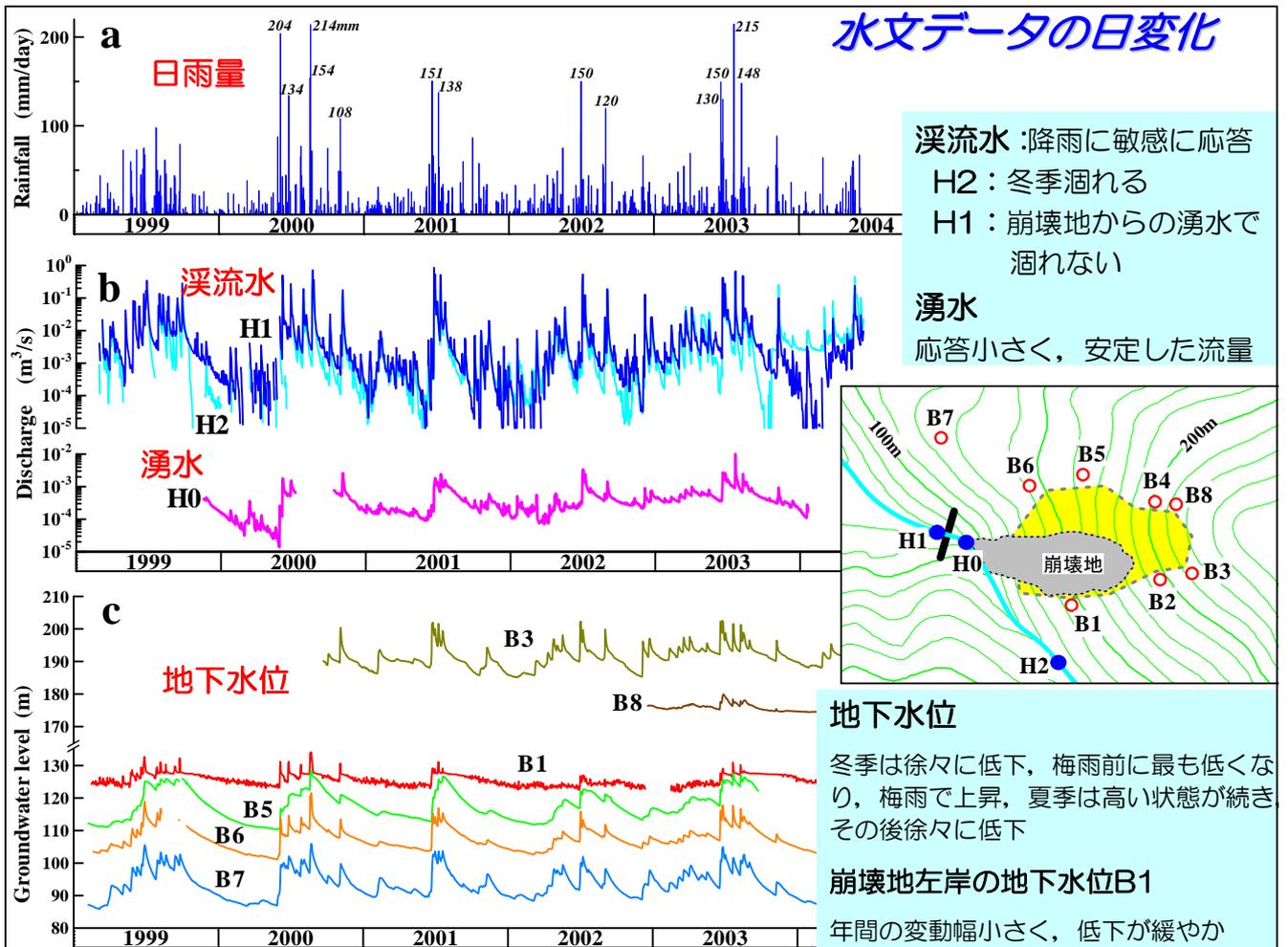
降雨から5~10hr遅れて上昇

緩やかに上昇する井戸と

急激に上昇する井戸がある

B1・B6へは雨水が速く浸透する水みちがありそう

水文データの日変化



渓流水: 降雨に敏感に反応

H2: 冬季涸れる

H1: 崩壊地からの湧水で涸れない

湧水

応答小さく、安定した流量

地下水位

冬季は徐々に低下、梅雨前に最も低くなり、梅雨で上昇、夏季は高い状態が続きその後徐々に低下

崩壊地左岸の地下水位B1

年間の変動幅小さく、低下が緩やか

針原崩壊地



深層崩壊発生場の予測法の作業

地形計測・空中写真判読・資料分析
地形(傾斜, 斜面型, 谷密度, リニアメント)
地質(構造, 断層など)
深層崩壊跡地(分布, 崩壊規模)

現地調査

水文(湧水の分布・水量・水質
溪流の流量・水質, 縦断方向の変化点)
地形(埋没地形, 段丘, 崖錐, 崩壊跡地など)
地質(深層風化, 構造, 断層, 岩質など)
崩壊・土石流堆積物(分布, 構造, 特性)
植生(斜面変動の指標植物など)

GIS

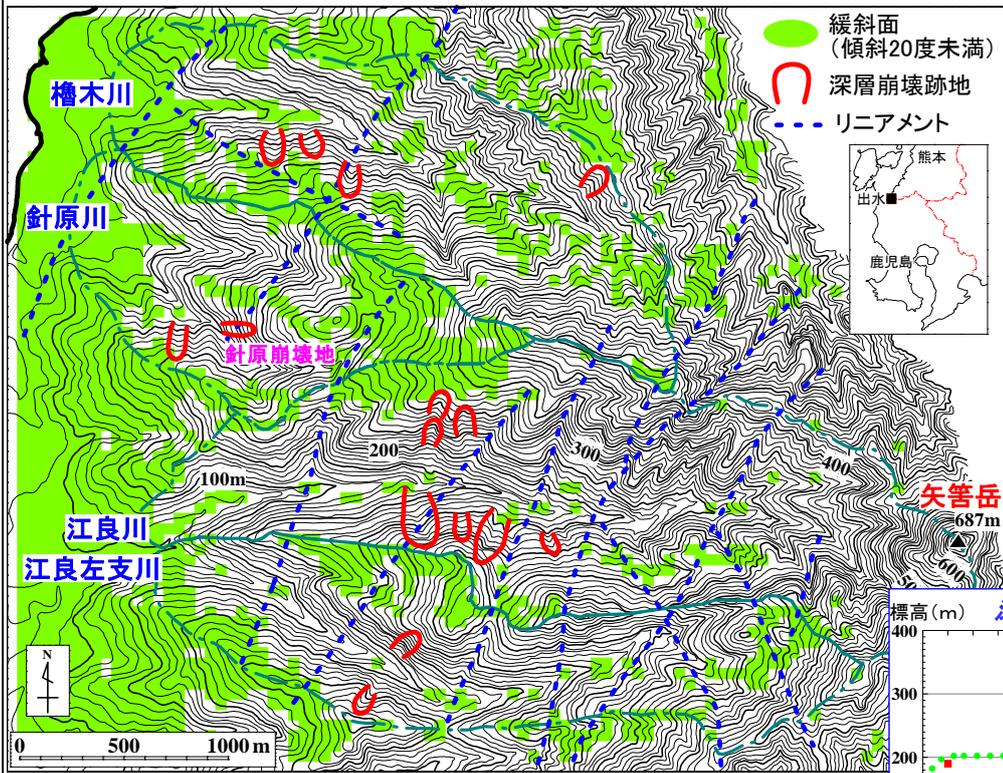
深層崩壊の危険流域・斜面の抽出

抽出された流域・斜面の危険度評価

モニタリング

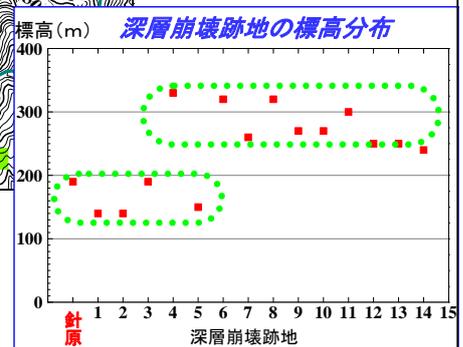
針原, 水俣, 菱刈
などの深層崩壊地
の調査結果
水文・地形・地質

深層崩壊跡地, 緩斜面, リニアメントの分布



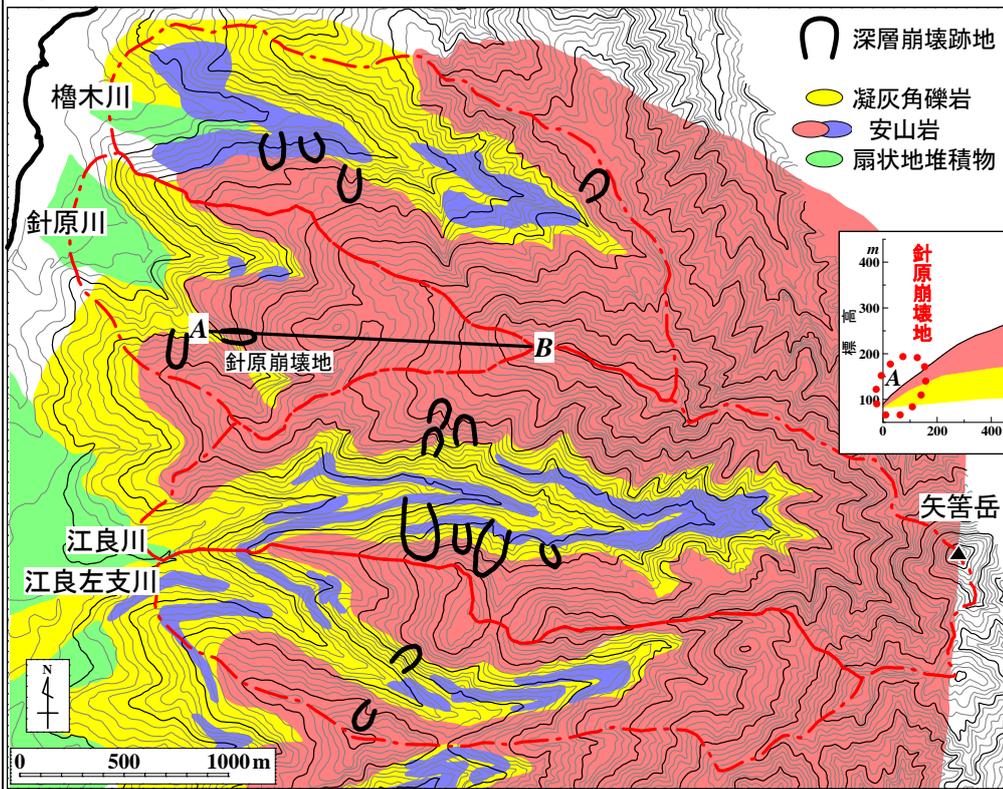
深層崩壊跡地の空中写真判読

- ▶ スプーン状に深くえぐられた凹地形
- ▶ 脚部に崩壊土砂が堆積した凸地形



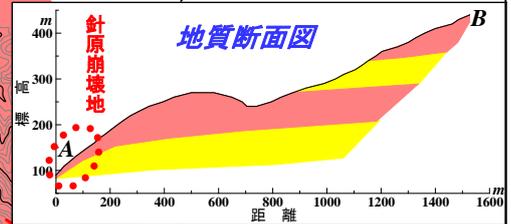
- ### 深層崩壊跡地の分布の特徴
- 標高150~200mと250~350mに分布 → 湧泉帯
 - 尾根部緩斜面の下部斜面 (傾斜20~30度) に分布 → 厚い風化層
 - リニアメントに沿って分布 → 地下深くまで破碎, 厚い風化層

深層崩壊跡地と表層地質図



調査流域の地質

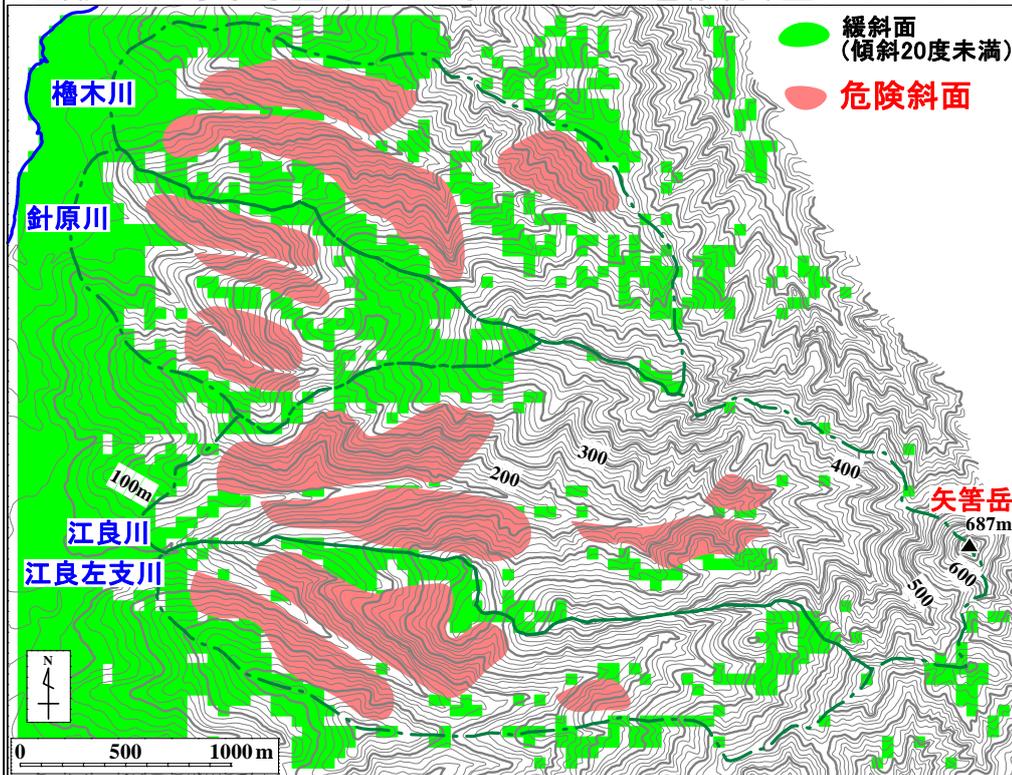
- ▶ 輝石安山岩と同質凝灰角礫岩の互層
- ▶ 凝灰角礫岩は難透水層の役割



- ▶ 針原深層崩壊は, 西に傾斜した地質構造をなす安山岩層と凝灰角礫岩層の境界で発生

- 深層崩壊跡地は, 安山岩層と凝灰角礫岩層の境界付近に分布
- 地層の境界部 → 深層崩壊発生場を抽出するための指標

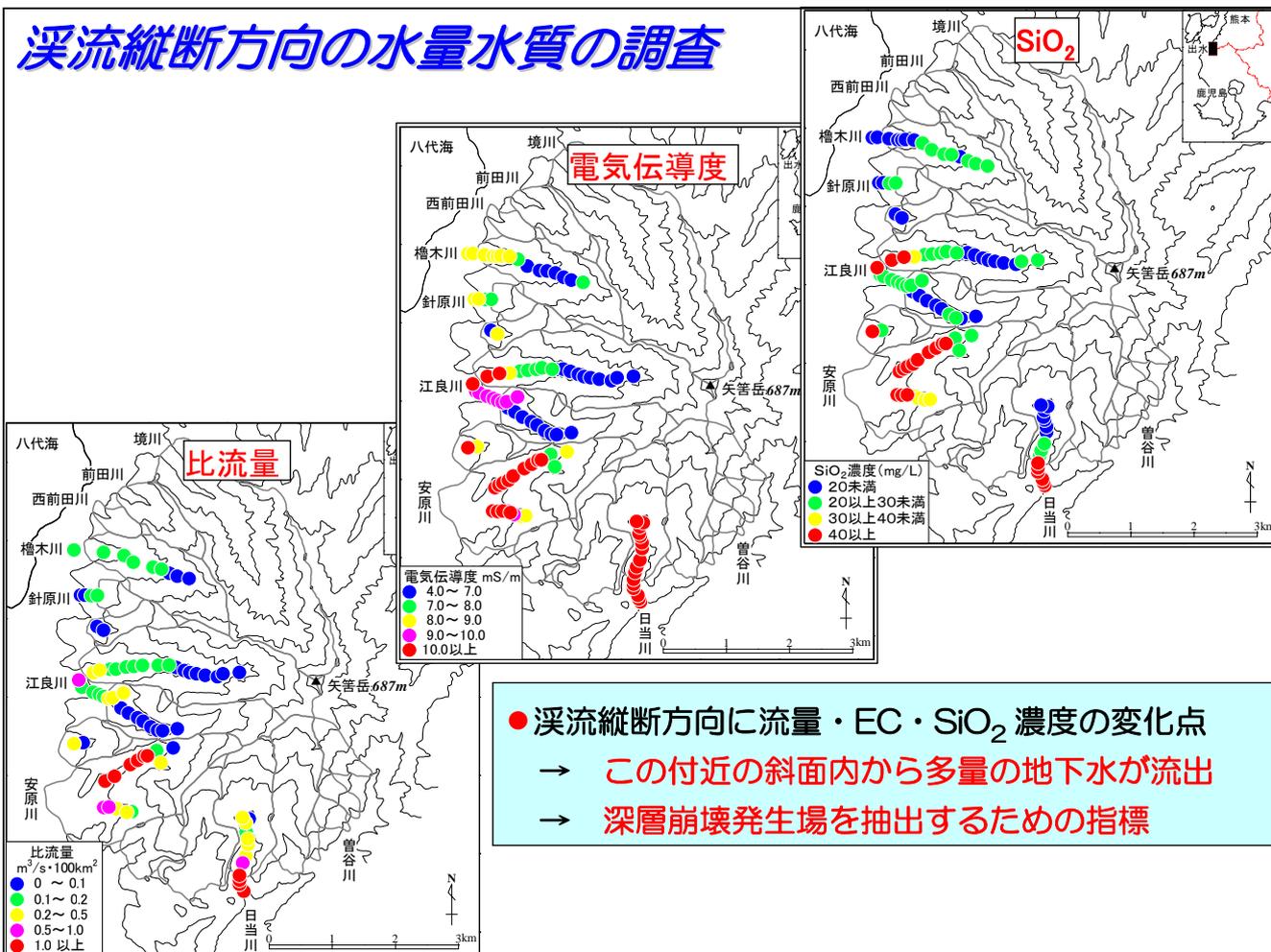
地形・地質的因子から抽出した危険斜面



深層崩壊跡地が標高150~200mと250~350mの高度域に集中，尾根部の比較的広い緩斜面直下の傾斜20~30度の斜面に分布，凝灰角礫岩層と安山岩層の境界付近に分布，この条件を満たす斜面を抽出（茶色の斜面）。

→ 地形・地質的因子から判断した深層崩壊に対する危険斜面

溪流縦断方向の水量水質の調査

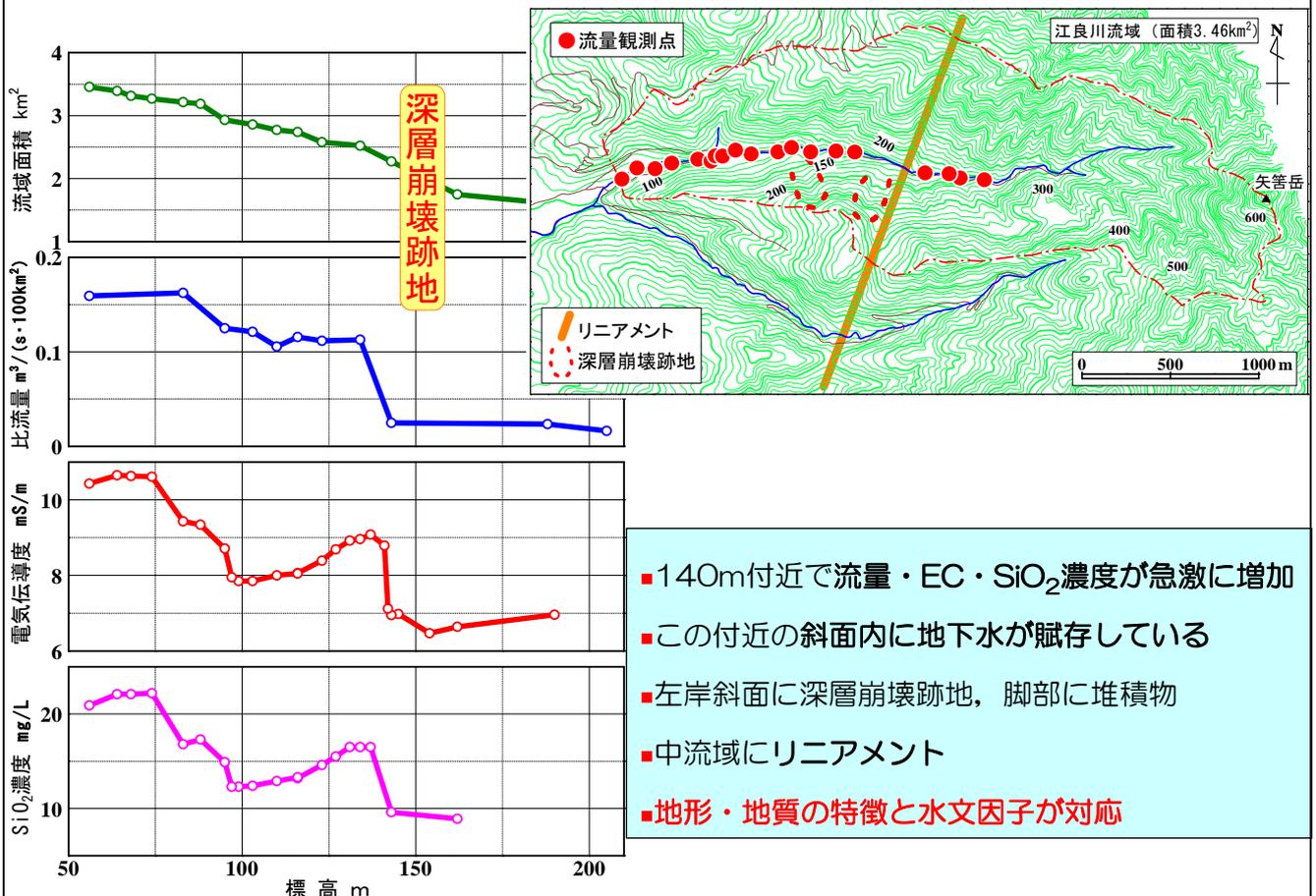


● 溪流縦断方向に流量・EC・SiO₂濃度の変化点
 → この付近の斜面内から多量の地下水が流出
 → 深層崩壊発生場を抽出するための指標

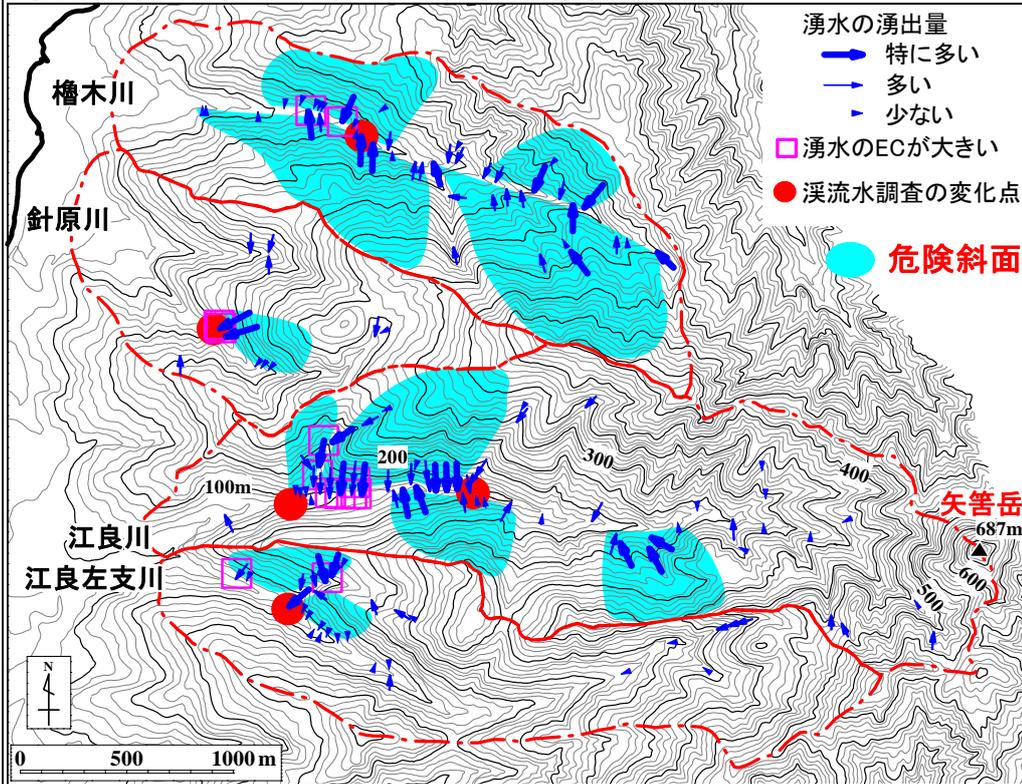
溪流での流量測定, EC測定



江良川における比流量, EC, SiO₂ 濃度の標高分布



水文因子から抽出した危険斜面



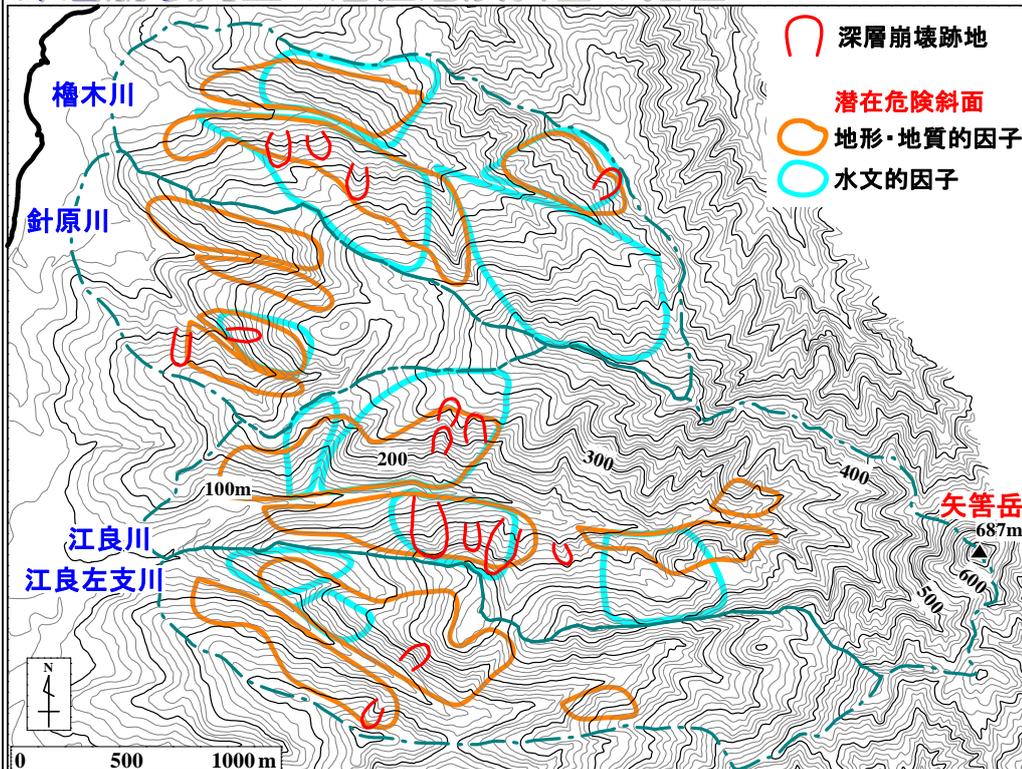
- ▶ 湧水調査
 - ・ 面的調査
 - ・ 労力 大
- ▶ 渓流水調査
 - ・ 線的調査
 - ・ 比較的容易



- ① 渓流水調査で変化点
- ② その周辺の湧水調査
- ③ 危険斜面の抽出

- ▶ ● 点周辺に湧水多い。流量・EC・SiO₂濃度の急激な変化は湧水に起因
- ▶ 湧水分布と湧出斜面を考慮して地下水貯留斜面を抽出（水色の斜面）
 → 水文因子から判断した深層崩壊に対する危険斜面

深層崩壊発生時の潜在危険斜面の抽出

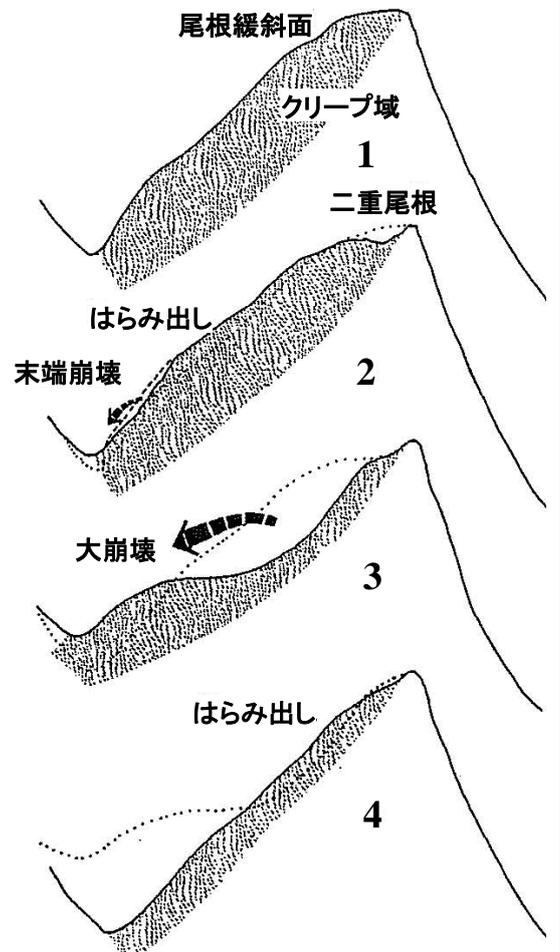


- 重なっている斜面は、**厚い風化物の存在と地下水の集中**の両方を満たしている斜面。
- 空中写真から判読した深層崩壊跡地の多くはこの両者が重なった斜面に位置。
- 深層崩壊跡地が確認された斜面は深層崩壊に対して一定期間の免疫性をもっていると考えると、それ以外の斜面が潜在的な**深層崩壊危険斜面**として抽出される。

クリープ性の 深層崩壊の発生過程

(下川・岩松, 1985)

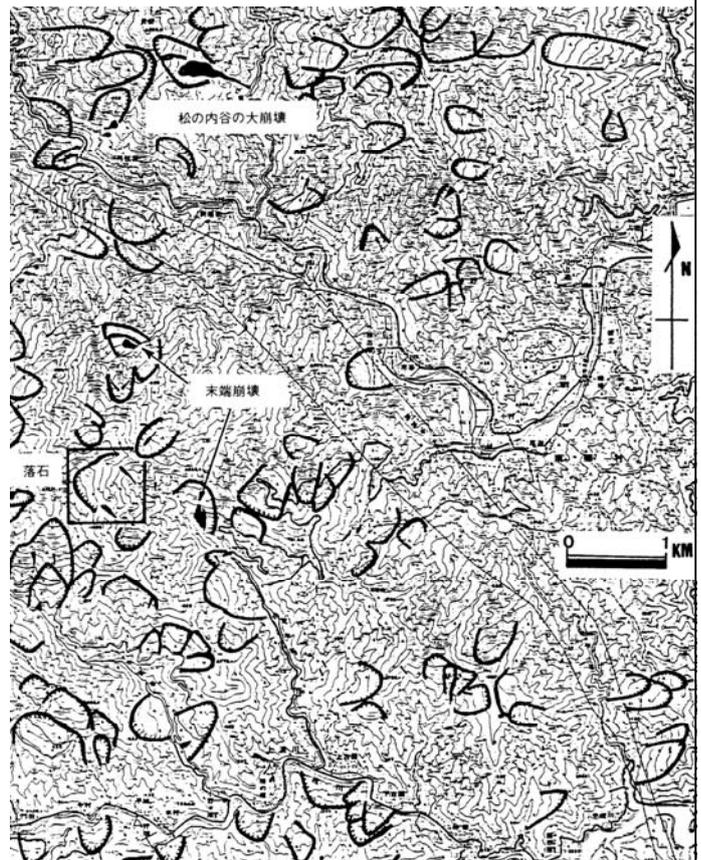
1. 長年かけて、斜面が**クリープ**し、少しずつ下方へ移動
2. その結果、尾根付近には、**引張亀裂**によって、**多重尾根**、**線状凹地**ができる。
斜面下では、小さな**崩壊**が起こる場合もある
3. 大雨や地震によって**深層崩壊**発生
4. **クリープ域**がなくなるまで繰り返す発生



クリープ性の崩壊発生場の予測

(下川・岩松, 1985)

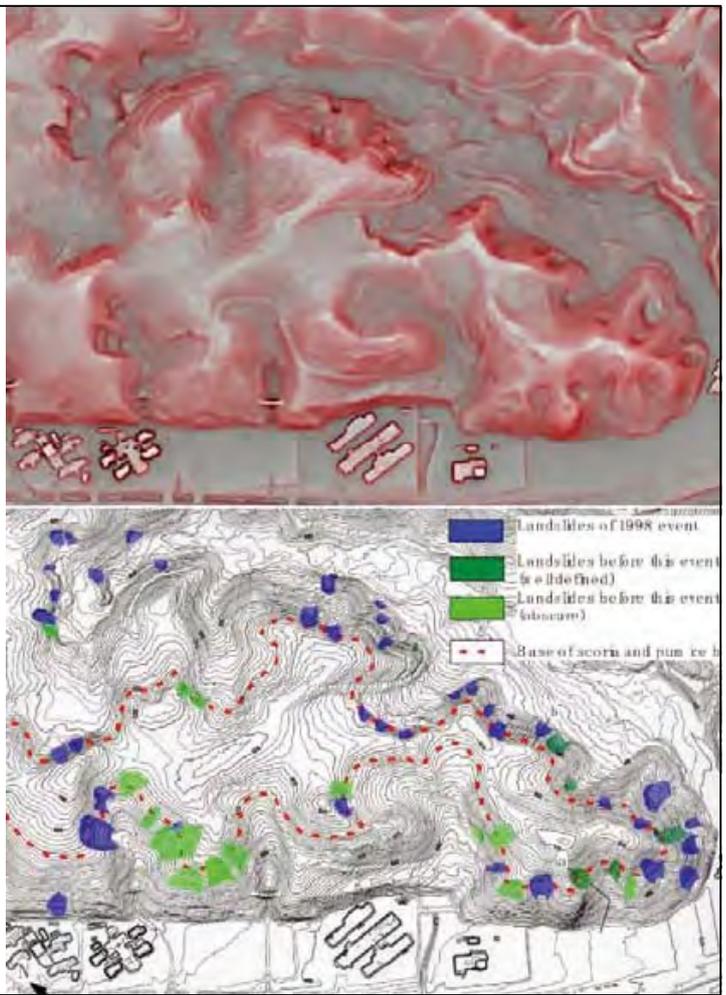
- ① **片状岩分布域**は要注意の地域
- ② 山腹から山頂にかけて**緩斜面**が存在し、**尾根が丸味**をおびている
- ③ 尾根部に**多重山稜**、**線状凹地**、**階段状地形**が発達している
- ④ **滑落崖**が存在する
- ⑤ 山頂や山腹部に新しい**引張亀裂**が存在する
- ⑥ はらみ出しを示す**凸状の山腹面**が存在する
- ⑦ **樹木の幹曲がり**がみられる
- ⑧ 中・大規模の崩壊跡地が存在する
- ⑨ クリープ域斜面下方で**末端崩壊**がみられる
- ⑩ 斜面後方からの押し出しによる河川の対岸側への湾曲がみられる



航空レーダー測量による 微地形判読

航空レーダー測量技術の活用

- 植生を透して地表を計測できる
- 古い崩壊地も抽出できる
- 広域的な崩壊分布が把握できる



(千木良, 2006)

深層崩壊発生危険度判定の考え方

地域レベルでの危険度判定

- 深層崩壊による災害地が分布している同類の地形・地質の区域を崩壊発生の可能性がある地域と判定
- たとえば、「肥薩火山域」、「片状岩分布域」など
- 1/200,000~1/100,000地形図に提示

流域レベルでの危険度判定

- 深層崩壊の分布・規模・周期から崩壊発生の危険度を評価
- 流域は土石流危険渓流として指定される大きさ
- たとえば、「針原川流域」、「江良川流域」など
- 1/50,000~1/25,000地形図に提示

斜面レベルでの危険度判定

- 火山岩地域：「**厚い風化物の存在**」と「**地下水の集中**」に注目
- 堆積岩地域：「**斜面のクリープ**」に注目
- 地形・地質・水文・植生に関する因子を用いて、この条件を満たす斜面を抽出し、斜面レベルで崩壊発生の危険度を評価
- 1/5,000~1/25,000地形図に提示

深層崩壊発生の危険度判定

警戒避難など

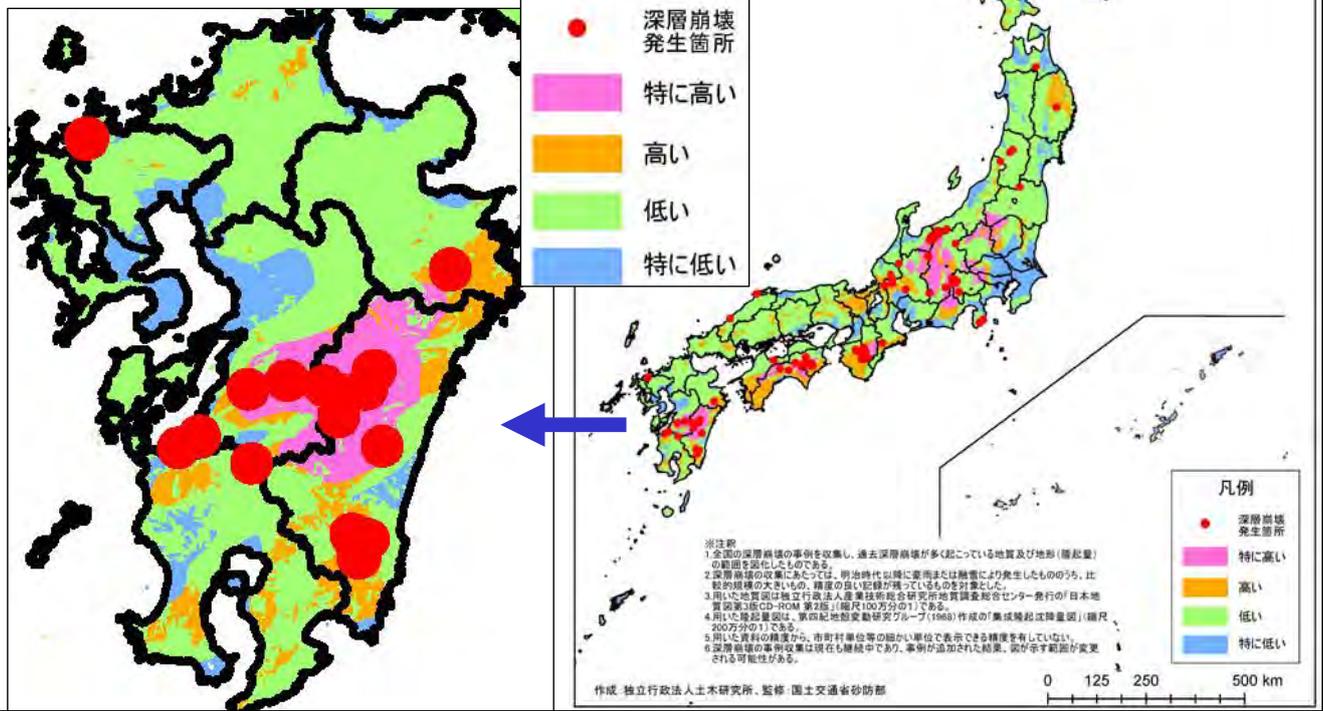
国土交通省が公開した 深層崩壊の推定頻度マップ

国土交通省資料

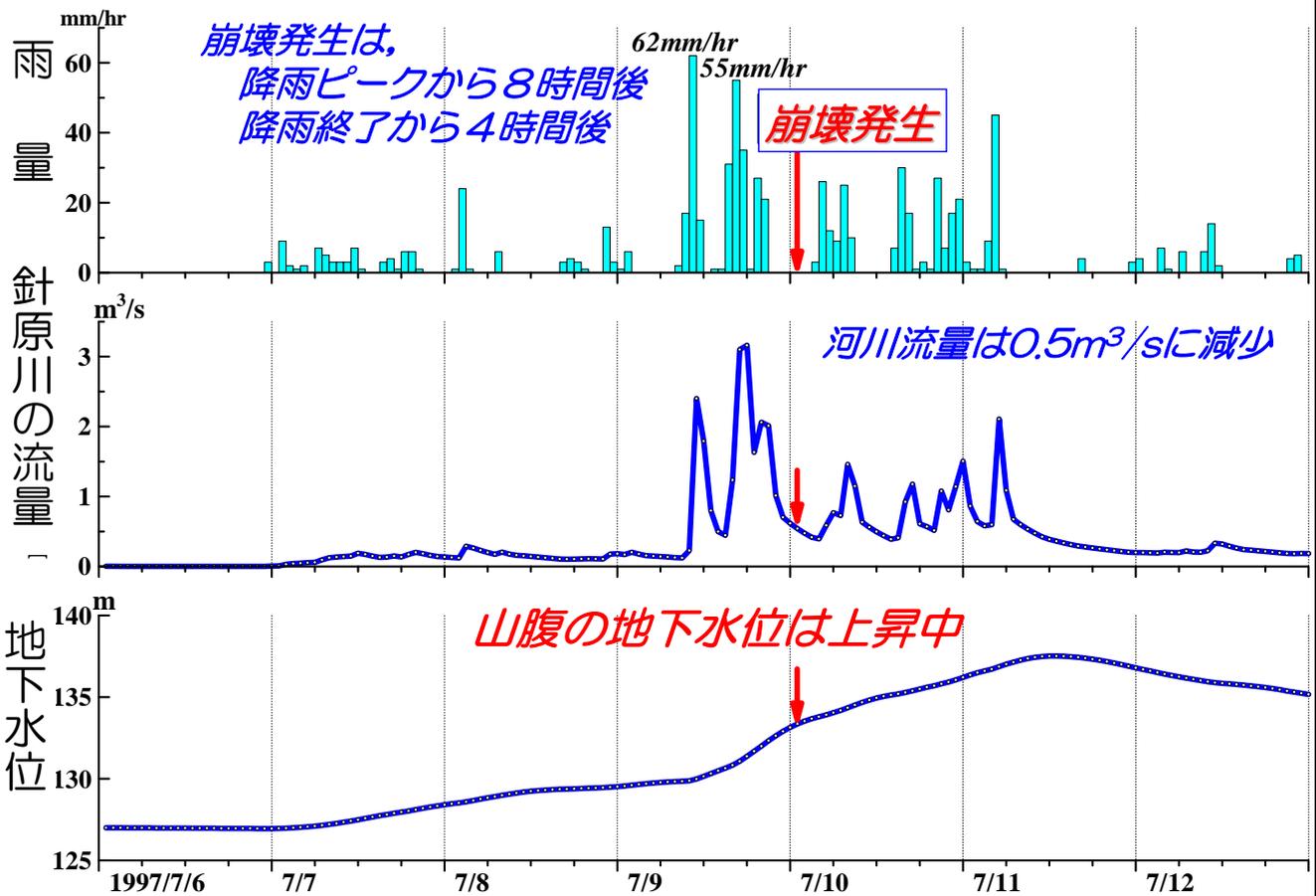
過去の深層崩壊発生事例の
分析に基づき作成



深層崩壊推定頻度マップ

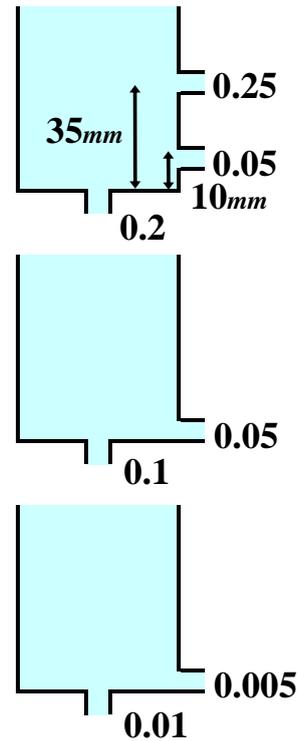


1997年崩壊時の河川流量, 地下水位の再現

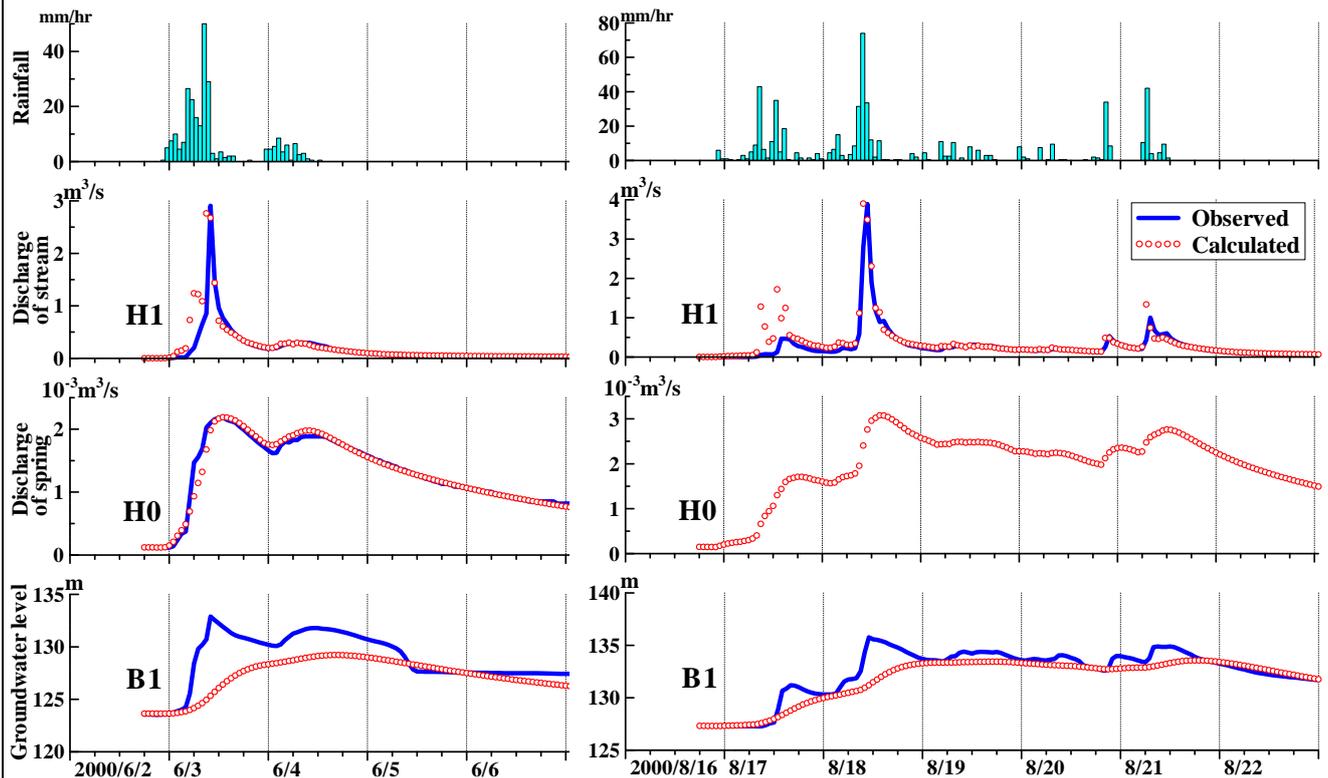


タンクモデルによるシミュレーション

- タンクモデルで、河川流量、崩壊地からの湧水流量、斜面地下水位の降雨応答を再現
- 計算は一連続雨量が100mm以上となった比較的大きな降雨9例を対象とし、計算時間間隔は1hr
- 河川流量は各段タンクの側面孔からの流出量の合計に相当
- 湧水流量には中間流出成分と地下水流出成分が関係しているとし、中段・下段タンクの側面流出量に対応すると仮定
- 地下水位は下段タンクの貯留高に対応
- 各タンクのパラメーターは実測値とモデル応答値の比較によって試行錯誤で決定
- 河川流量H1、湧水流量H0の実測値と計算値はよく一致
- 地下水位B1は全体的な傾向は表現されている。しかし雨水が素速く浸透する水みち起因すると考えられる速い応答は表現されていない。



タンクモデルによる結果



1993年 鹿児島県吉松町（湧水町）



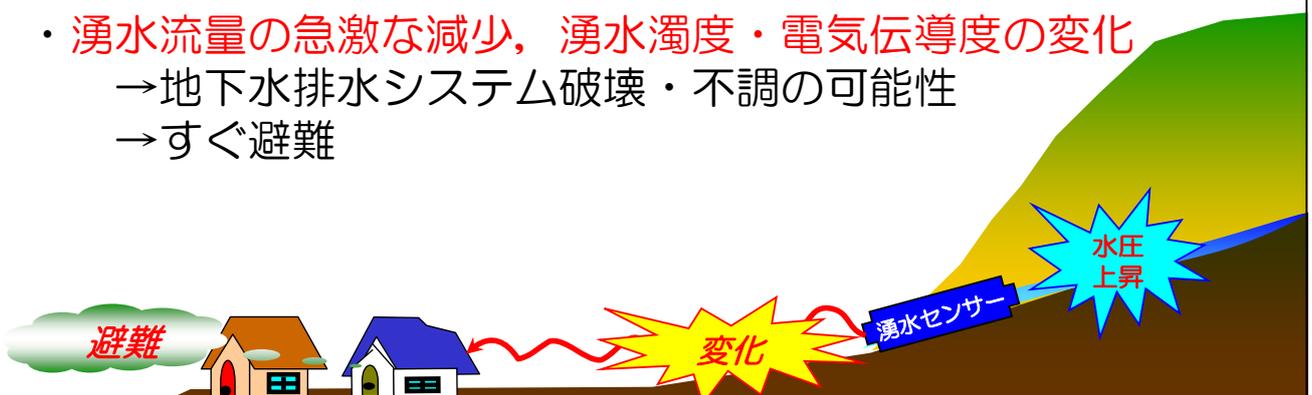
深層崩壊による土砂災害の警戒避難支援

「湧水センサー」の開発

湧水の流量，電気伝導度，濁度などの変化を検知するセンサー

たとえば

- ・ 湧水流量が増加中
→ 斜面の地下水位が上昇中と判断
→ 警戒避難を解除しない
- ・ 湧水流量の急激な減少，湧水濁度・電気伝導度の変化
→ 地下水排水システム破壊・不調の可能性
→ すぐ避難



①地形	緩勾配 地すべり地形	急勾配 非火山地域では斜面の変形等の特徴がみられる場合がある。
②活動状況	継続的、断続的に動いている。再発性。	突発性
③移動速度	小さい	大きい
④土塊	乱れない。斜面上に留まる。	乱れる。大部分が斜面から抜け落ちる。

地すべり

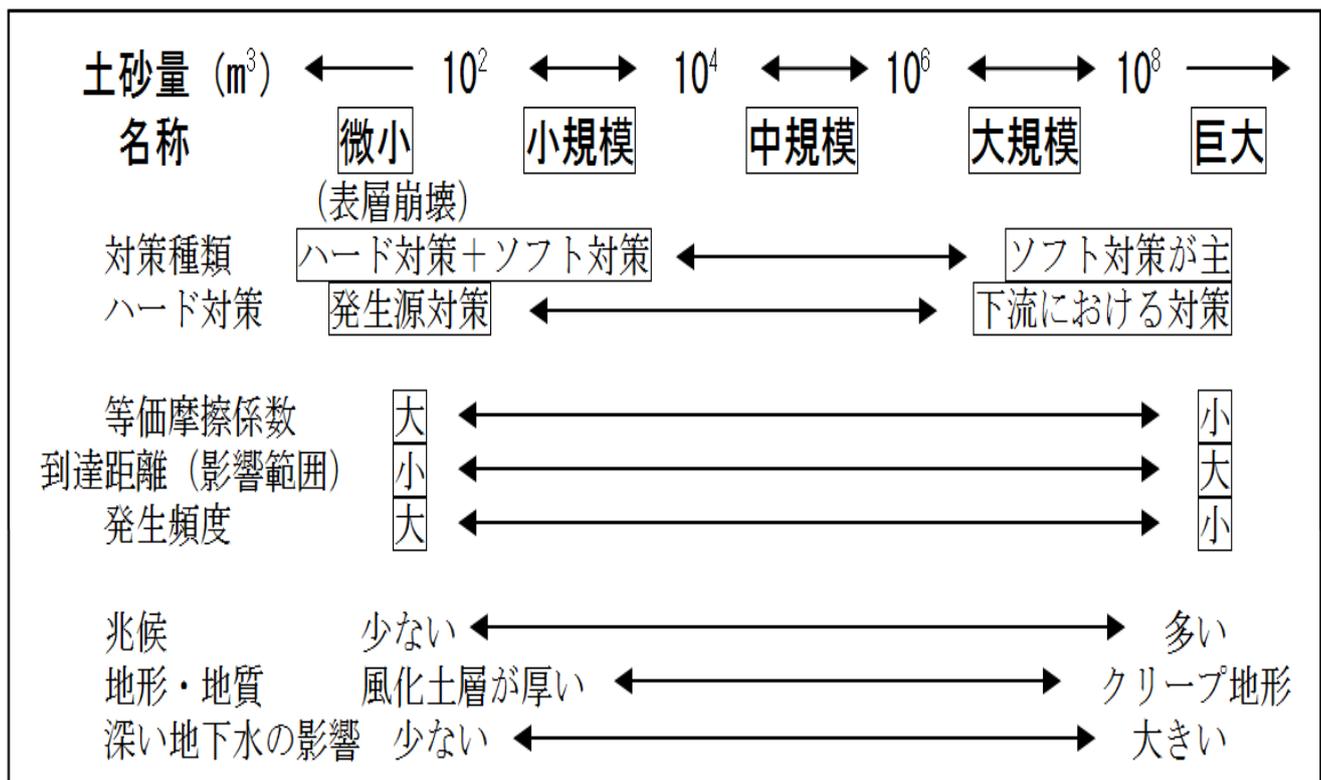
崩壊

①地質	関連が少ない	地質、地質構造（層理、褶曲、断層等）との関連が大きい。
②兆候（地形、地下水）	ほとんどない	有る場合がある。非火山地域では、クリープ、多重山陵、クラック、末端小崩壊、はらみだし、地下水位変動など
③深さ	浅い	深い
④土質	表層土	基盤
⑤植生の影響	有り	無し
⑥規模	小規模（比高小）	大規模（比高大）

表層崩壊

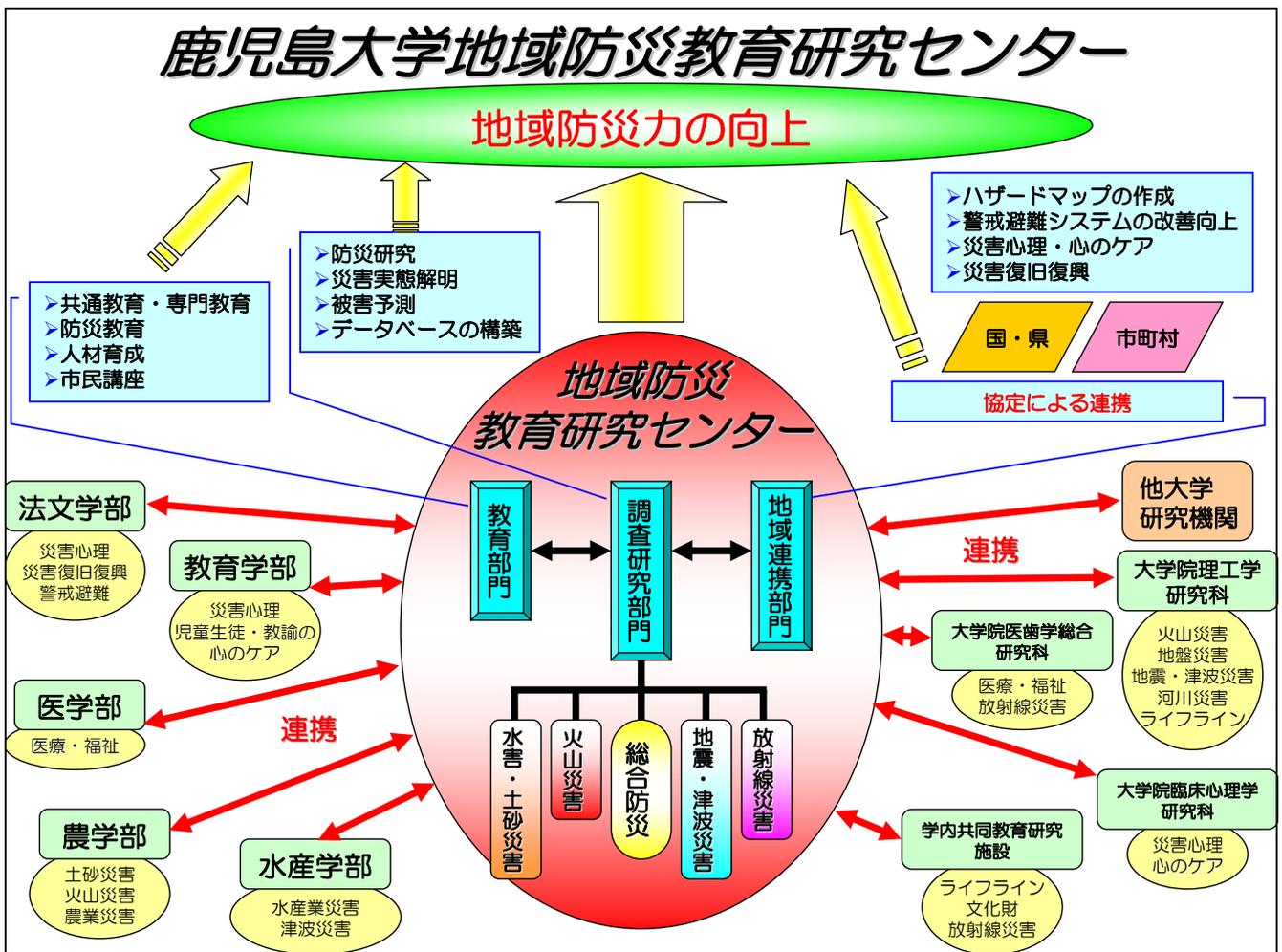
深層崩壊

表-1 深層崩壊の規模による区分



おわりに ーまとめー

- 近年の気候変化に伴い，大規模な降雨が増加
- 基盤岩から崩れる深層崩壊が目立つ
 - ✓ 深層崩壊は表層崩壊に比べて1箇所の崩壊土量が多いため被害が大きくなる場合が多い
- 2010年奄美豪雨：雨量が総量的にも強度的にも大きかった
その結果，さまざまな土砂移動現象が発生，深層崩壊も発生
- 深層崩壊発生予測の研究推進
 - ✓ 火山岩地域：「厚い風化物の存在」と「地下水の集中」に注目して，緩斜面の分布，透水層と難透水層の地質構造，溪流縦断方向の流量・EC・SiO₂濃度の変化点，湧水分布を指標に探ることができそう
 - ✓ 堆積岩地域：「斜面のクリープ」に注目して，滑落崖，多重尾根，末端崩壊，引張り亀裂，山腹のはらみ出しなどを指標に探ることができそう
 - ✓ 深層崩壊発生危険度判定：3段階（地域レベル，流域レベル，斜面レベル）で判定し，危険斜面を絞っていく



鹿児島大学地域防災教育研究センター

調査研究部門

教育部門

地域連携部門

総合防災—災害に強い地域づくり—

災害緊急対応, 災害心理・心のケア, 医療・福祉,
ライフライン, 復興復旧策, 防災対策, 警戒避難

地域防災教育研究センター

総合的防災研究

防災教育

地域連携

深層崩壊

水害・土砂災害

深層崩壊, シラス, 土石流, 崩壊予測, 防災

火山災害

桜島, 霧島新燃岳, 降灰, 溶岩流, 火砕流, 被害予測, 防災

異常気象, 集中豪雨, 台風

地震・津波災害

海溝型・直下型地震, 被災地予測, 防災

地震活動期

桜島噴火

シラス災害

放射線災害

放射線, 被害予測, 防災

*Thanks for
your
listening*

鹿児島大学農学部
地頭 隆 (JITOUSONO Takashi)
E-mail: saboj@agri.kagoshima-u.ac.jp



Sakurajima Volcano