

(公財)農学会・日本農学アカデミー 公開シンポジウム  
「自然から災害に備える」  
2019年3月9日 13:00~17:30 東京大学農学部 弥生講堂

# 深刻化する土砂災害に どう向き合うか？

堀田 紀文  
東京大学大学院  
農学生命科学研究科

## ＜本日の話題＞

土砂災害とその対策の概要

- － 法整備とハード対策・ソフト対策

伊豆大島での研究・・・参考事例として

- － 詳細な調査で災害の予測精度向上

- － そのためには住民主体の対策を

これからのこと

- － 土砂災害の深刻化

- － 流域の管理／森林の管理

まとめ・・・新たな国土のグランドデザインを





# 土砂災害が頻発している

## 平成30年 全国の土砂災害発生状況 (10月31日時点)

国土交通省

※平成30年7月豪雨及び平成30年北海道胆振東部地震については調査中のため暫定値

### 土砂災害発生件数

**3,312件**

土石流等： 956件

地すべり： 125件

がけ崩れ： 2,231件

#### 【被害状況】

人的被害：死者 161名  
：負傷者 31名  
人家被害：全壊 220戸  
：半壊 345戸  
：一部損壊 325戸

4/11  
がけ崩れ



死者6名

なかつし やばいまち  
大分県中津市耶馬溪町

7/6  
がけ崩れ



死者2名

きたきゅうしゅうしもく  
福岡県北九州市門司区

9/8  
がけ崩れ



死者19名

ゆうふつぐんあつまちようしのちく  
北海道勇払郡厚真町吉野地区

7/6  
土石流等



死者12名

あきぐんくまのちようかわすみ  
広島県安芸郡熊野町川角

### 土砂災害発生順位

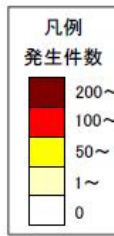
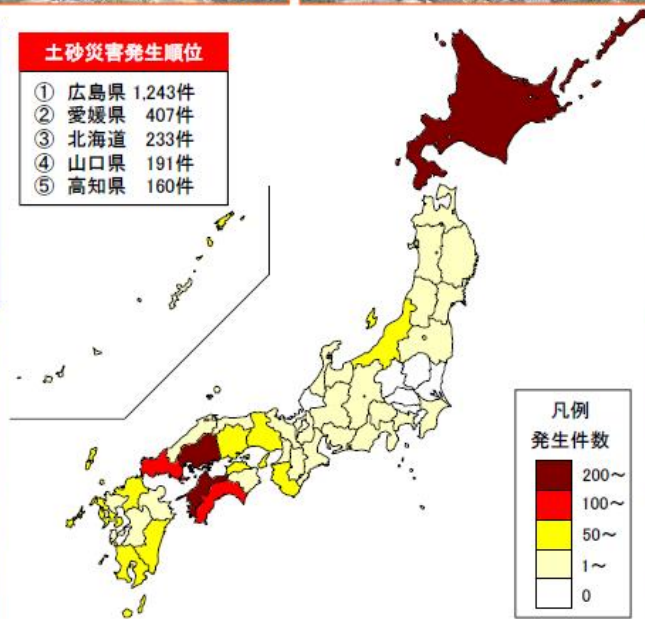
- ① 広島県 1,243件
- ② 愛媛県 407件
- ③ 北海道 233件
- ④ 山口県 191件
- ⑤ 高知県 160件

7/7  
土石流等



死者4名

うわじまよしだちよう  
愛媛県宇和島市吉田町



9/8  
がけ崩れ



死者2名

ゆうふつぐんあつまちようたかおからく  
北海道勇払郡厚真町高丘地区

3/10  
地すべり



地すべり発生  
みょうこうし ながわ  
新潟県妙高市長沢

- ・ 気候変動に伴い今後の頻発も予想
- ・ 住民目線での「レジリエンス」は、死者ゼロ

(国土交通省資料より)



# 土砂災害の対策

## 契機となった災害など

国土の荒廃・相次ぐ水害

昭和32年 西九州地方で地すべり災害

昭和42年 西日本豪雨によるがけ崩れ災害  
(長崎, 佐賀, 広島など)

平成11年 広島豪雨災害

平成16年 新潟・福島・福井での豪雨被害

平成16年 新潟県中越地震

平成20年 岩手・宮城内陸地震

平成26年 広島豪雨土砂災害

## 土砂災害対策に関する法制度

明治29年 河川法

明治30年 森林法・砂防法:砂防指定地・砂防工事の規定

昭和33年 地すべり等防止法  
地すべり防止区域での工事が可能に

昭和44年 急傾斜地法  
(急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律)  
崩壊危険斜面の調査, 崩壊防止工事, 損失補償

平成12年 土砂災害防止法  
(土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推関する法律)  
土砂災害のおそれのある区域を明らかにし, 警戒避難態勢の整備などのソフト対策を規定

平成17年, 22年 土砂災害防止法の一部改正  
ハザードマップによる周知の徹底, 大規模な土砂災害時の国による緊急調査の実施と土砂災害緊急情報の市町村への提供

平成26年 土砂災害防止法の一部改正  
都道府県による基礎調査結果公表の義務付け, 土砂災害警戒情報周知の義務付けなど

- 災害→対策→災害→対策...の繰り返し
- 今後のソフト対策の重要性





# かつての「里山」

（「全国植樹祭60周年記念写真集」から）



甲州市塩山萩原山 明治末頃

萩原山恩賜県有林当時の落合集落

写真提供：東京都水道局

## 「砂防法」は国土保全のためだった。





# 土砂災害のハード対策 (砂防広報センター資料)



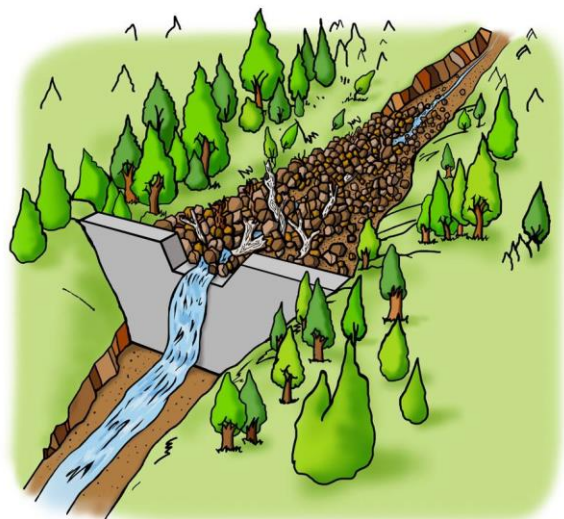
土石流



地すべり



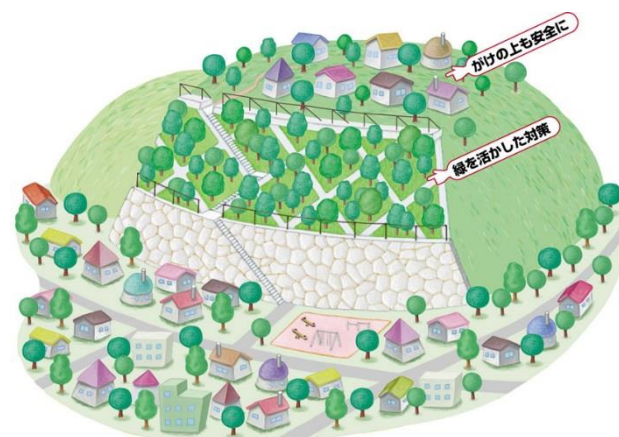
表層崩壊・がけ崩れ



砂防堰堤(ダム)



地すべり工事



山腹工事





# 土砂災害のソフト対策(土砂災害防止法)

- 土砂災害警戒区域の警戒避難態勢の整備  
－ 土砂災害の種類ごとに定められている。

## 急傾斜地の崩壊

※傾斜度が $30^{\circ}$ 以上である土地が崩壊する自然現象



## 土石流

※山腹が崩壊して生じた土石等または溪流の土石等が一体となって流下する自然現象



## 地すべり

※土地の一部が地下水等起因して滑る自然現象又はこれに伴って移動する自然現象

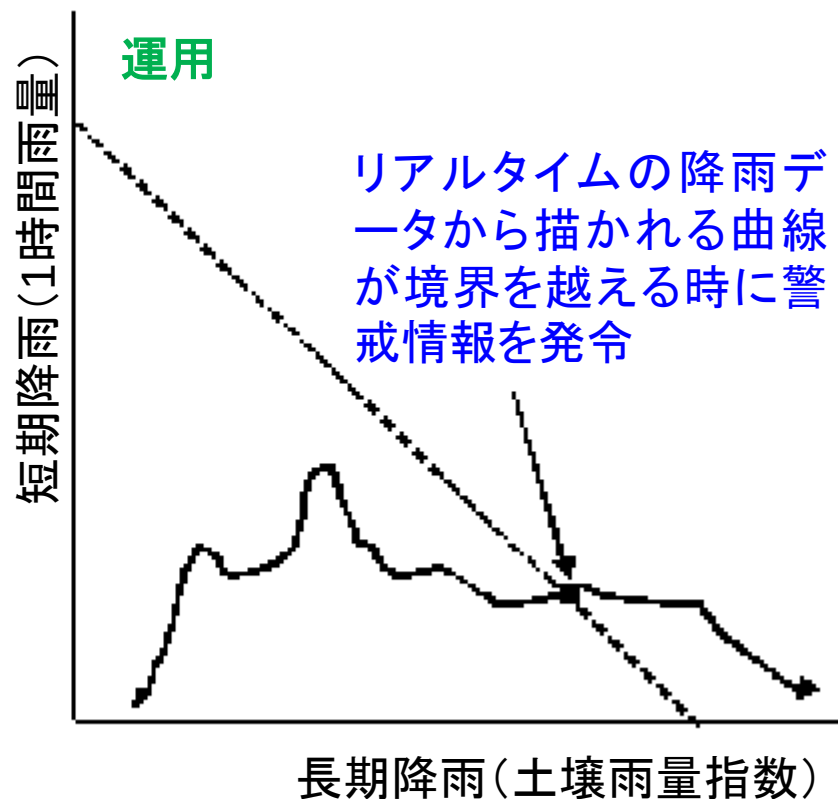
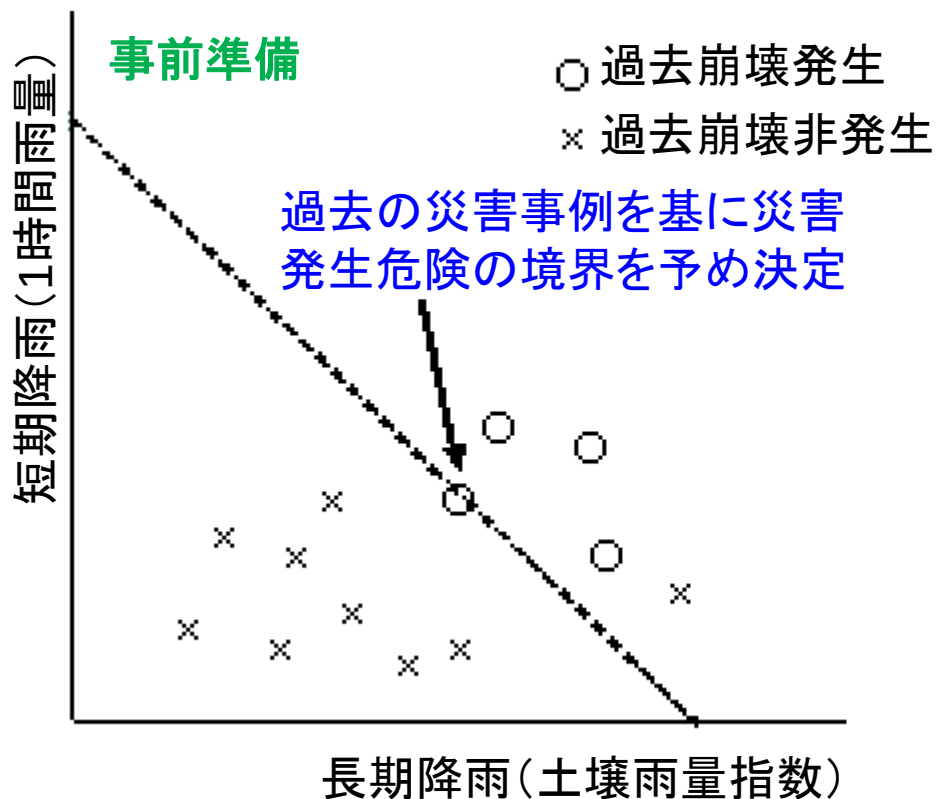


(国土交通省資料より)



# 警戒・避難はいつすれば良いか？

- 避難勧告などは**土砂災害警戒情報**に基づく  
－「危険な雨」を検知する



※危険境界の求め方は実際にはもっと高度.

※短期予測の併用で, 事前に土砂災害警戒情報を発令する.



# ハード対策 vs. ソフト対策

- 費用について
  - 公共事業として実施
  - 砂防ダム1つの「値段」: 1億～20億円
  - 土石流危険渓流: 18万カ所(全国), 整備率22%  
(「砂防」の年間予算: 950億円...20年前は3,500億円...)
  - 気象庁の年間予算: 570億円
- ハード対策を継続していくとしても, 現実的に, ソフト対策も進めるしかない.
- ソフト対策の現状は?





# 土砂災害警戒情報の成績, 今後は？

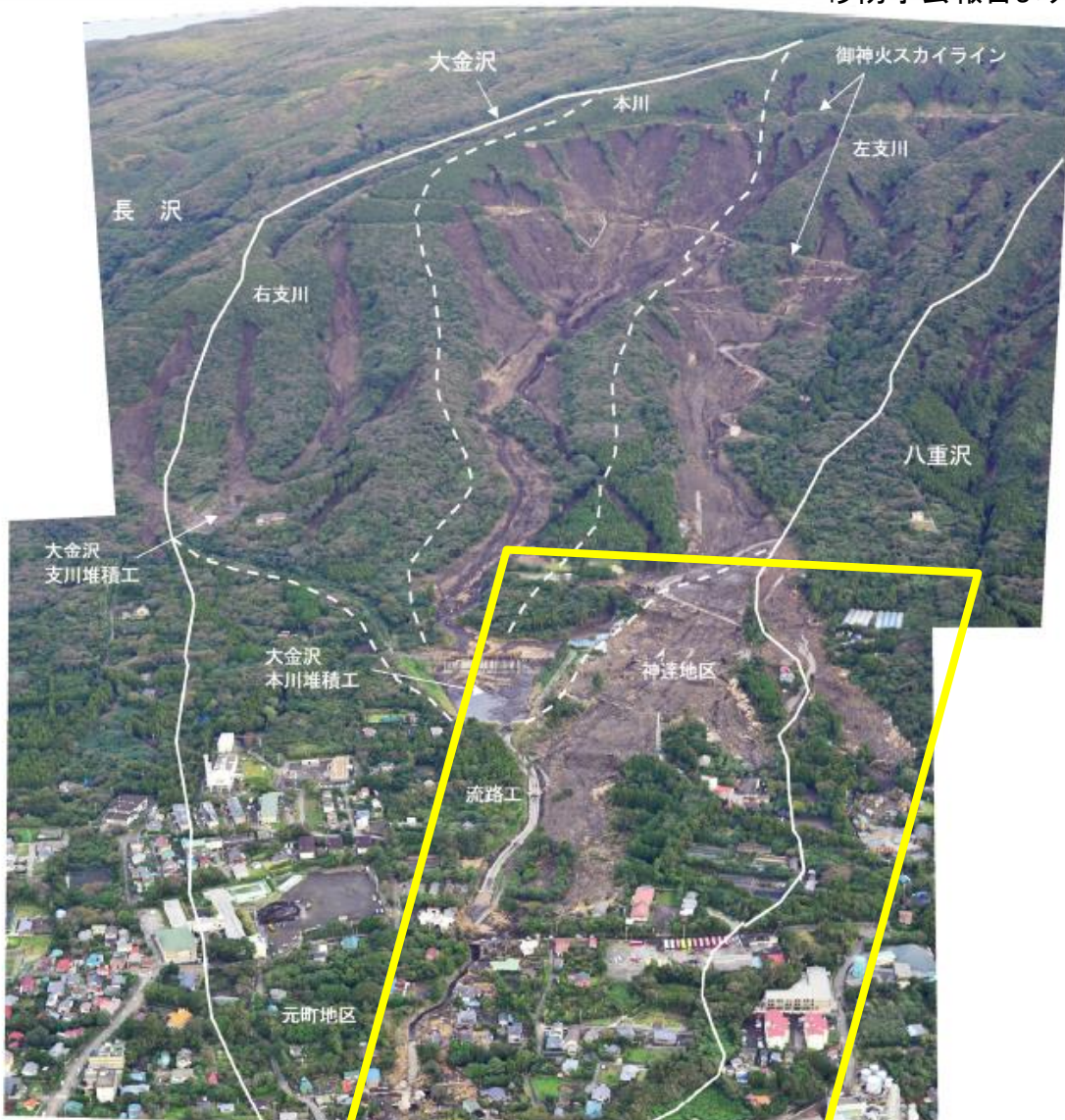
- 「的中率」は数% ?!
  - ただし, 「捕捉率」は7~8割.
- これは土砂災害警戒情報の「性格」によるもの
  - 個別の災害危険個所の特性は考慮せず.
  - 広域に対して同一の基準を適用.
  - 安全側で運用, など.
- 死者ゼロを目指すために
  - 土砂災害発生 of 予測精度向上は可能か?
    - できるだろう.
  - それをどのように社会に実装するか?
    - 住民による災害の理解と, 自主的な行動が必要.



# 土砂災害のプロセス研究：伊豆大島の例

砂防学会報告より

2013年10月23日 産経新聞より



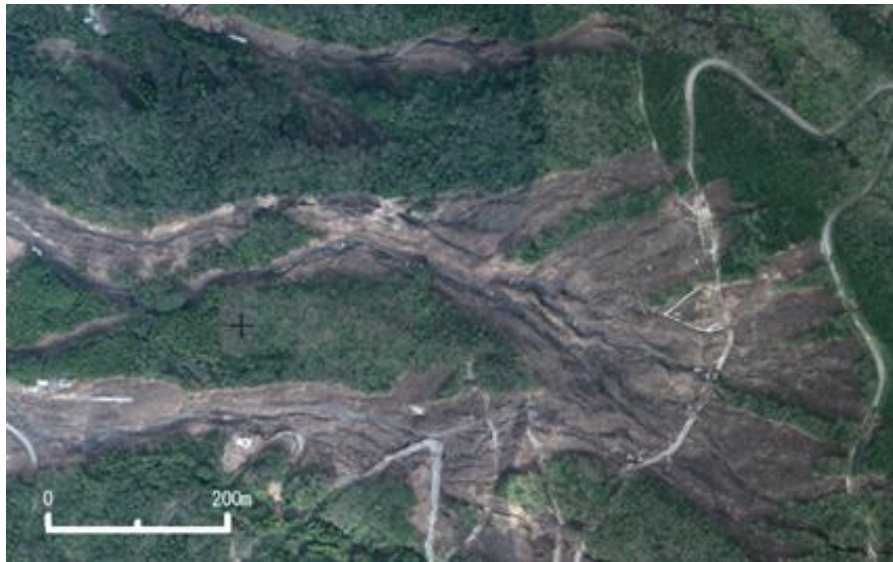
2013年10月16日 台風26号により発生  
死者36名, 行方不明者3名  
家屋全壊137, 半壊77, 一部損壊186戸

避難勧告は出なかった。

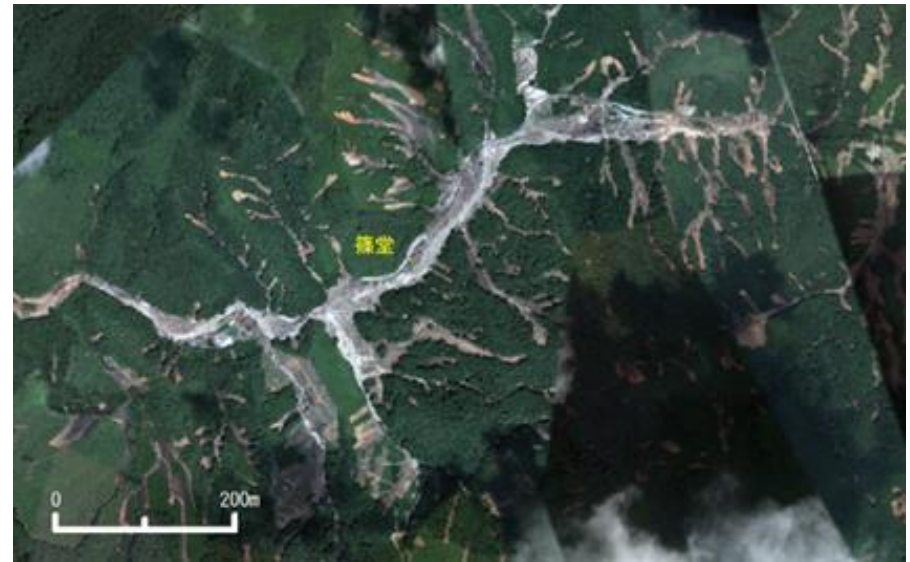


# ■ ■ ■ 土砂災害（表層崩壊）の発生形態

- 平成25年の伊豆大島災害では、豪雨による森林斜面での崩壊発生が災害の契機となった。
  - － 崩壊は浅く、広がった。
  - － 通常の表層崩壊と異なる発生形態：メカニズムも？
    - ↑ 谷部での崩壊が主体：雨水が地下の岩盤によって集められる



## 2013年伊豆大島

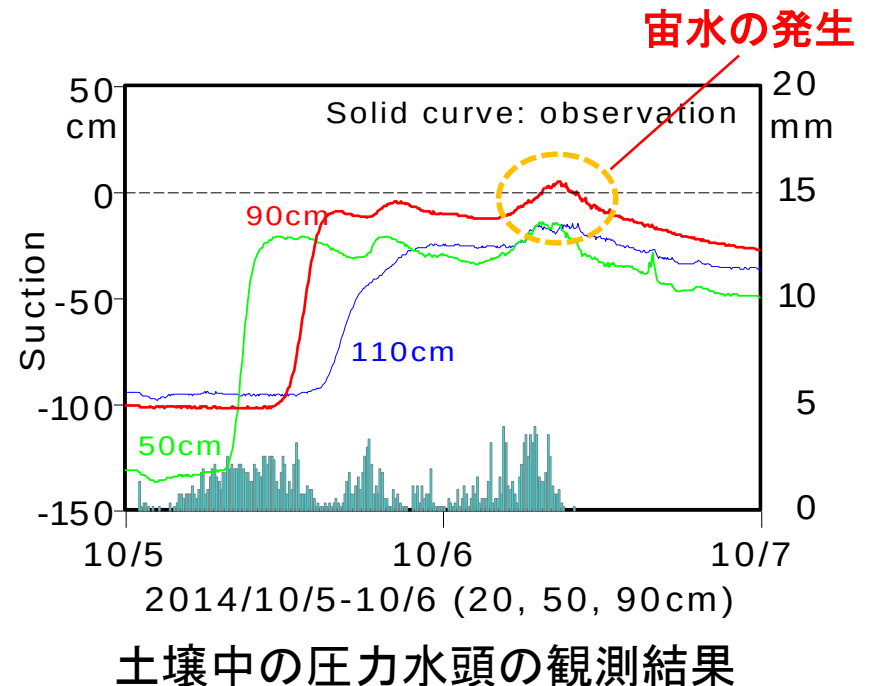
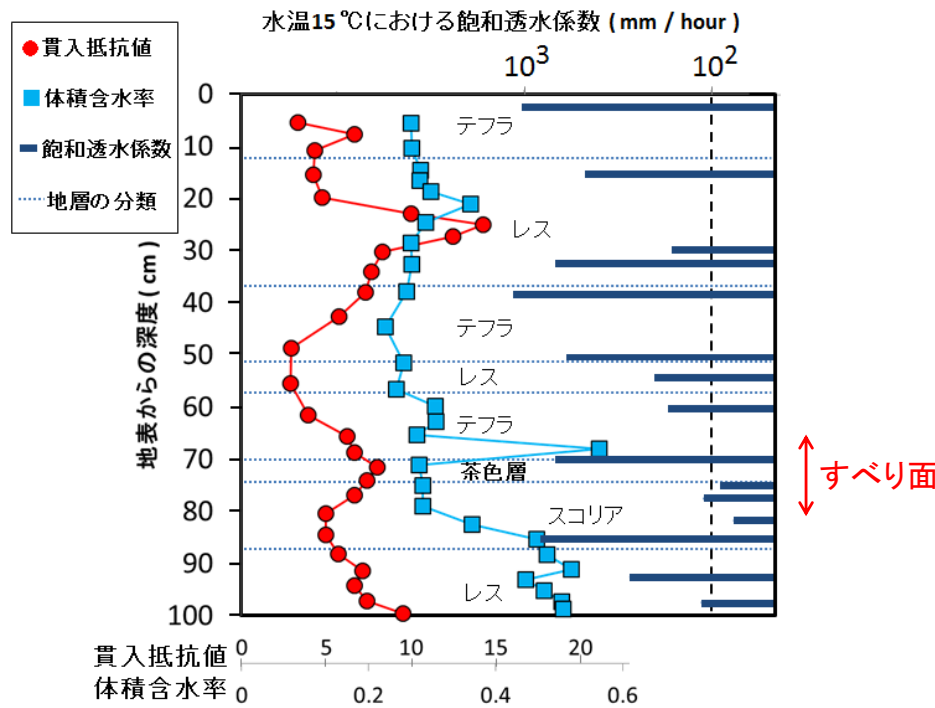


2010年広島県庄原市

## 表層崩壊の発生形態 （国土地理院の写真を加工）

# 研究の背景：火山地域の特徴？

- 異なる透水性をもつ土層の多層構造（テフラ成層）により，集中豪雨時に**広範囲でほぼ均一な地下水位発生** → **安全率低下？（作業仮説）**
  - 「表層崩壊」が広域で発生したことを説明可能.
  - 火山地域は透水性が高い・・・谷部への集水はない？







# 研究対象地・現地調査

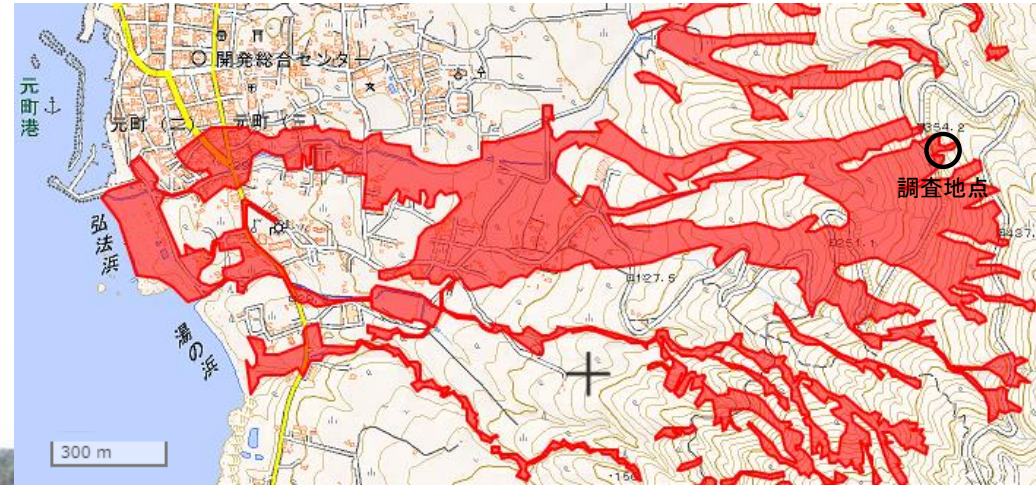
大金沢上流崩壊地(外縁部)

勾配33~40度

(P1付近: 33~35度)

崩壊深: 50~60cm(上部)

崩壊深: 80~100cm(下部)



雨量(林外・林内: P1)

土壤水分: P1

(テンシオメーター・TDR)

土層構造: P1~P6

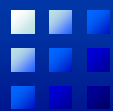
土壤サンプル採取・分析

京都大学・小杉氏撮影

# 研究の方法・目的

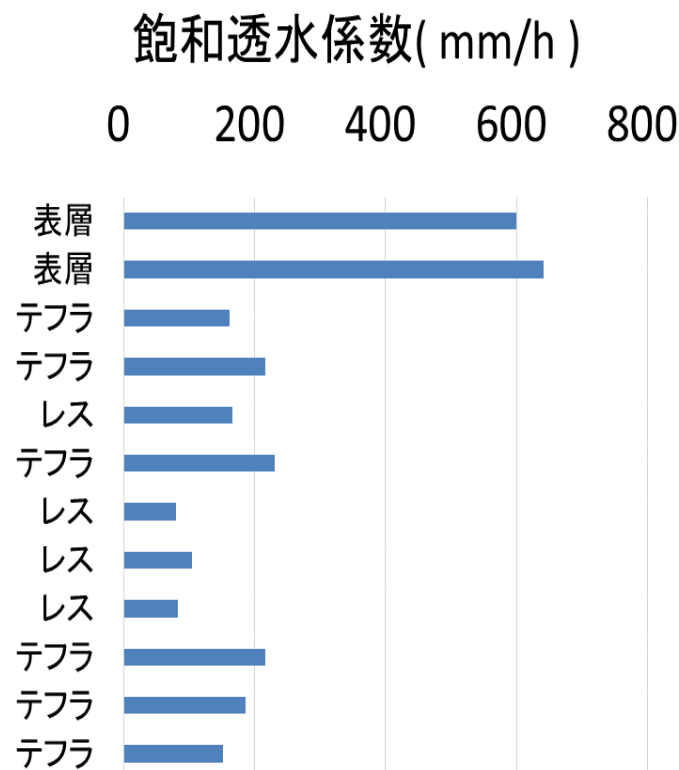
- 現地調査・観測で、詳細なデータを取得
- 鉛直(1次元)浸透計算による地下水位の再現
  - 観測結果との比較から浸透計算の再現性を検証.
- 過去の豪雨イベントに対する斜面安定解析
  - 過去の地下水位形成を浸透計算で再現したうえで,
  - 平成25年を含む過去の崩壊発生・非発生イベントとの対応を比較.
- 「作業仮説」は合っているのか？
  - 火山地域での土砂災害の取り扱いを検討





# 実条件を反映した浸透計算の準備

## ・土層構造や透水係数など／計算領域の設定



P1.5地点の土層構造

レス層・テフラ層に透水性の違い

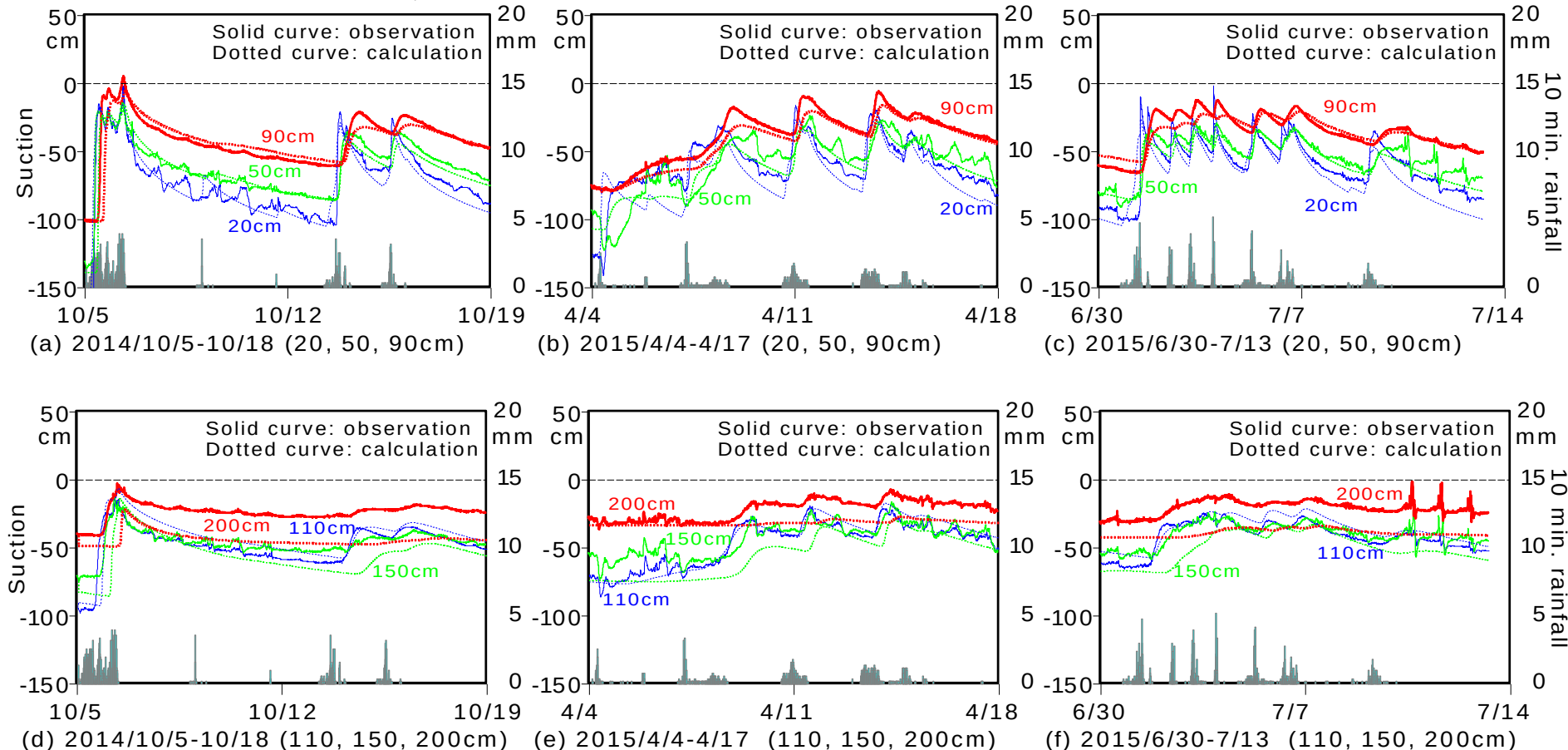
|                |                                    |
|----------------|------------------------------------|
| 表層土            | $K_s: 500 \text{ mm/h}$<br>深度20cm  |
| テフラ<br>(火山噴出物) | $K_s: 165 \text{ mm/h}$<br>深度90cm  |
| レス<br>(平時の堆積土) | $K_s: 80 \text{ mm/h}$<br>深度150cm  |
| テフラ<br>(火山噴出物) | $K_s: 120 \text{ mm/h}$<br>深度210cm |

透水試験の結果やP1地点  
付近の層構造を参考に決定



# 結果：浸透計算と観測結果の比較

実線：観測結果， 破線：計算結果



土壌中の圧力水頭の観測結果と浸透計算の比較

- 計算は観測結果を概ね良好に再現
  - 過去の地下水位を推定可能に. 斜面安定解析も.





# 斜面安定解析の準備

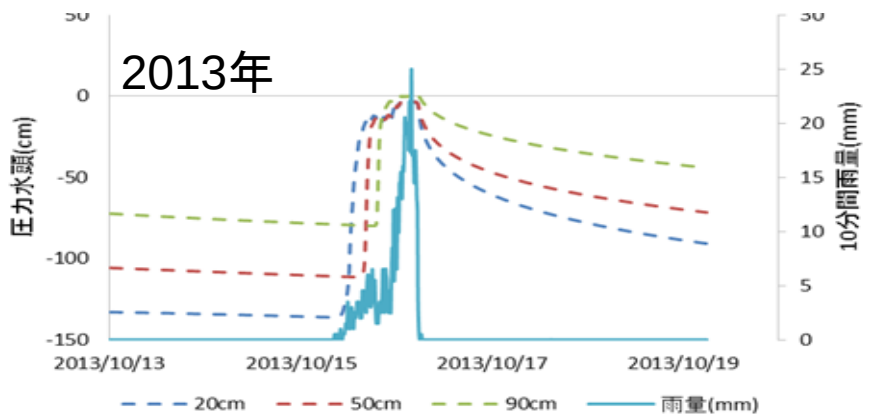
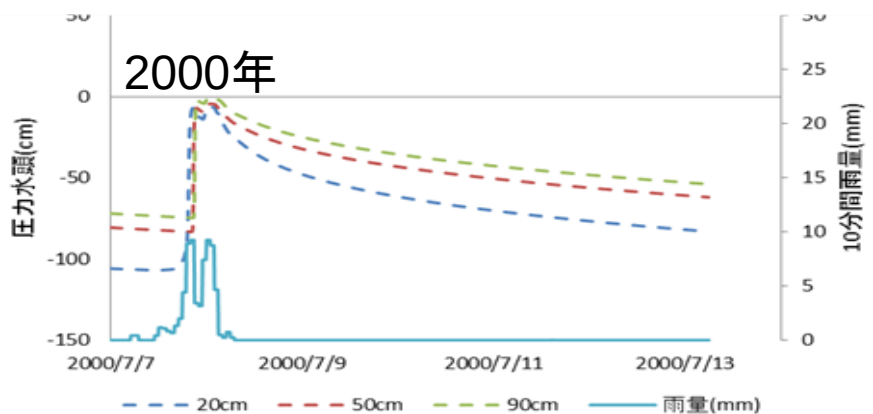
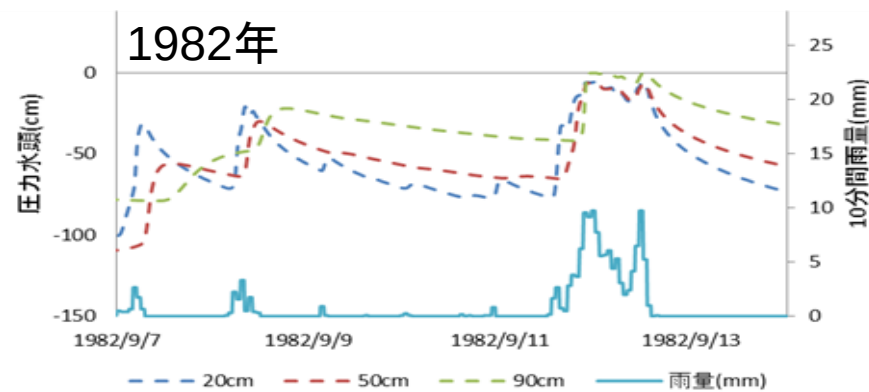
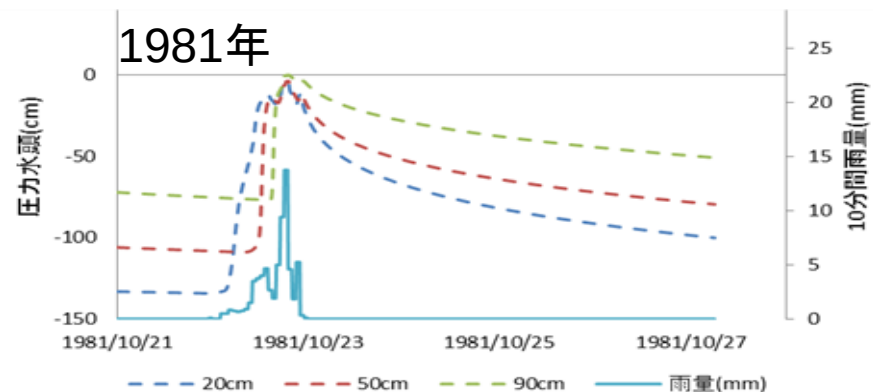
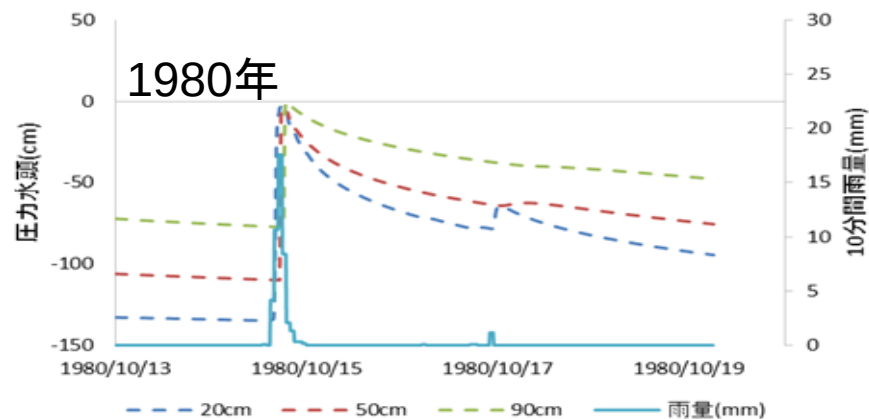
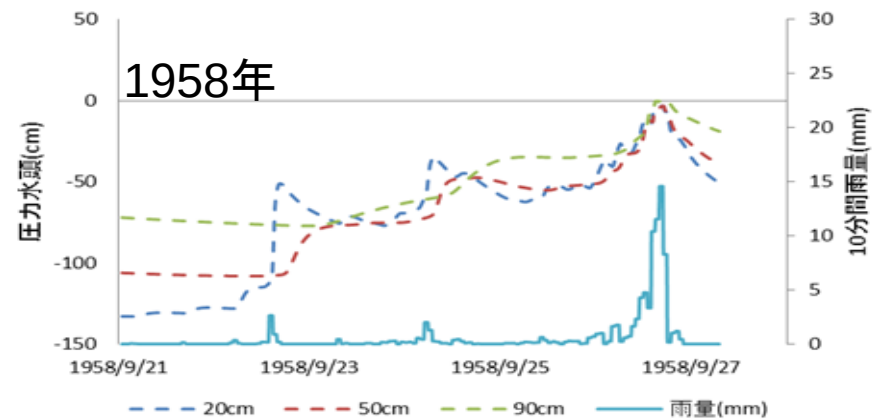
- 計算対象とするイベントの選定
  - 豪雨は総雨量と3時間雨量に着目して選定

対象とした豪雨イベント(9イベント) ○ : 斜面崩壊発生

| 年                                                                                    | 開始時刻        | 終了時刻        | 総雨量(mm) | 最大 3 時間雨量(mm) |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|---------|---------------|
| <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px;">1958 年</span> | 9/21 3:00   | 9/26 22:00  | 536.9   | 219.1         |
| 1972 年                                                                               | 7/14 18:00  | 7/16 16:00  | 397.6   | 101           |
| 1980 年                                                                               | 10/14 14:00 | 10/15 1:00  | 271     | 220           |
| 1981 年                                                                               | 10/22 0:00  | 10/23 1:00  | 403.5   | 169           |
| 1982 年                                                                               | 9/6 8:00    | 9/12 17:00  | 851.5   | 171           |
| 1990 年                                                                               | 11/27 15:00 | 11/30 21:00 | 544.5   | 98.5          |
| 1996 年                                                                               | 9/21 20:00  | 9/22 17:00  | 346     | 133           |
| 2000 年                                                                               | 7/7 6:00    | 7/8 8:00    | 416     | 152.5         |
| <span style="border: 1px solid red; border-radius: 50%; padding: 2px;">2013 年</span> | 10/15 8:00  | 10/16 7:00  | 824     | 334           |



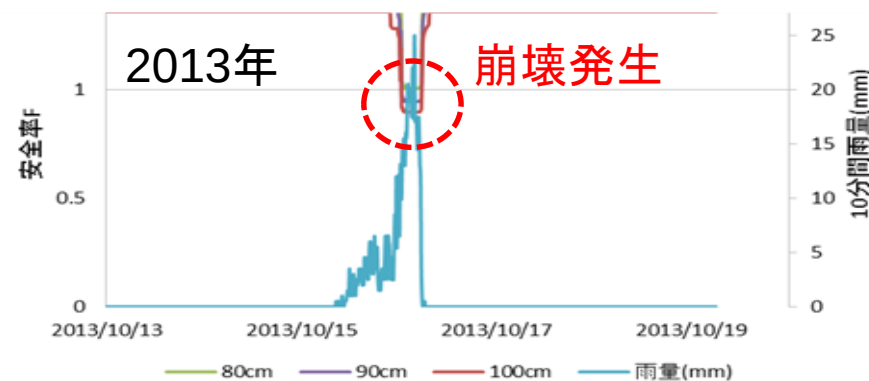
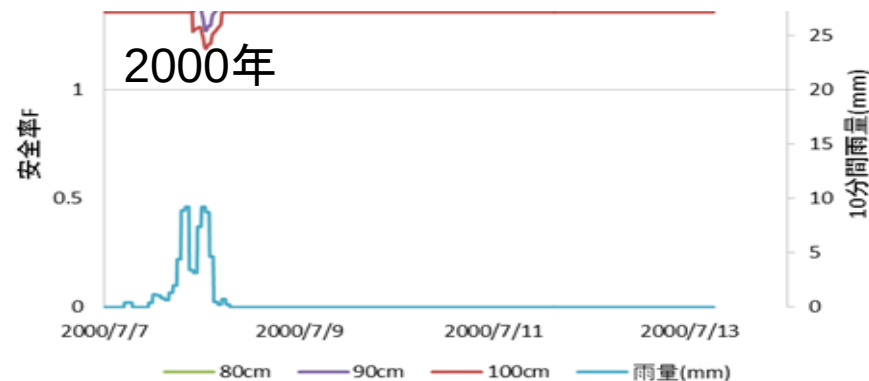
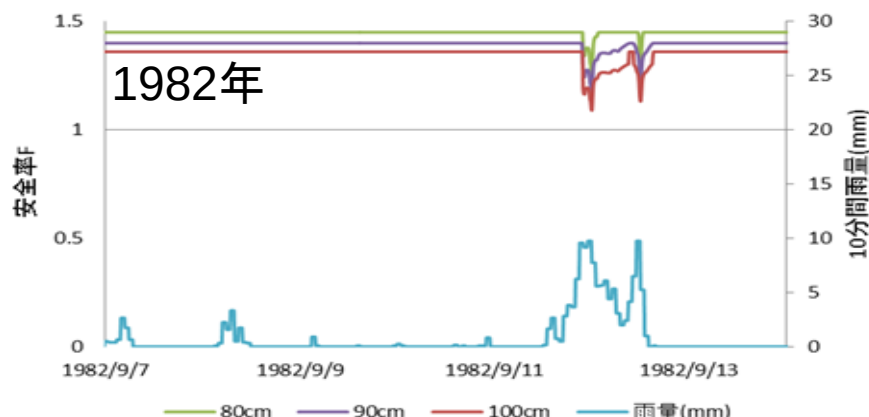
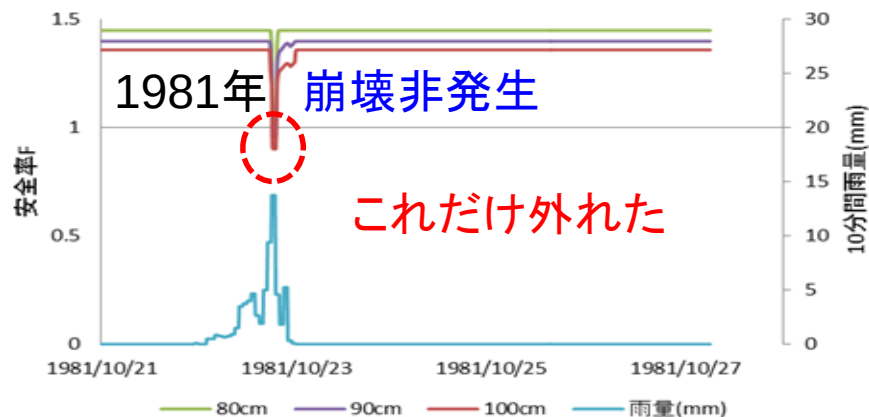
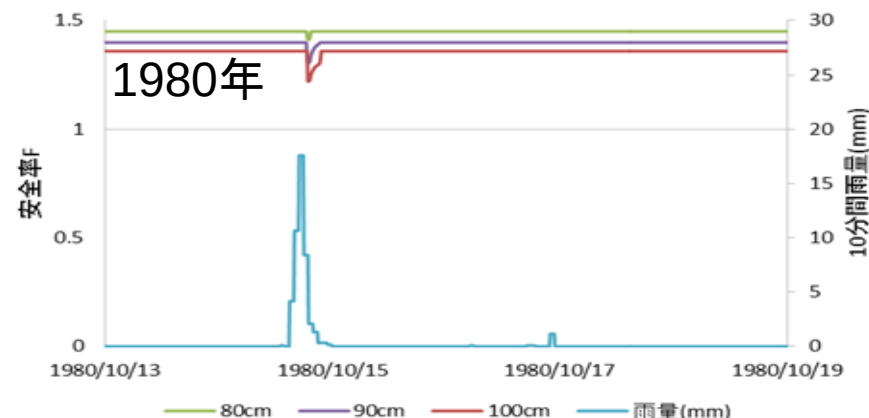
# 結果：地下水位(6/9イベント)







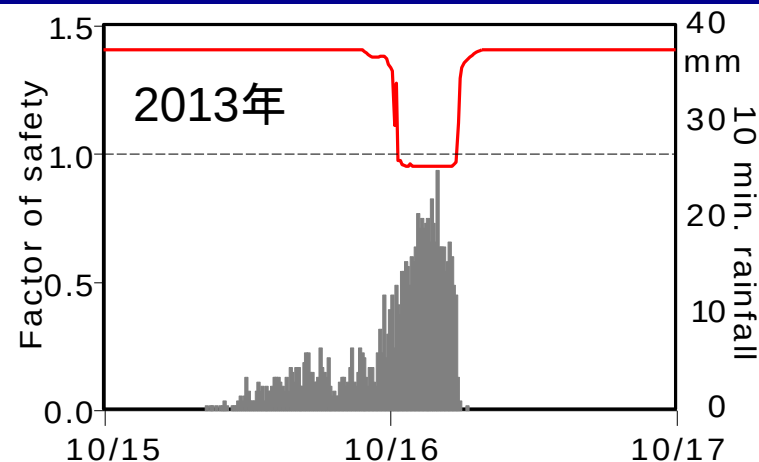
# 結果：安全率→崩壊発生・非発生を判定可能





# 考察

- 2013年の崩壊について
  - 10/6 1:00~5:20に不安定化.
  - 実際の崩壊発生時刻と対応.  
10月16日午前2時から3時に5回の  
大規模な振動記録(国総研・土研,2015).



- 1981年の(非崩壊)豪雨イベントについて
  - 安全率が1を下回る時間は他の2イベントと比較して短い.
  - 比較的一様な現地斜面にも勾配やすべり面にばらつき.  
→危険部位がある程度の面積に達してから崩壊発生?
- 作業仮説は正しかった: 火山地域特性
  - 地下水の岩盤上での移動による集水は考慮しなくて良い.
  - 降雨量だけでなく, 降雨パターンが重要.
  - これまでと異なる対策が必要. しかし, 予測は可能.



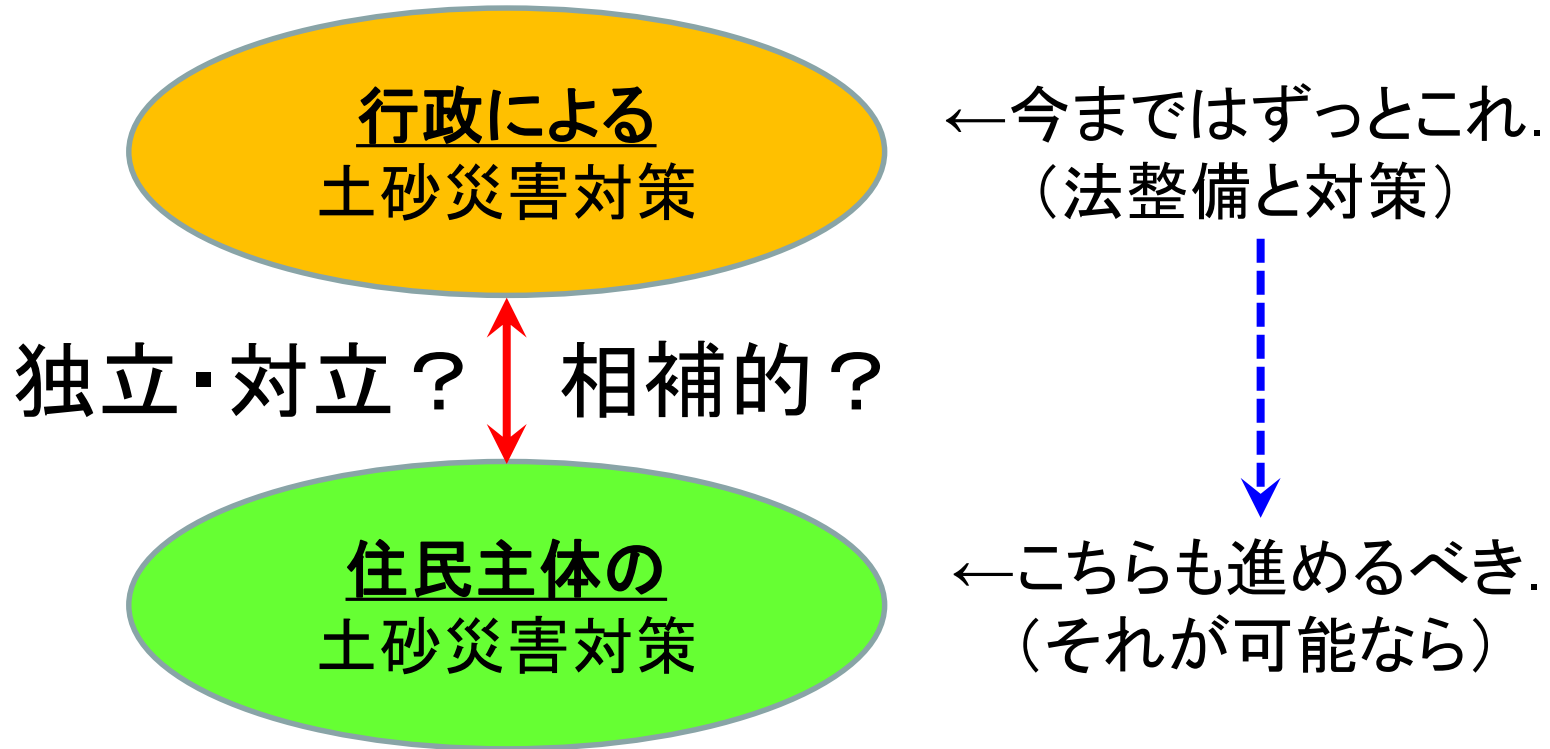


# プロセス研究を今後の対策に反映するには？

- 詳細なプロセス研究が土砂災害発生予測の精度向上に繋がるという実例を見た。
  - しかし、前述のように土砂災害には種類とそれに対応した発生メカニズムがあり、場所ごとに条件も異なる。
- どのように対策に繋げていけば良いのか？
  - 実際に危険箇所の情報を取得し、個々に検討するしかない。
  - それは現実問題として可能なのか？ → 行政には難しい
- 科学技術の進歩に対応した住民意識の変化
  - 警戒避難に利用可能なさまざまな技術レベルの向上。
  - 各種の民間サービスも登場。
  - 自分たちがどのような土砂災害の危険に直面しており、その回避にどのような選択肢があるか、を知ることによって効果的な自主警戒避難が可能になるし、さらなる選択肢の増加に繋がる。



# 「ガバメント」と「ガバナンス」



- ・難しさ:「住民主体」で責任の所在は？自己責任？
- ・研究成果はあくまで参考情報にしかない. その積み重ね.  
しかし, 最新の知見は行政よりも住民の方が取り入れ易い(筈).
- ・今後の方向性によって, 研究と社会の関係も変わる(可能性).

「研究者」と「社会」の関係について考えさせられる事例↓



# 「研究者」と「社会」の関係

- 「地震裁判」(イタリア ラクイラ地震 2009年)

2009年4月にイタリア ラクイラで発生した地震により住民309人が死亡.

その数週間前に国立研究機関の技師が国内での地震発生を予告(煽動の罪で罰則を受ける). それを否定するために**国の委員会が記者会見を行い「安全宣言」を出したが、直後に地震が発生.**

委員会メンバー7人(地震の専門家6人と政府当局者1人)は過失致死で有罪判決を受けた.

その後(第二審), 専門家(研究者)は無罪になった.

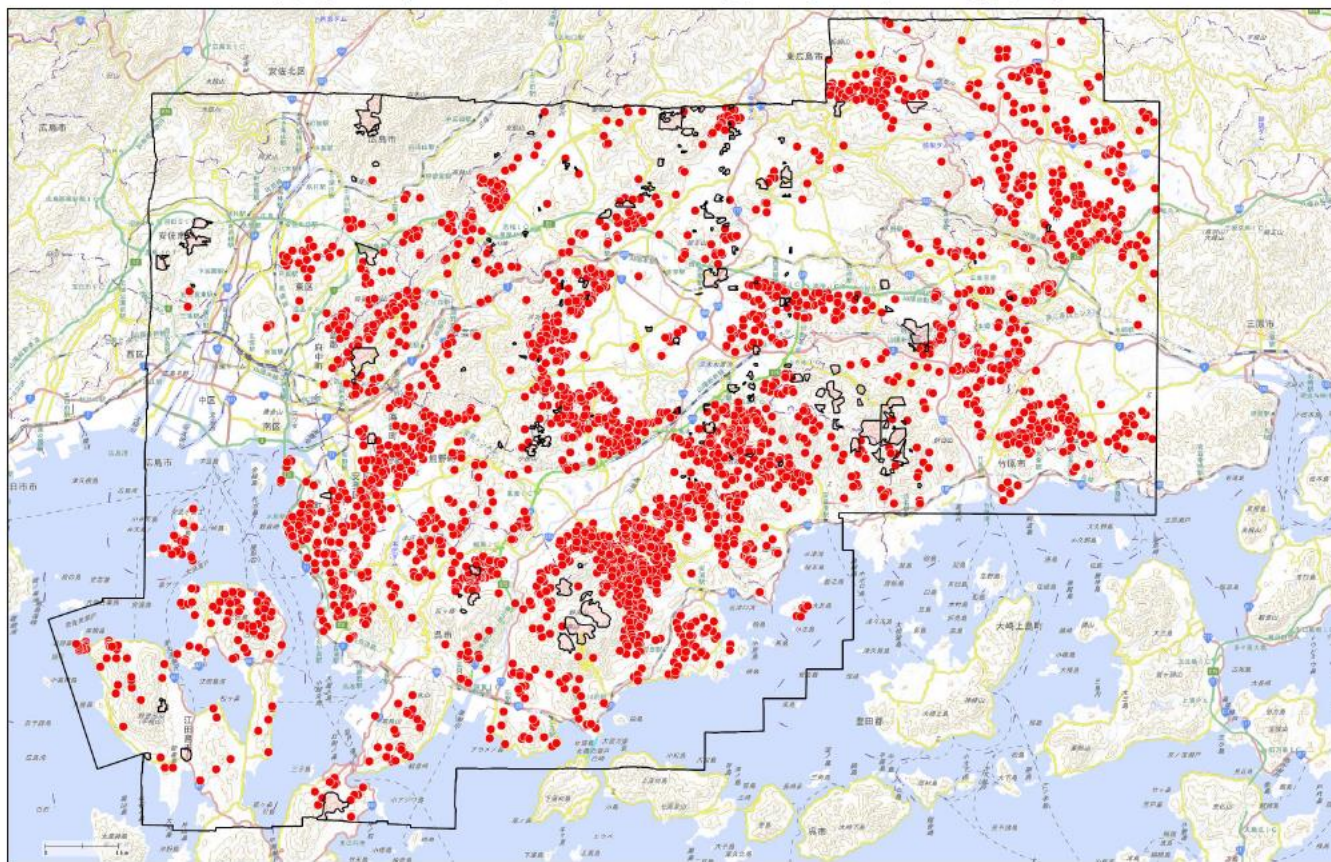




# 話を戻して:土砂災害について

- 手法の高度化は万能か？→そんな訳無い.
  - － ゾーニングで,「災害」→「自然現象」に(手当せず)?
  - － どうしても必要な場所で,効果的な対策を実施.

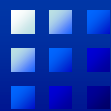
平成30年7月豪雨に伴う崩壊地等分布図(広島)



1. この情報は、国土地理院が7月9日から16日にかけて撮影した空中写真(撮影範囲:黒枠内)から、平成30年7月豪雨で生じたと考えられる崩壊地等を利用したものです。現地踏査は実施していないことから、実際に崩壊等があった箇所でもプロットできていない場合や、平成30年7月豪雨による崩壊地以外の箇所をプロットしている場合があります。
2. 崩壊地等は、崩壊地や土石流で生じた地形変化発生箇所を1つの項目にまとめて表現しています。崩壊地等は、長さ又は幅がおおむね50m以上のものを表しています。地形変化発生箇所の中心付近を丸で表しており、地形変化範囲を表現しているわけではありません。崩壊地上に樹冠が重なり複数箇所に分かれて視認される場合は複数プロットしている場合があります。
3. 崩壊地の位置を把握するための資料で、人家等に被害の無い箇所もプロットしています。

平成30年7月19日作成  
平成30年8月3日更新





# 今後の豪雨災害の頻発がもたらすもの

- ・ゾーニングを促進？阻害？
  - －流域スケールで安全な場所がない，という事態が生じ得る。
- ・「住民主体」と言ったが，大方針が必要では？
  - －土砂災害に限らず，多くの分野で...

平成29年7月九州北部豪雨 被災状況調査

国土交通省



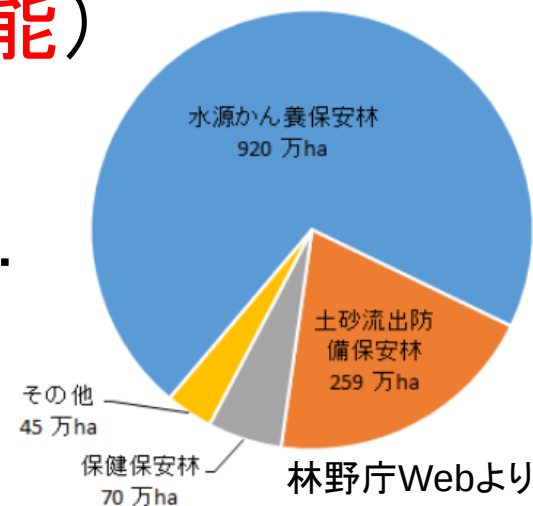
(国土交通省資料)



# 例えば、森林を取り巻く昨今の状況

- 保安林⇒多面的機能(**公益的機能**)
  - －積極的な森林整備が可能に.
  - －しかし, 科学的根拠には曖昧さが...
- 「森林環境税」の導入
  - －もともと, 各自治体で水源税など.
    - ・水源涵養／炭素固定／**防災**(土砂災害・流木・洪水・他)
  - －ついに国税としても:H36~, 1000円／人.
    - ・「森林環境譲与税」として実質的にはH31~
- それで, どのように森林を整備すれば良いのか?
  - －場所による. 森林はそれぞれ.
    - ・例えば, アメリカの事例 ↓

保安林の種類別面積(延べ面積)  
1,293万ha (H29.3.31現在)



「**森林経営管理法**」が平成31年4月1日に施行:適切な経営や管理(市町村が中心的な役割)





# Best Management Practices

アメリカ合衆国の例

## FORESTRY BEST MANAGEMENT PRACTICES BY STATE

### HOW TO USE THE NASF FORESTRY BEST MANAGEMENT PRACTICES (BMPs) MAP:

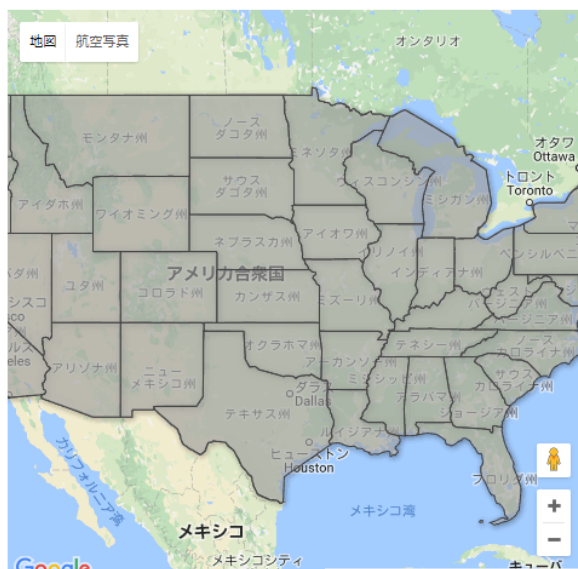
This project, launched in 2015, maintains up-to-the-minute information about BMPs recommendations in the United States. Navigate using the map by zooming in or out using either your mouse or the map zoom tool on the left. Please note that only the 50 United States are represented in this map, not territories or international information.

Click on a state to learn whether BMP regulation in that state is regulatory, quasi-regulatory or voluntary. Explore which agencies are responsible for BMP policy development. Click on the first hyperlink to view the latest state recommendations for BMPs implementation, and on the second hyperlink to view the research results from a study conducted by a team of researchers from Virginia Polytechnic Institute and State University (Virginia Tech).

The study, report and this map were funded by NASF, the USDA Forest Service and the Sustainable Forestry Initiative, Inc.'s Conservation and Community Partnerships Grant Program.

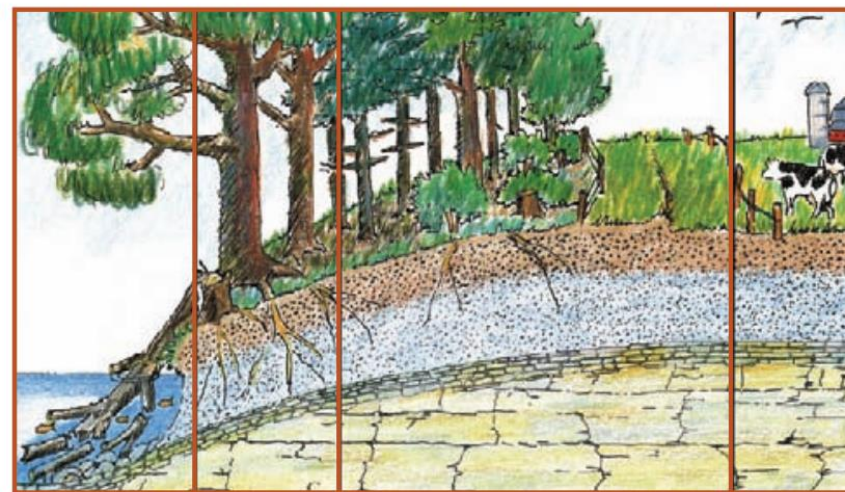
[Read here for more information about Water Quality and BMPs](#)

[Suggest an edit to this map.](#)



<http://stateforesters.org/action-issues-and-policy/state-forestry-BMPs-map-o-o>

FIGURE 1: RIPARIAN ZONE

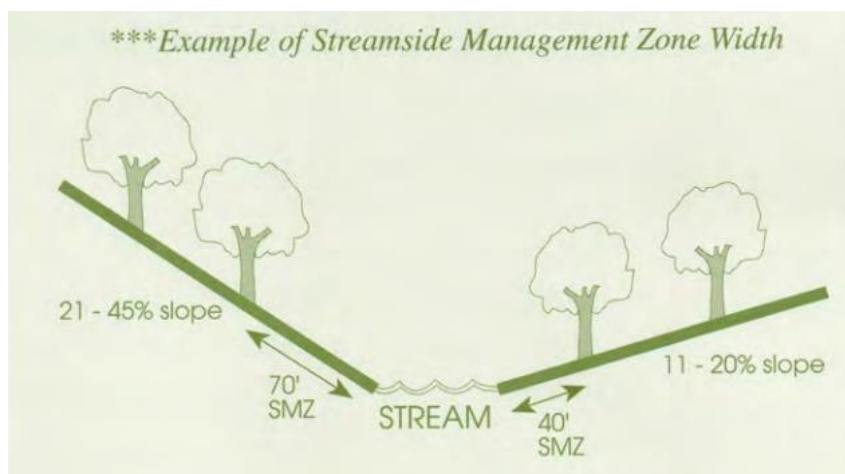


Stream, Wetland  
or Water body

Zone 1  
(15 feet)

Zone 2  
(60+feet)

ニューヨーク州 マニュアルより



ニュージャージー州 マニュアルより

例えばRiparian buffer (溪岸林)の考え方も州によって違う



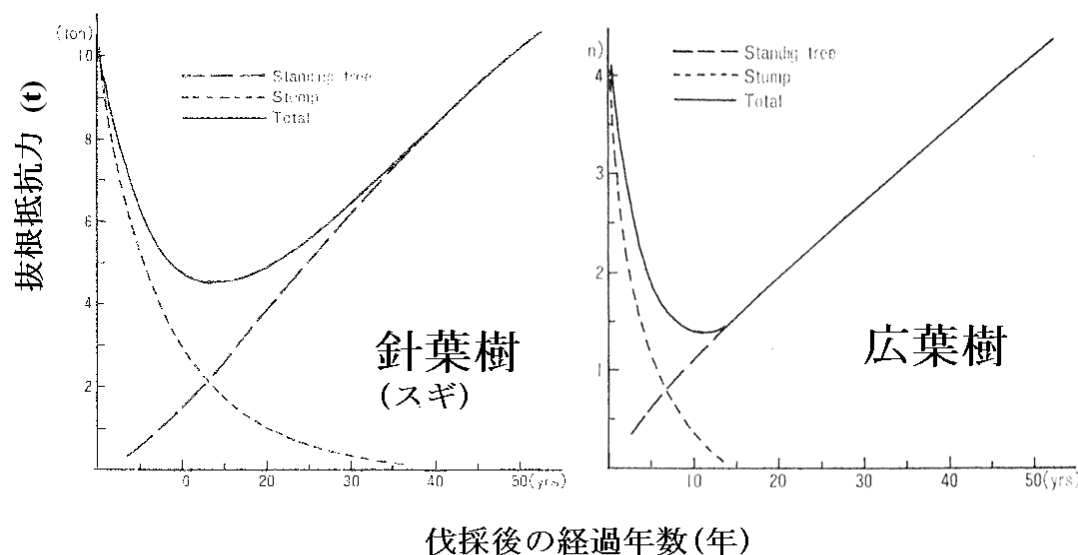
# 森林は土砂災害防止・軽減に有用か？

- 問題設定による

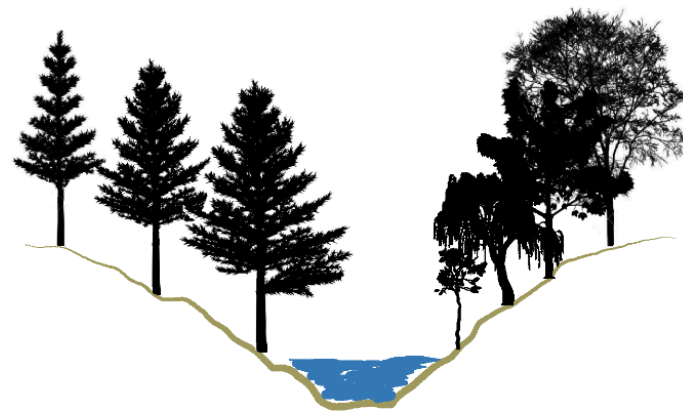
- 森林v.s.荒廃地, 天然林v.s.人工林, 人工林v.s.管理放棄林..
- 規模の問題も(ex. 小規模土石流と大規模土石流).
- 一般化は難しいのでは？

- 適材適所

- 「住民主体」の土砂災害対策の選択肢の一つにはなる.



樹木根系による土質強度の補強効果



スギ人工林(左)と2次林(右)の林分構造の違いスギは谷部に大径木が存在するが、豊富な水分のため根が浅く、流木を供給し易い。

# ■ ■ ■ おわりに: 新たな国土のグランドデザインを

- 100年前にそれはあった: 全国の禿げ山を森林に.
- これから100年は?
  - レジームシフト／社会情勢の変化に伴う新たなデザインを.
  - 地域ごとに独自で, かつ広域の…分野間の協働が必要.

明治中期の  
神戸の状況



治水三法



「目的」は達成

H26年8月  
豪雨(広島)



グランドデザイン  
の更新

