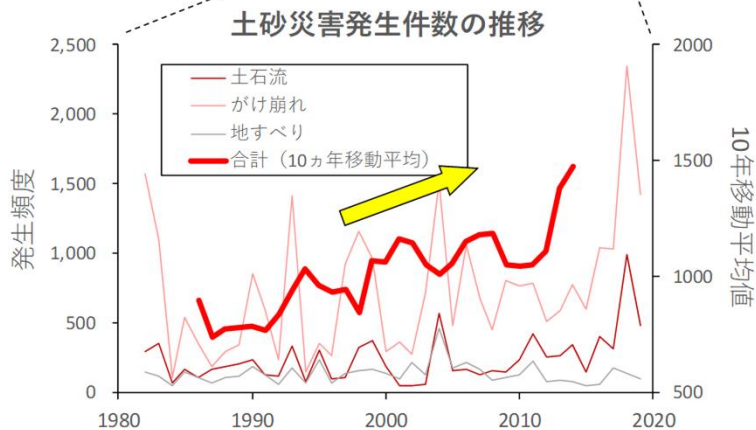
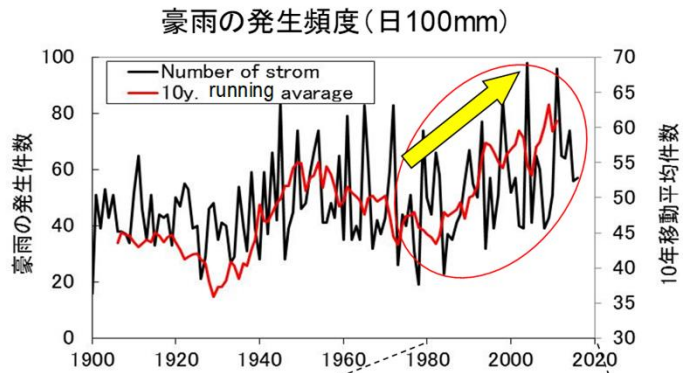


気候変動に対応した砂防計画立案の方向性について

気候変動における将来変化と対応の必要性

- 近年の豪雨の発生頻度の増加に伴い、国内における土砂災害発生件数は増加傾向にある。
- 気候変動により梅雨豪雨の発生頻度の増加や北上の可能性が示されており、今後も土砂災害の増加が見込まれるという研究成果が出ている(naka and nakakita(2023))。
- そのような状況で、気候変動に適用していくために、対策の見通しがたった土砂移動現象への対策から順次着手していく必要がある。
- 特に降雨特性変化とそれに伴う生産土砂量の応答特性について検討を進める。



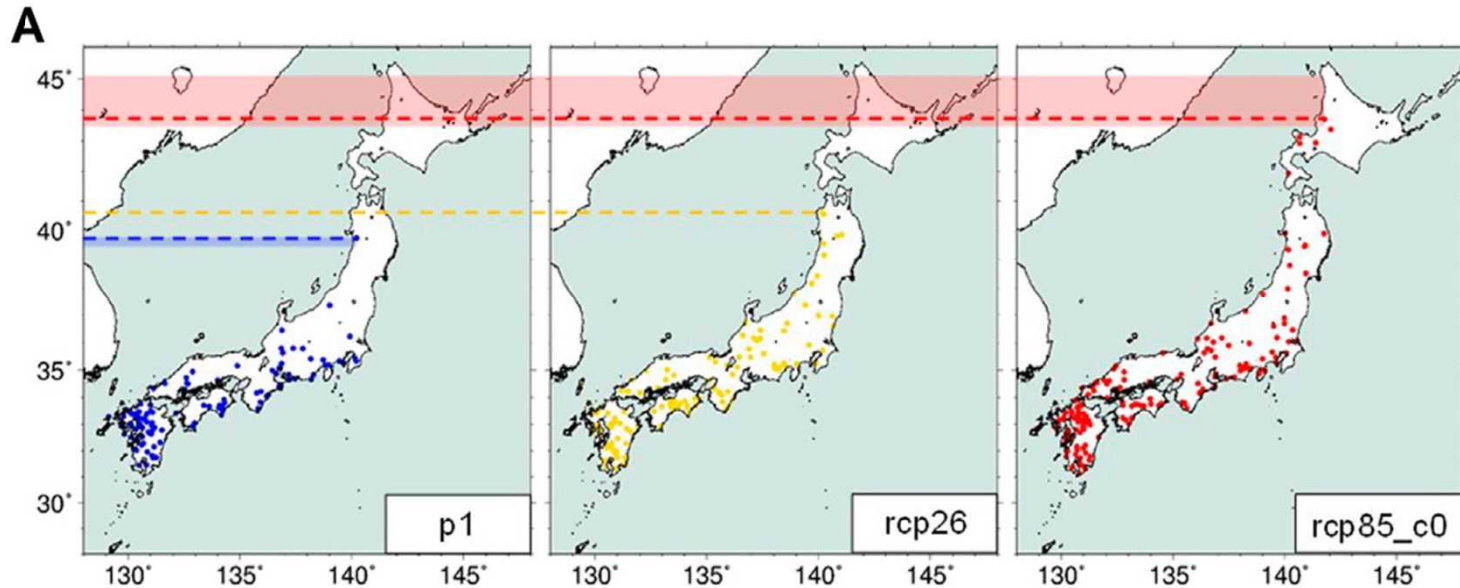
第2回気候変動を踏まえた
砂防技術検討会資料

現在気候:20年間(1979-2003年)
将来気候:20年間

現在気候

将来_RCP2.6
(2°C上昇)

将来_RCP8.5
(4°C上昇)



梅雨豪雨発生数:108

梅雨豪雨発生数:129

梅雨豪雨発生数:164

梅雨豪雨の発生頻度の将来変化
naka and nakakita(2023)を基に作成

気候変動に関する治水計画・下水道計画の降雨量の変化倍率に関する資料

- 気候変動を踏まえた治水計画の在り方 提言(令和元年10月、令和3年4月改訂)では、気候変動予測モデルを活用した影響分析を行い、降雨量の変化倍率を設定した。(以下、治水計画提言)
- 雨域面積100km²以上、年超過確率1/200以上の規模(より高頻度)の計画に適用する、100km²未満での適用は留意する。としている。

気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言 改訂版【概要】

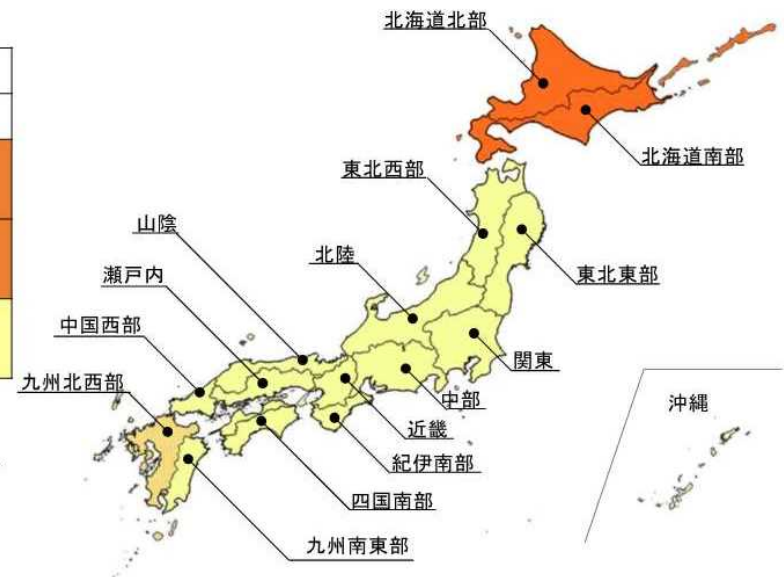
＜気候変動に伴う降雨量や洪水発生頻度の変化＞

- 降雨特性が類似している地域区分ごとに将来の降雨量変化倍率を計算し、将来の海面水温分布毎の幅や平均値等の評価を行った上で、降雨量変化倍率を設定。
- 2℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道で1.15倍、その他(沖縄含む)地域で1.1倍、4℃上昇した場合の降雨量変化倍率は、北海道・九州北西部で1.4倍、その他(沖縄含む)地域で1.2倍とする。
- 4℃上昇時には小流域・短時間降雨で影響が大きいいため、別途降雨量変化倍率を設定する。

＜地域区分毎の降雨量変化倍率＞

地域区分	2℃上昇	4℃上昇	
			短時間
北海道北部、北海道南部	1.15	1.4	1.5
九州北西部	1.1	1.4	1.5
その他(沖縄含む)地域	1.1	1.2	1.3

- ※ 4℃上昇の降雨量変化倍率のうち、短時間とは、降雨継続時間が3時間以上12時間未満の3時間未満の降雨に対しては適用できない
- ※ 雨域面積100km²以上について適用する。ただし、100km²未満の場合についても降雨量変化倍率が今回設定した値より大きくなる可能性があることに留意しつつ適用可能とする。
- ※ 年超過確率1/200以上の規模(より高頻度)の計画に適用する。



参考 気候変動に関する治水計画・下水道計画の降雨量の変化倍率に関する資料

- 気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について 提言(令和2年6月、令和3年4月一部)では、治水計画提言での考え方等を基に現在の将来降雨の予測データの整備状況(文部科学省等)及び下水道による都市浸水対策にかかる計画の特性を踏まえ、2℃上昇時における降雨量変化率を示されている。(以下、下水計画提言)
- 下水道計画の特徴である、排水区数の9割以上が2.0km²以下、計画降雨の確率年が5～10年が標準、雨水計画では降雨継続時間が1時間以内の事例が大部分を占めるということを踏まえた検討成果となっている。

気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について 提言 参考資料(一部改訂) より

地域区分ごとの降雨量変化倍率の設定

- 2℃上昇時の降雨量変化倍率は、令和2年6月の提言公表以降の検討を踏まえ以下の通りとする。
 - ・2℃上昇時の降雨量変化倍率は、九州北西部の値を1.10倍に変更する。

地域区分	降雨量変化倍率(※)
北海道北部、北海道南部	1.15
その他14地域(沖縄含む)	1.1

(※)「降雨量変化倍率」は、現在気候に対する将来気候の状態を表すものであり、RCP2.6では2040年頃以降の気温上昇が横ばいとなることから、2040年以降の目標としての活用が可能。

(※) 沖縄は、d2PDFの計算領域外であるため、NHRCM02を用いて算定。

下水道計画の特徴

- 事業実施箇所：全国(沖縄等の島しょ部を含む)
- 排水区面積：排水区数の9割以上は2.0km²以下であり、平均は0.56km²
- 降雨継続時間：雨水計画では、1時間以内の事例が大部分を占める(貯留施設は24時間が標準※1)
- 計画降雨の確率年：5～10年が標準※2(10年以上に設定した地区も一部存在)
- 降雨データ数：確率計算には、少なくとも20年以上必要(できれば、40年以上が望ましい)※2

※1 下水道雨水調整池技術基準(案)解説と計算例 昭和59年10月 社団法人 日本下水道協会

※2 下水道施設計画・設計指針と解説 2019年版 公益社団法人 日本下水道協会

砂防事業の特徴を踏まえた降雨量変化への対応の方向性

- 治水計画提言では、小流域・短時間の対象降雨の取扱いについて、以下の記載がある。
 - ・「雨域面積400km²以下の降雨量変化倍率について、降雨継続時間3,6,12時間かつ年超過確率1/100の条件下においてd2PDF・d4PDFとNHRCM02の結果を比較することにより評価した。雨域面積による降雨量変化倍率の変動は小さいことから、d2PDF等の空間解像度を勘案したうえで雨域面積100km²以上の降雨に対して適用することが可能である。」
 - ・「100km²未満の場合についても降雨量変化倍率が大きくなる可能性があることに留意しつつ適用可能とする。年超過確率1/200以上の規模(より高頻度)の計画に適用する。」
 - ・「対象面積が小さくなるほど、また対象時間が短くなるほど、累積降雨量の比は大きくなる」「将来気候では短時間豪雨による降雨量の増加率が高い」。
 - 下水計画提言では、治水計画提言を参考に下水道計画の特徴を踏まえた検討を実施。
 - ・ d2PDFによる値をもとに、NHRCM02による値で確認した上で降雨量変化倍率を設定している。
 - ・ d2PDFの年超過確率1/5,1/10降雨量をもとに、地域区分ごとの降雨量変化倍率を算出。海面水温(6パターン)ごとに、降雨継続時間(1,2,3時間)、雨域面積(25,100km²)の倍率の平均値を整理して算出。
-
- ✓ 砂防計画は、土石流対策、土砂・洪水氾濫対策等、それぞれ土砂移動現象ごとに対象とする流域面積や降雨継続時間等が異なるという特徴がある。
 - ✓ 土石流対策を実施する流域は、5km²以内(土砂災害警戒区域の上流域)、土砂・洪水氾濫対策を実施している流域は、おおむね100km²以上。年超過確率は1/100が多い。
 - ✓ 5km²程度の流域の年超過確率1/100のような、1/10より低頻度の検討の知見が不足している。

- 気候変動対応を一步でも進めるため、土砂・洪水氾濫対策・土石流対策のそれぞれにおいて適した手法の検討に着手する。
- 治水計画提言や下水計画提言の考え方やパリ協定等における政府としての取組の目標を基に2℃上昇時における降雨量変化を外力とすることを基本とする。

具体的な対応として、

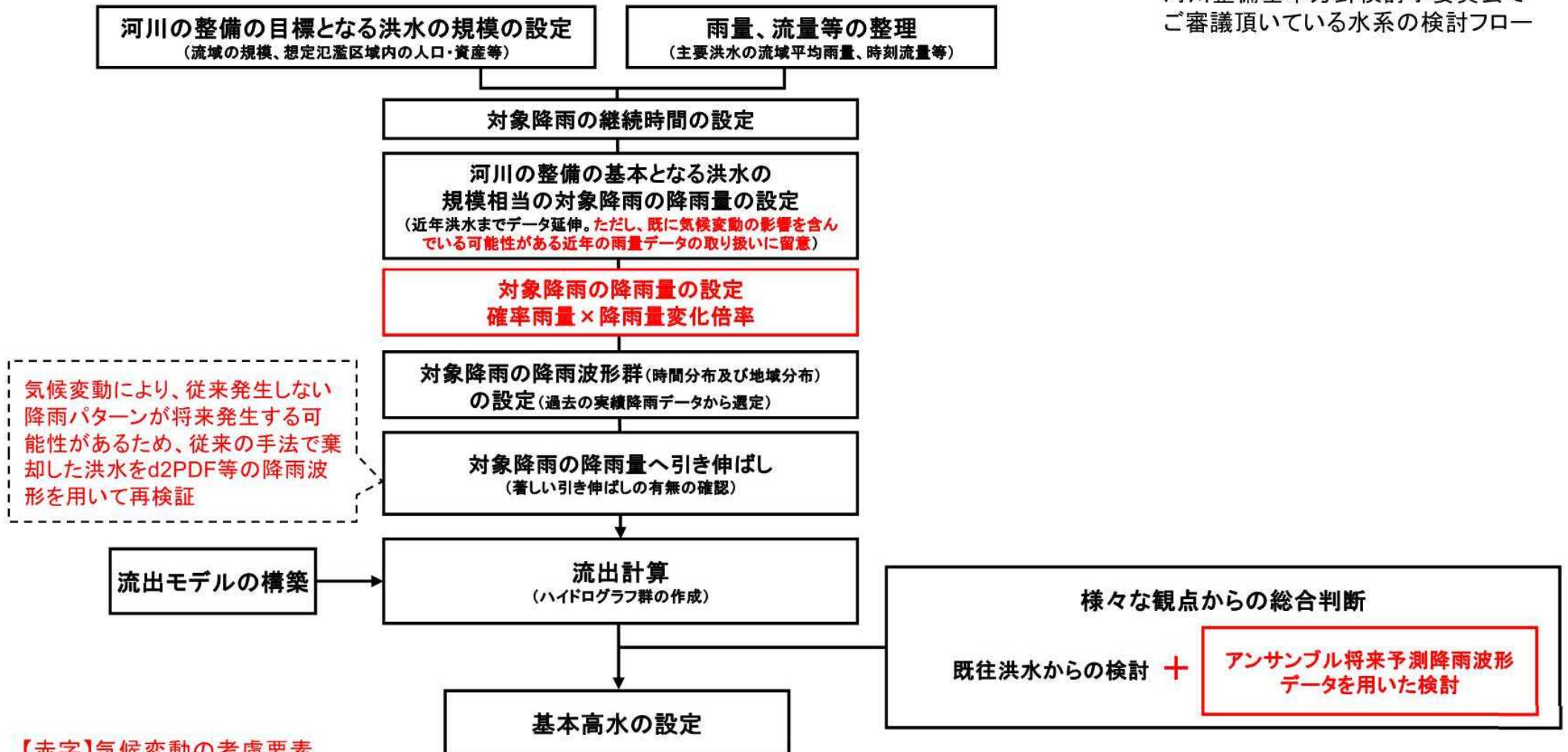
- 土砂・洪水氾濫対策は主に100km²以上の流域で実施していることから代表流域において、降雨量変化倍率を治水計画提言を参考に設定し、基本高水の設定の流れを参考に砂防計画策定手法の検討を実施する。
- 検討にあたっては、降雨量変化倍率に加え、アンサンブル予測降雨波形データを用いた手法を検討する。
- その際、最新のデータセットの情報収集を行い、降雨量変化倍率についてさらなる検討を行う。
- 土石流対策は5km²以内の流域で実施していることが多いため、そのような流域に適した流域スケールの年超過確率1/100以上の規模(より高頻度)の降雨特性について、最新のデータセットを用いて、降雨量変化倍率やその現象に適した地域区分について分析・検討を実施する。
(例えば、都道府県ごと、気象予報区分ごとに降雨変化倍率を設定する等)

参考 基本高水の設定の流れ

社会資本整備審議会 河川分科会 河川整備基本方針検討小委員会 第121回資料 より

- 河川の整備の目標となる洪水の規模の設定、対象降雨の降雨波形の設定、対象降雨の降雨量へ引き伸ばし、流出解析、総合判断により基本高水を設定するという、これまで河川整備基本方針策定の過程で蓄積されてきた検討の流れを基本に、気候変動の影響を基本高水の設定プロセスに取り入れる。
- 対象降雨の降雨量には、実績降雨データから得られた確率雨量に過去の再現計算と将来の予測の比(降雨量変化倍率)を乗じて、基本高水を設定する。

河川整備基本方針検討小委員会でご審議頂いている水系の検討フロー



降雨変化に伴う生産土砂量の応答特性の検討の方向性

- 甚大な被害を及ぼす土砂災害として、群発崩壊に伴う土石流やがけ崩れ、土砂・洪水氾濫、深層崩壊、崩壊性地すべり、火山地域の大規模崩壊(山体崩壊、岩層なだれ)があり、それらについて、過去の発生状況やリスクが整理されている。
- 気候変動に対応していくためには、降雨特性の変化に伴う生産土砂量の応答特性の変化を適切に把握し、対策を実施していく必要がある。
- そこで、降雨変化に伴う生産土砂量の応答特性を表現出来る物理モデルの検討を進めてきた。

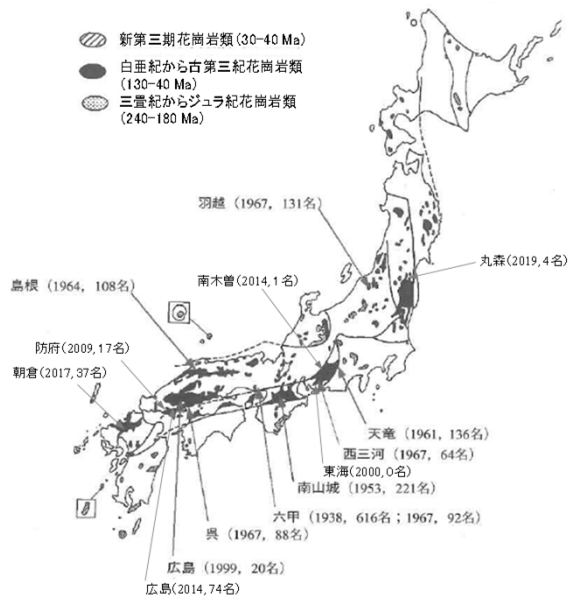
甚大な被害を及ぼす土砂災害の発生状況やリスクに関する知見 ※崩壊性地すべりは資料2

群発崩壊 (土石流・がけ崩れ)

土砂・洪水氾濫

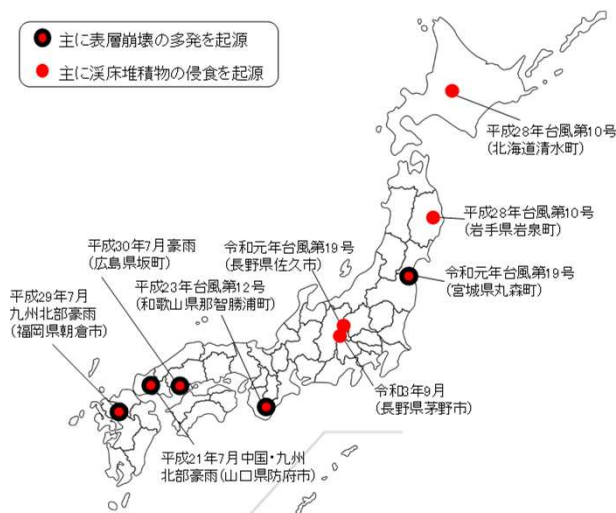
深層崩壊

火山地域の大規模崩壊

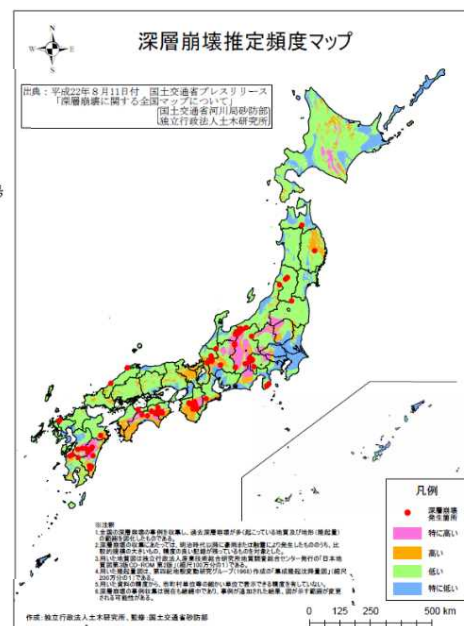


花崗岩の分布と豪雨による既往災害

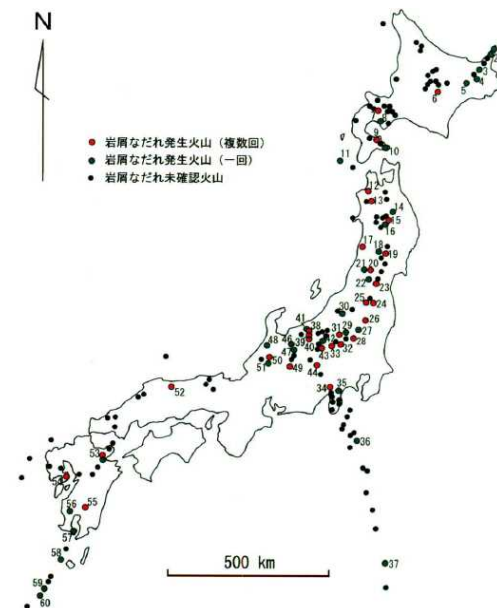
千木良 (2002, 2020) を基に作成



近年の土砂・洪水氾濫発生実績



深層崩壊推定頻度マップ (国土交通省 2010)

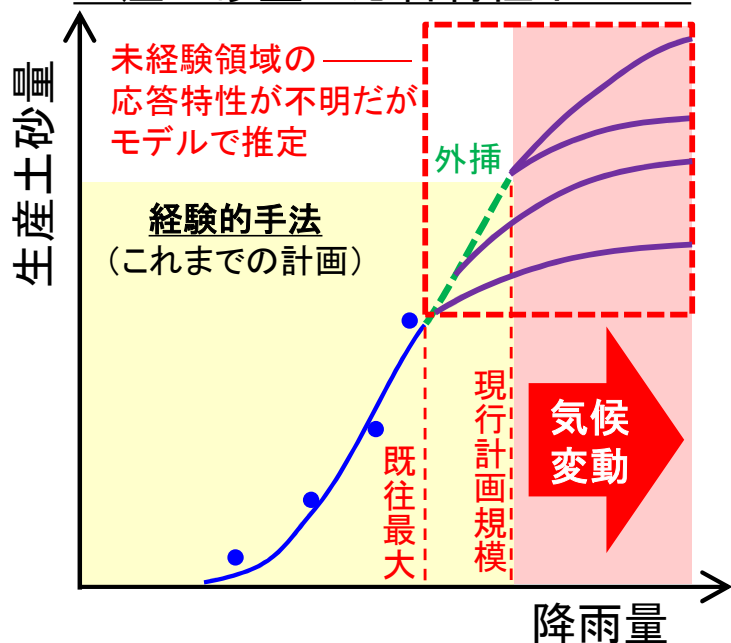


第四紀火山の山体崩壊・岩層なだれ発生火山の分布 (井口 2006)

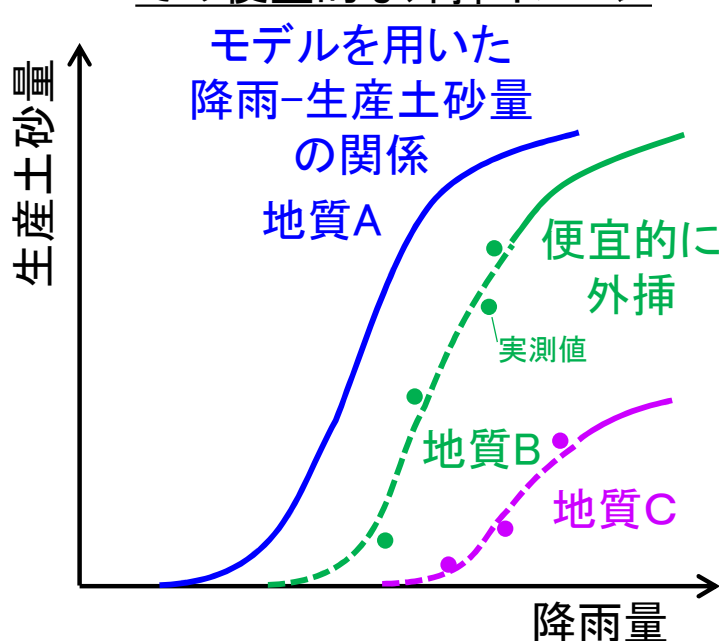
降雨変化に伴う生産土砂量の応答特性の検討の方向性

- 土層の発達や空間分布などの素因や降雨による水文応答特性などの誘因といった具体的な水文地形過程が考慮されたモデルが開発されたことから、実装に向けた準備を進める。
- 本モデルは、土層と岩盤の境界が明瞭で岩盤への地下水浸透が限定的で評価可能な小起伏山地(例:花崗岩)を対象としたものであるため、まずは花崗岩地域での活用を検討する。【手法①】(次ページ以降で、モデル詳細を紹介)
- 一方、現在の技術ではモデル化に課題がある地形、地質の箇所においては、A.上記モデルで算定された降雨特性と生産土砂の応答特性を地質ごとの観測値に対し、外挿することで既往最大以上を便宜的に表現、B.既往のモデルを用いて感度分析して算出。【手法②】
- それぞれの地域で経験的に傾向が示された場合は、活用することも可能【手法③】

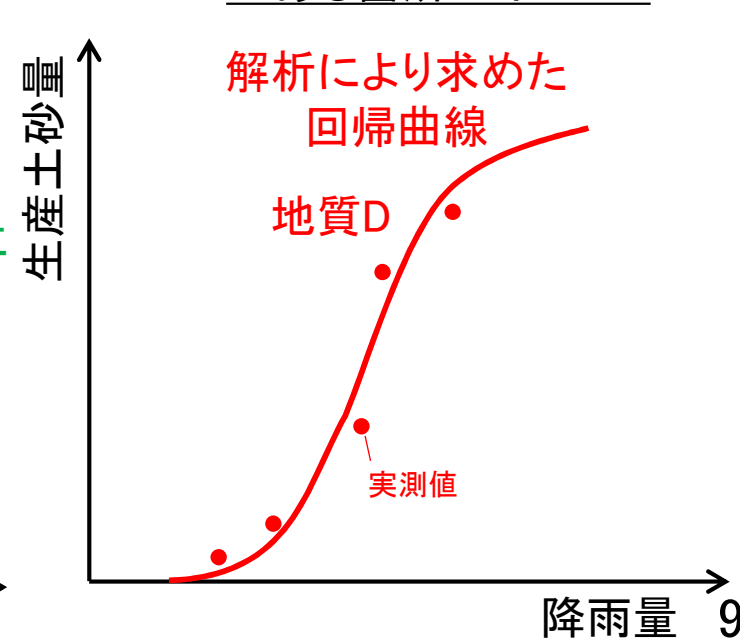
①開発したモデルを用いた
生産土砂量の応答特性イメージ



②モデル化に課題がある地形・地質
での便宜的な外挿イメージ



③経験的に整理出来る可能性
がある箇所のイメージ



山地流域における水文・地形プロセスの モデリングに基づく土砂移動現象の発生場・ 降雨閾値・生産土砂量の定量的評価

内容:

- 目的とアプローチ
- モデリングの内容
- まとめ

松四雄騎

京都大学防災研究所 地盤災害研究部門 山地災害環境研究分野

目的とアプローチ

目的: 流域における水文地形システムの統合的な理解とモデル化に基づく表層崩壊の場所・規模・時刻の予測と土砂生産の定量評価。

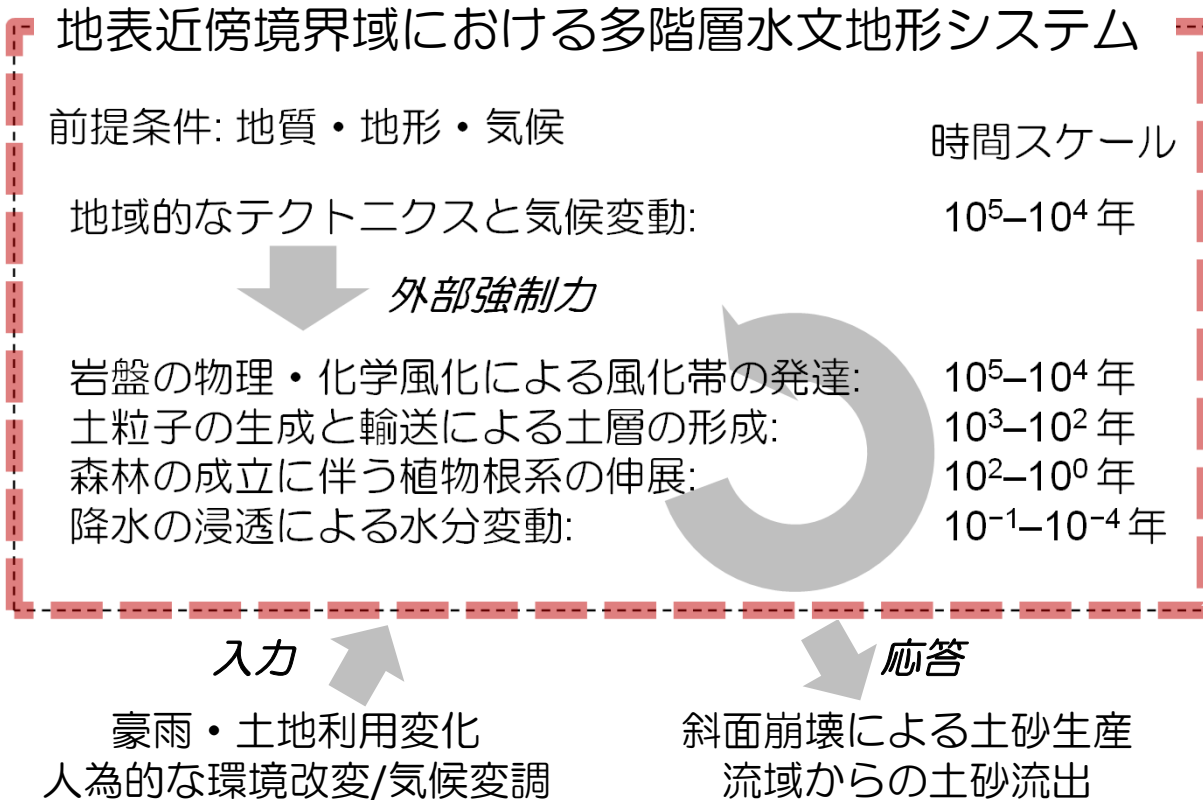
アプローチ: 湿潤温暖帯の山地斜面では、風化岩と土層からなる風化帯と、それを生存基盤として成立した森林生態系が、樹冠の頂部から、陸域水循環の影響が及ぶ岩盤内の風化前線に至る気圏・水圏・岩石圏・生物圏の地表近傍境界域 (**Critical zone**) を構成。そのプロセスベースドモデリングを考える。



幼齢林での表層崩壊
(2017年福岡朝倉)

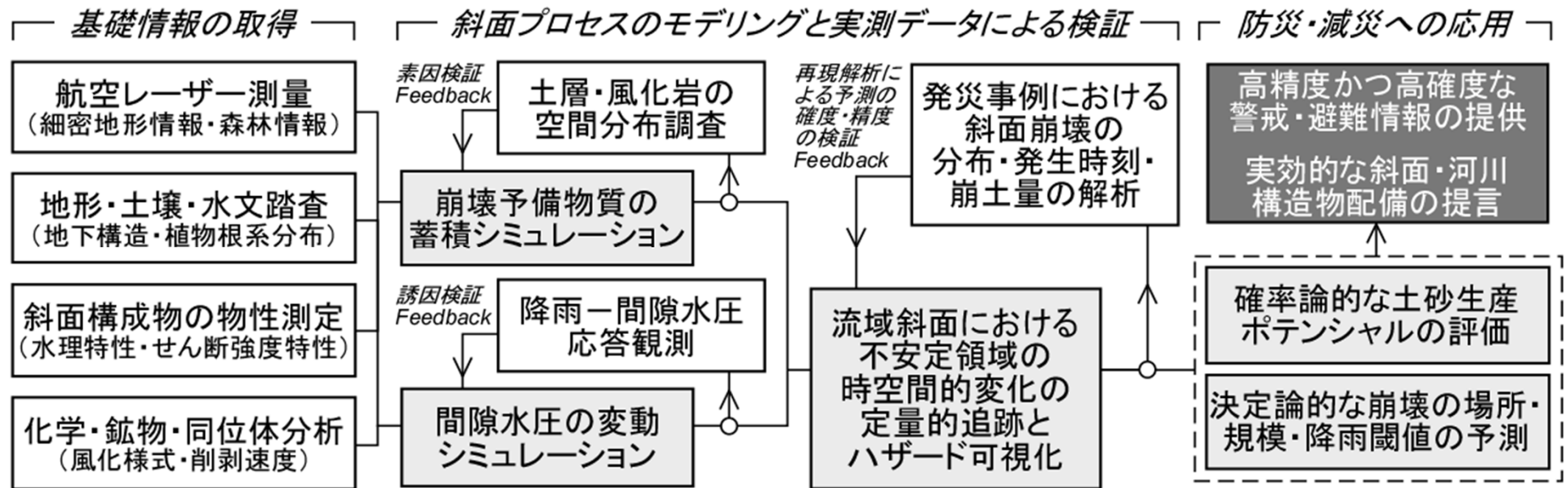


土石流により被災した沖積錐上の住宅地
(2014年広島安佐南)



山地の斜面では、多様な時空間スケールで入れ子状の構造を呈する素因条件と誘因作用の帰結として、自然現象としての土砂移動 (マスマーブメント) による地形変化が生じる。人新世における土砂災害の発生も、この水文地形システムに対する人為的な短期入力に対する応答と捉えることができる。

モデルフレームワーク



表層崩壊による土砂生産の予測モデルの構築と検証および実用化のためのフレームワーク

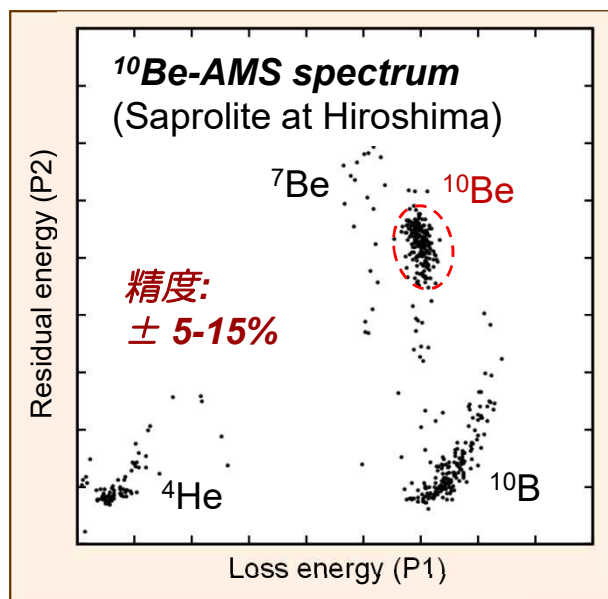
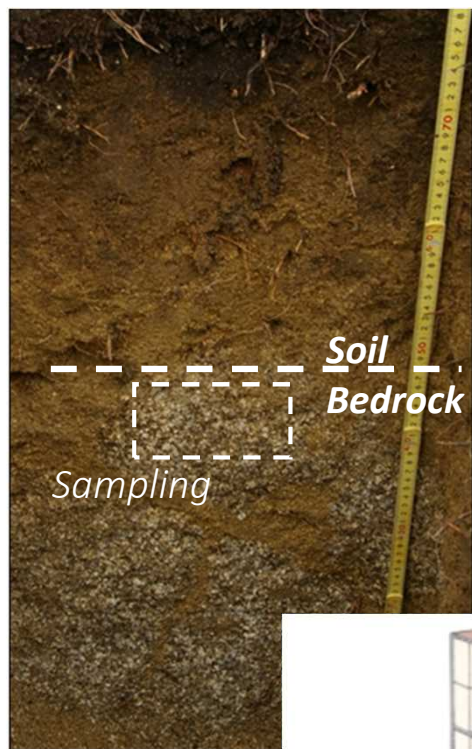
航空レーザー測量で得られる細密地形モデルによる空間情報解析と、宇宙線生成核種の分析による土層生成速度の決定に、現地での土層厚調査を組み合わせることで、斜面における土層の生成・輸送・集積シミュレーションを行う。

得られた土層の空間分布と地形を素因条件とし、潜在的すべり面での樹木根系の補強効果を含むせん断強度の決定と、降水浸透に伴う間隙水圧の変動モデリングを組み合わせ、斜面安定解析のためのプロセスベースモデルを構築し、表層崩壊の三要素（場所・規模・時刻）予測の枠組みを確立する。

表層崩壊の発生場と崩土量、そして発生する雨量（降雨閾値）がわかれば、土石流の始動地点の推定や、任意雨量に対する流域からの土砂の生産量の見積もりが可能になる。土砂生産の将来予測については、決定論的なモデルに立脚した確率論的な取り扱いも可能になる。

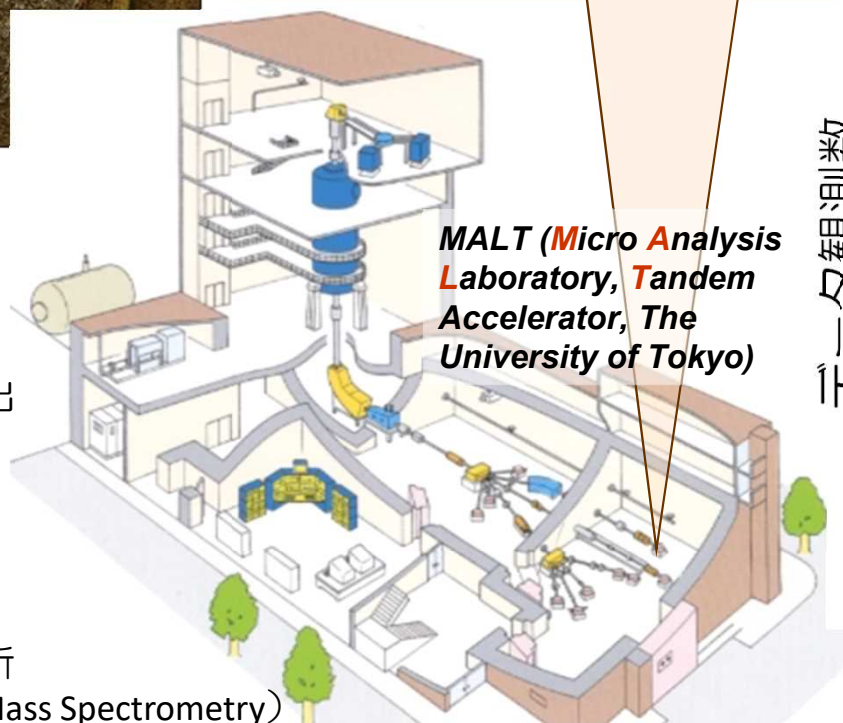
計算のためのパラメータは、観測・測定に基づいて獲得し、出力は、実際の発災例に照らして検証する。

日本の花崗岩山地における土層形成速度

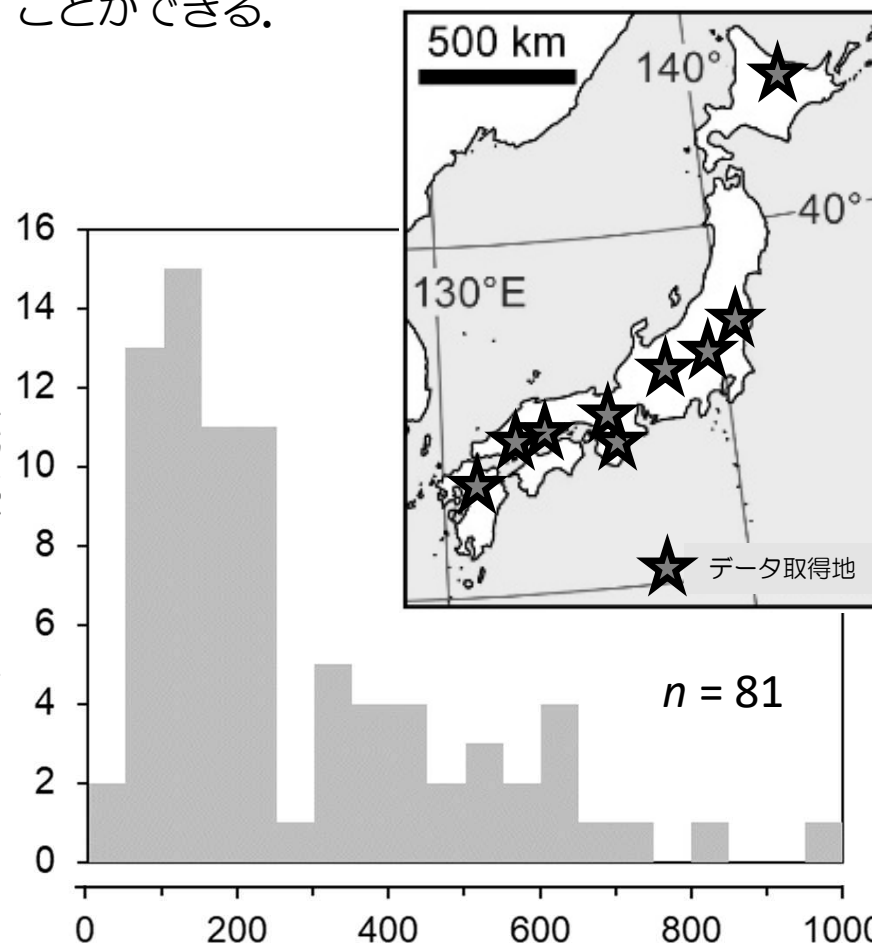


造岩鉱物中の宇宙線生成核種¹⁰Beを利用。風化岩の分析により土層の生成速度を算定。日本の花崗岩類を基盤とする山地で測定された土層の生成速度は、 $10^2 \text{ g/m}^2/\text{yr}$ の範囲。実際の斜面に存在している有限の土層厚からは土粒子の輸送（ソイルクリープ）係数を求めることができる。

- 試料採取
- ↓
- 物理化学処理による石英抽出
- ↓
- 酸分解
- ↓
- 元素単離
- ↓
- 加速器質量分析 (Accelerator Mass Spectrometry)

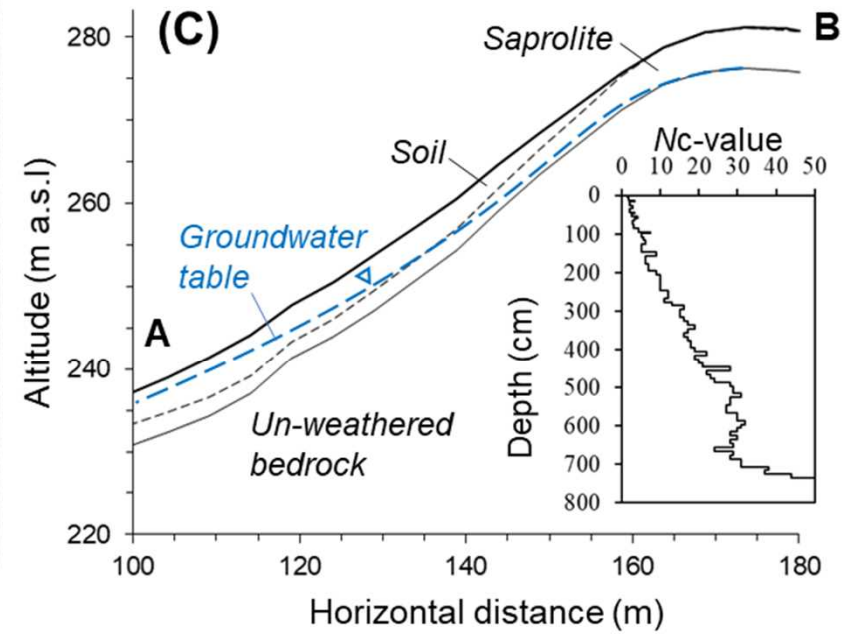
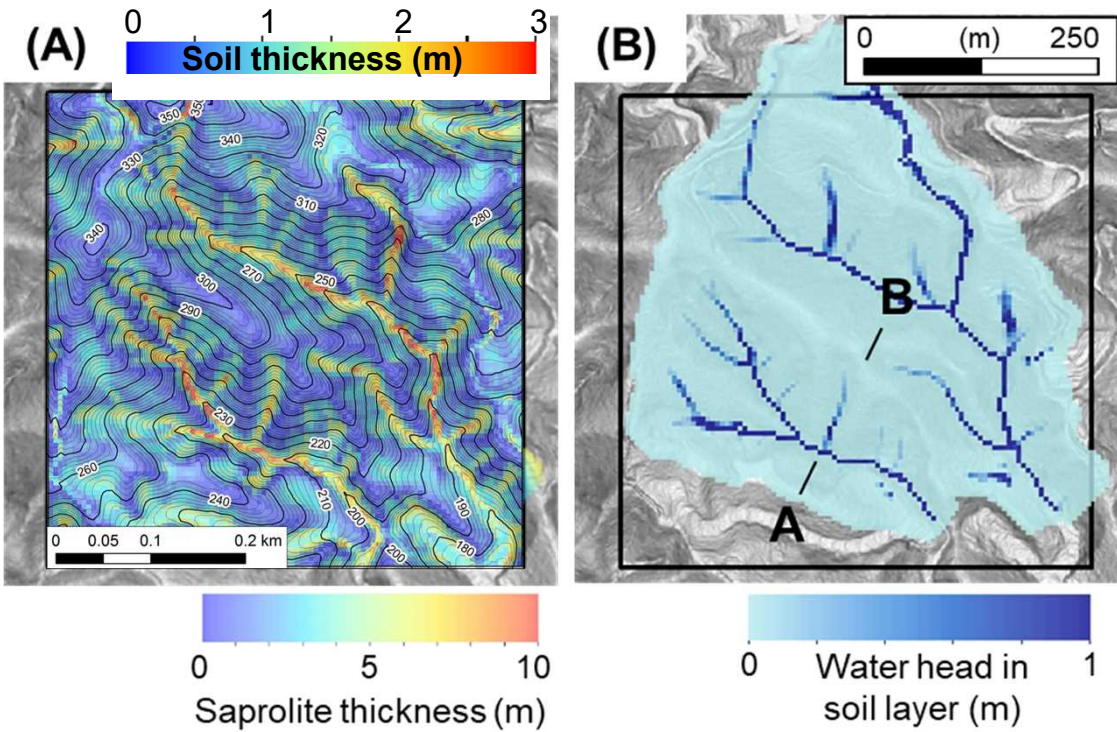


データ観測数



土層生成速度 ($\text{g m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)

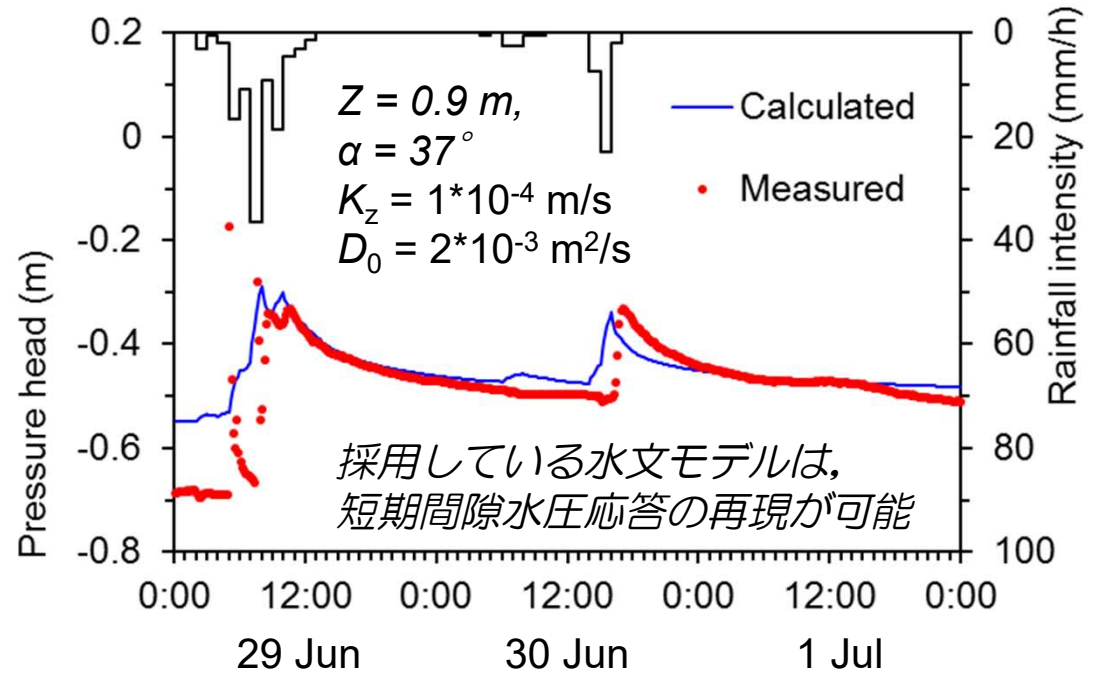
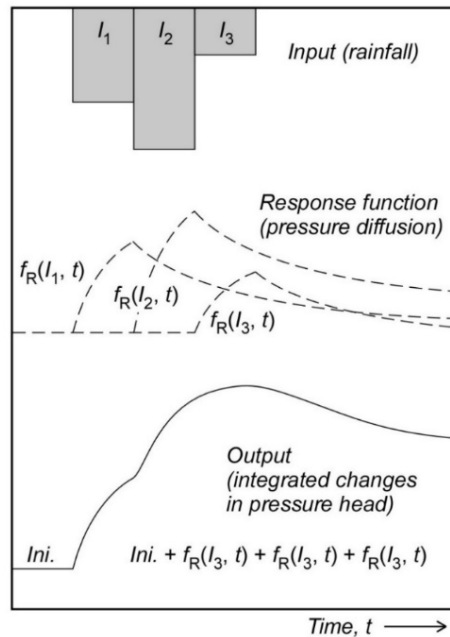
風化帯の空間分布とそれを場の条件とした水文モデリング



After Iverson (2000) *WRR* 36: 1897-1910.

素因モデリング:
 風化による岩盤の物性
 変化 + 土層の生成・輸
 送・集積
 → 風化帯の厚みと物性
 の空間分布

誘因モデリング: 平面2
 次元の定常地中水透過
 + 鉛直1次元の非定常
 圧力拡散
 → 土層底面間隙水圧の
 時空間変化



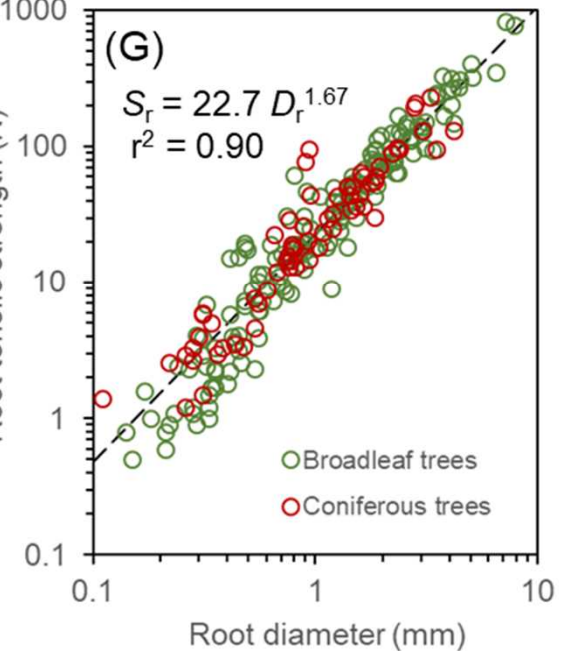
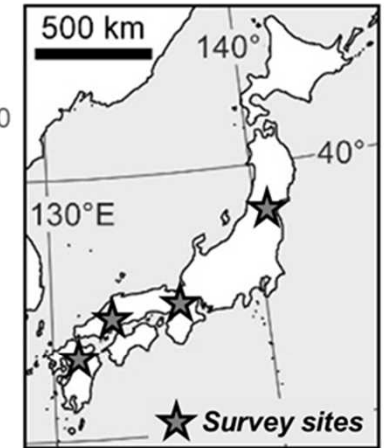
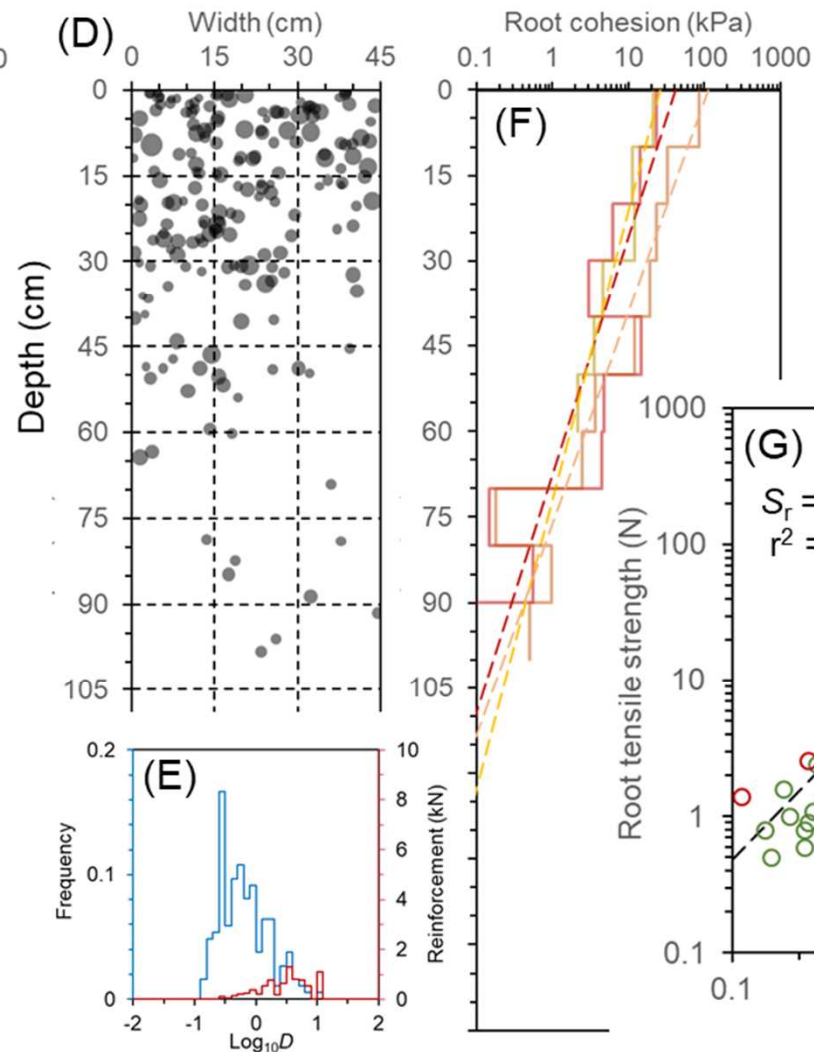
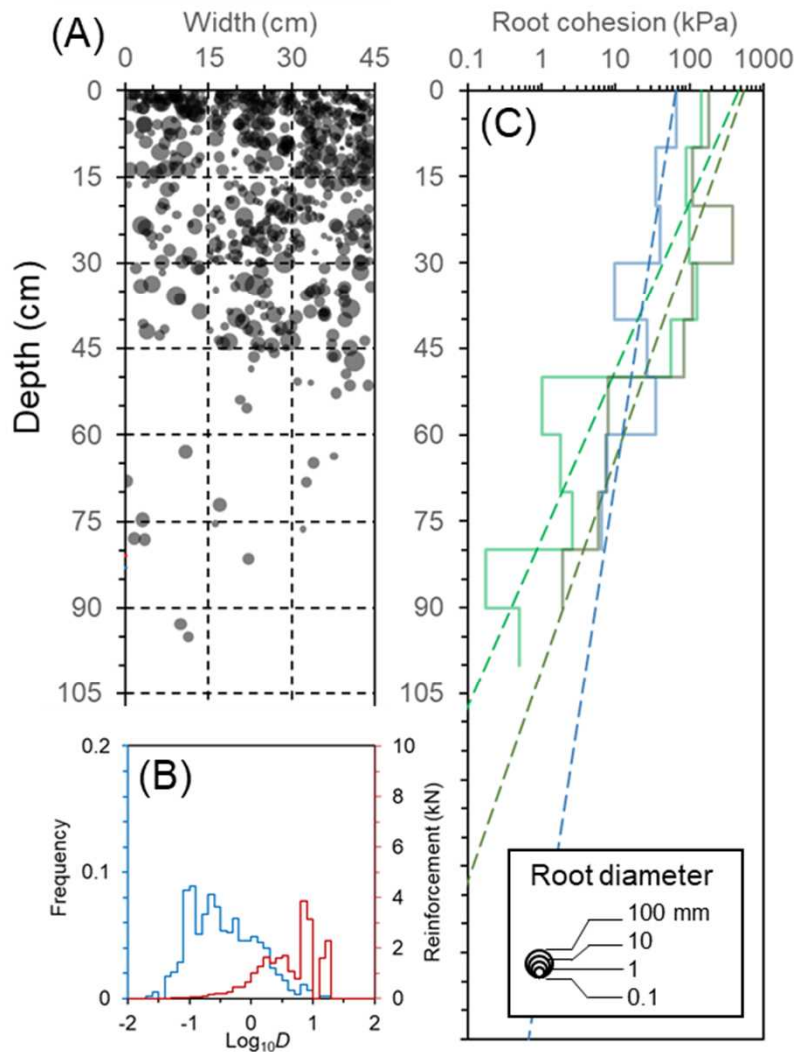
樹木根系を考慮した土層の強度特性

異なる環境下にある広葉樹林・針葉樹林において立木間中央断面での樹木根系による付加的粘着力を、土層深度を変数とする経験的指数関数として表現。→土層の厚み推定との連携。

根系による土層補強効果は再表層部で20~200 kPaであり、**広葉樹林 > 針葉樹林**。

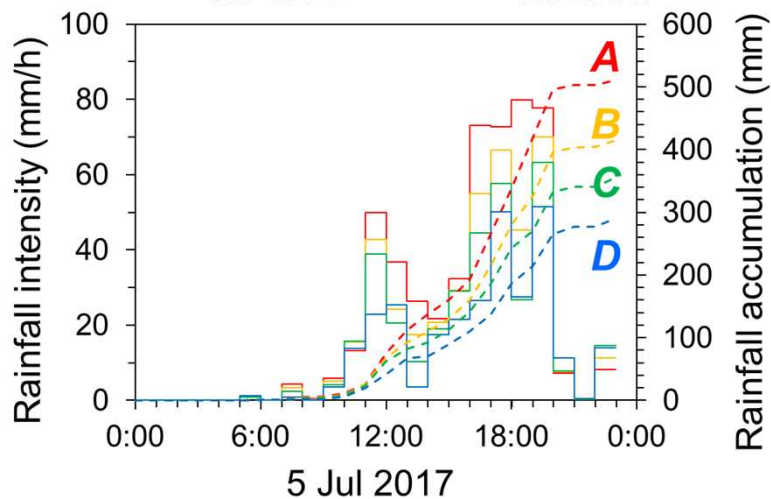
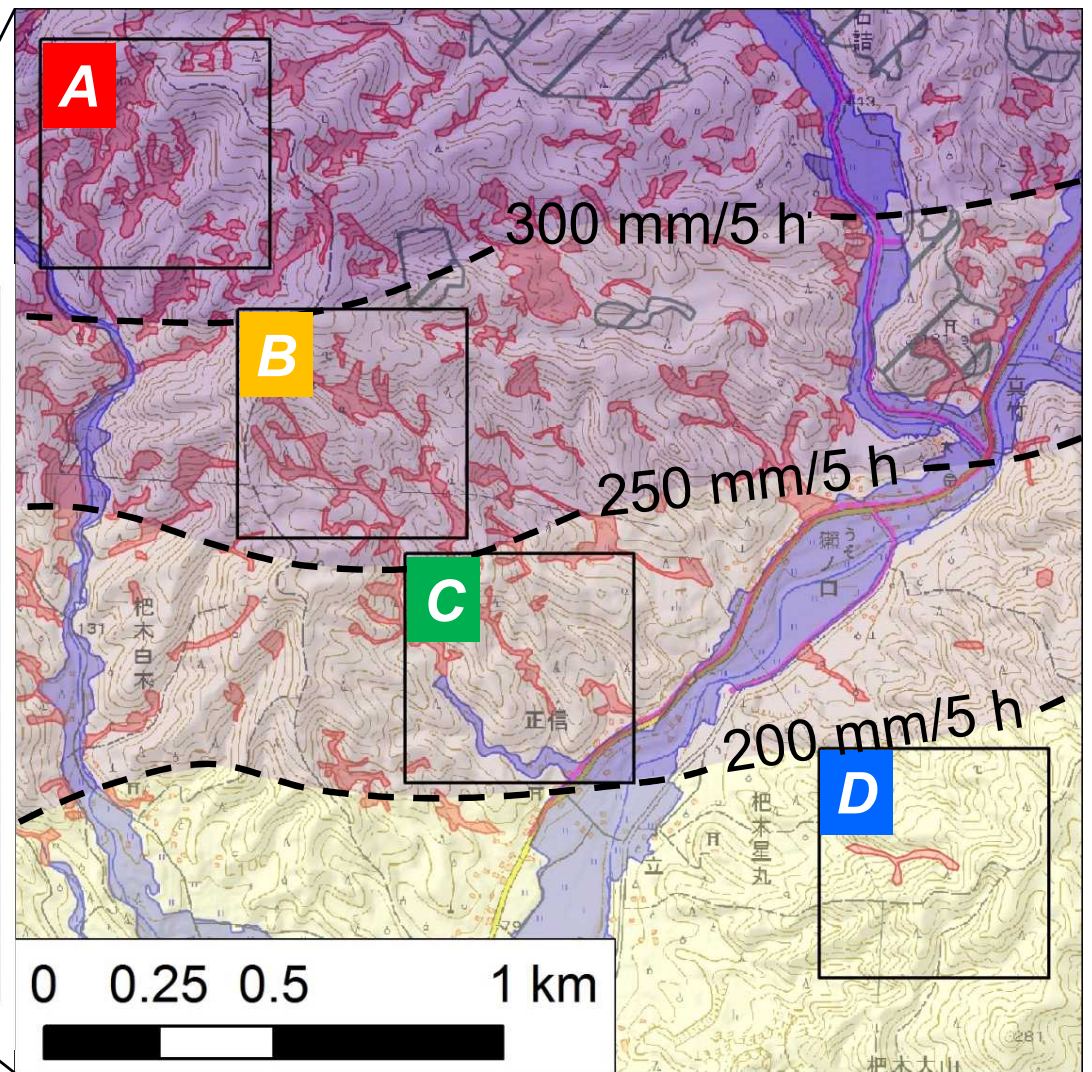
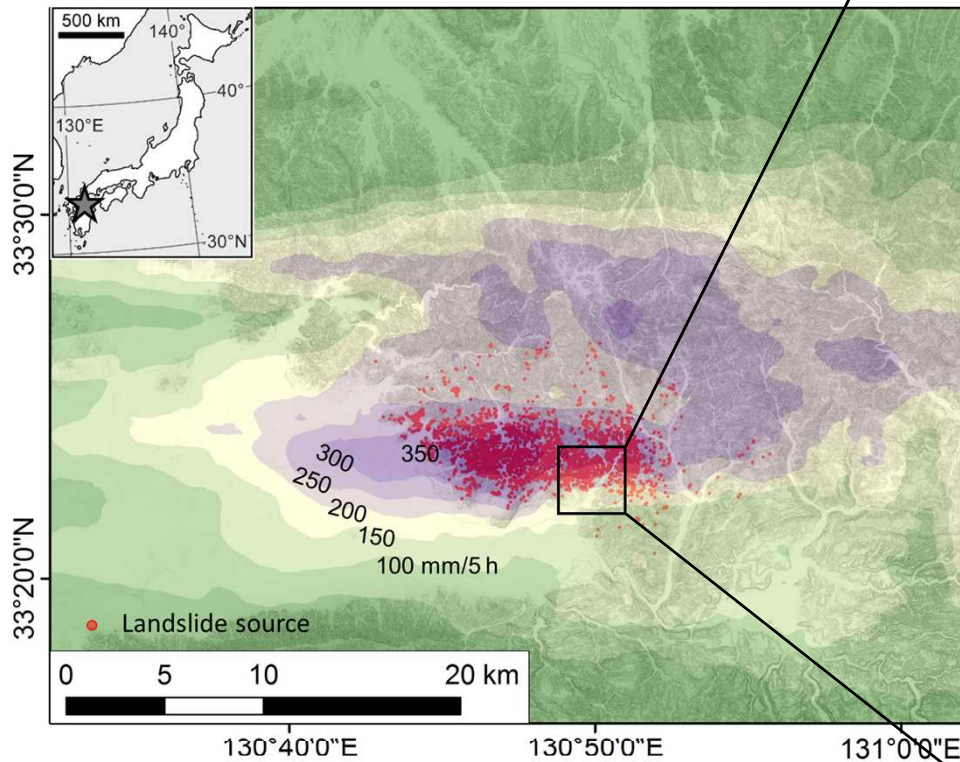
Broadleaf forest

Coniferous forest



予測可能性の確認

2017年九州北部豪雨
発災域での検討例

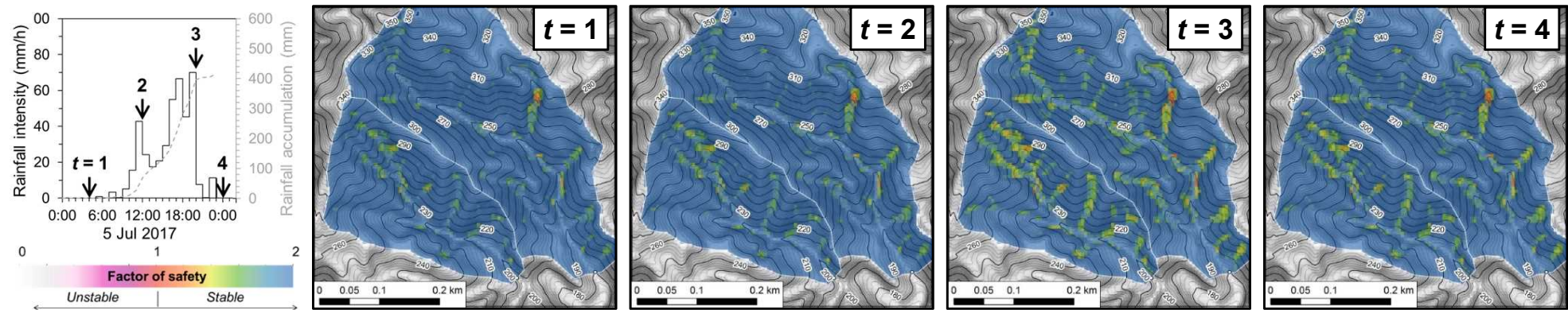
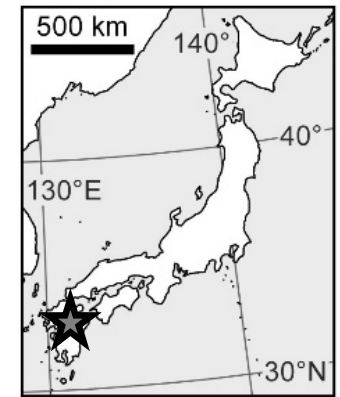


雨量に明瞭な空間勾配のある雨域南縁部に着目。
一様な地質（花崗閃緑岩）・地形の条件下において、
降雨強度の差に対応して異なる発災状況を呈する。
この場を対象に、水文地形過程のモデリングを行い、
モデルが選択した4領域/内部8小流域での表層崩壊の
分布とタイミング、崩土量を説明できるか検証する。

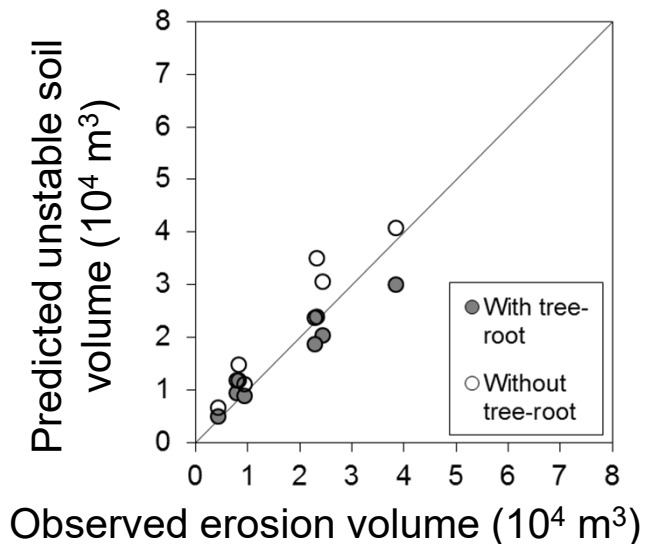
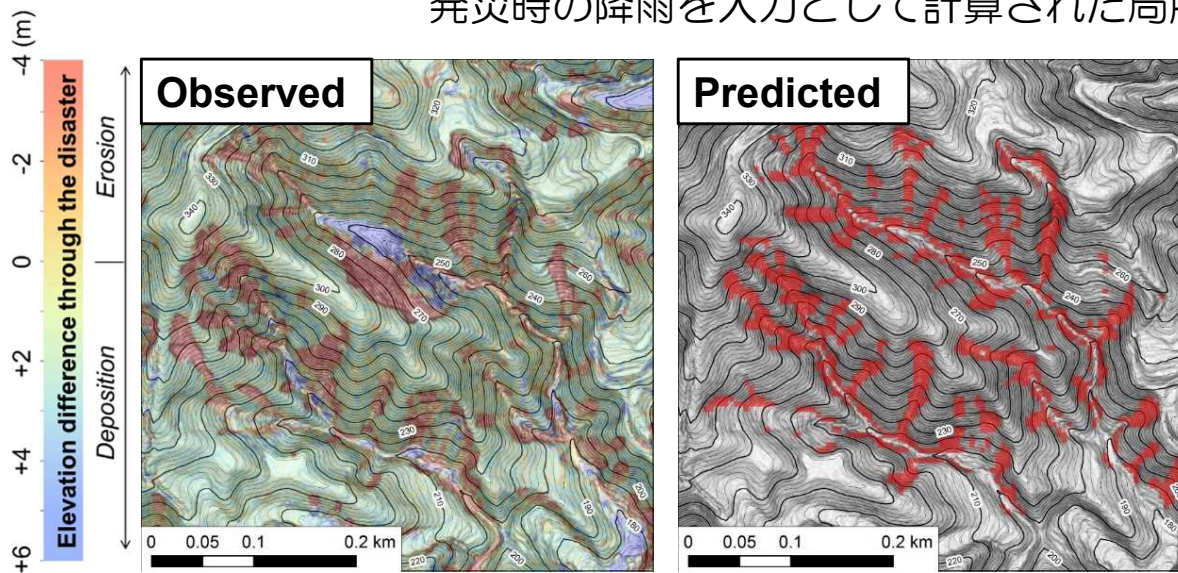
計算結果

実測によってキャリブレーションされた斜面構成物の厚みと物性値をパラメータとし、**発災時のハイトグラフ**を入力とした計算を実施。

モデルの出力は、**実際の表層崩壊の時空間的な発生状況と生産土砂量を良く再現した。** → 予測可能性の確認。

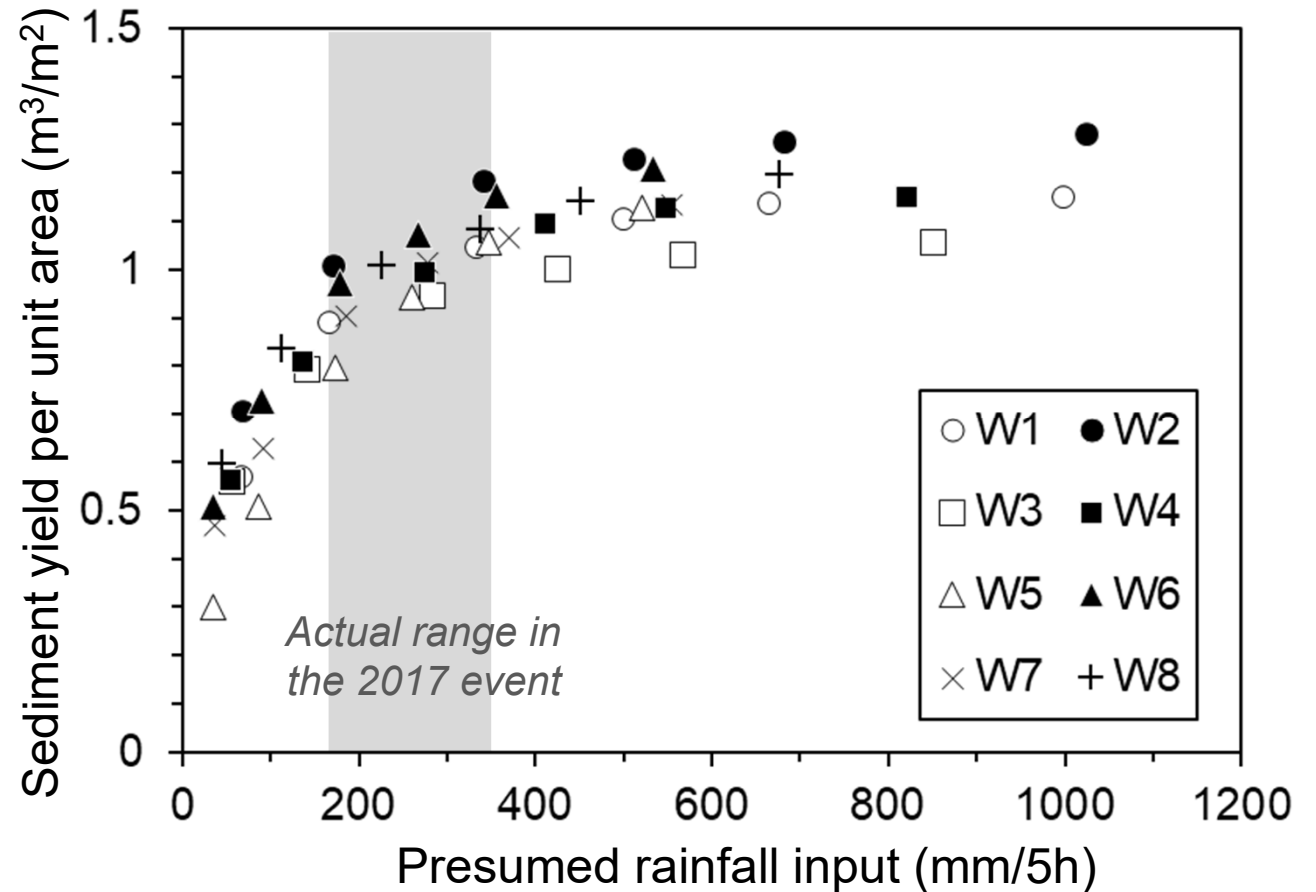
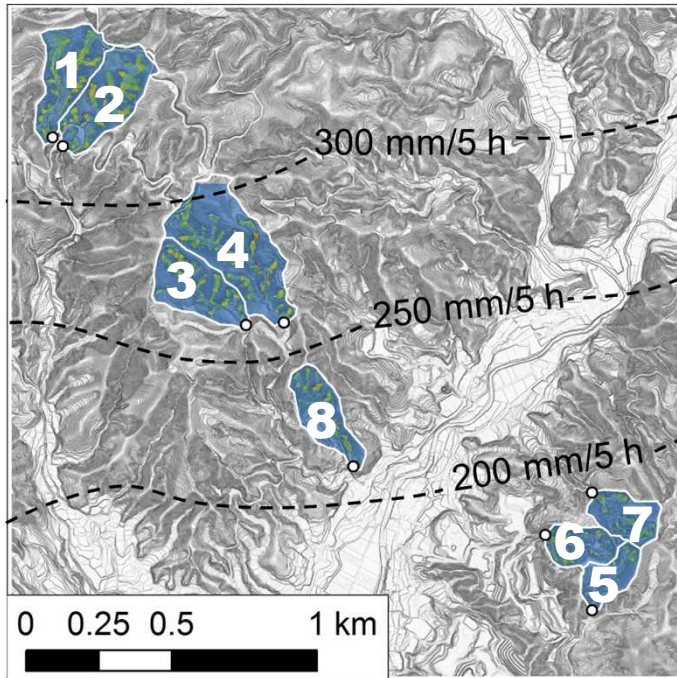


発災時の降雨を入力として計算された局所安全率の時空間変化の例。



モデルによる表層崩壊の発生と土砂生産の再現例。

応用展開1: 短期ハザード評価



決定論的なプロセスベースドモデルの応用として，入力降水量を変化させたときの出力によって，**降水に対する土砂生産量の変化**を定量評価することができる。

降水量の増大とともに流域からの土砂生産量も増大するが，それは土砂の量と地形に制約された**上限**を持つ。→土砂生産における**非線形性**の再現。

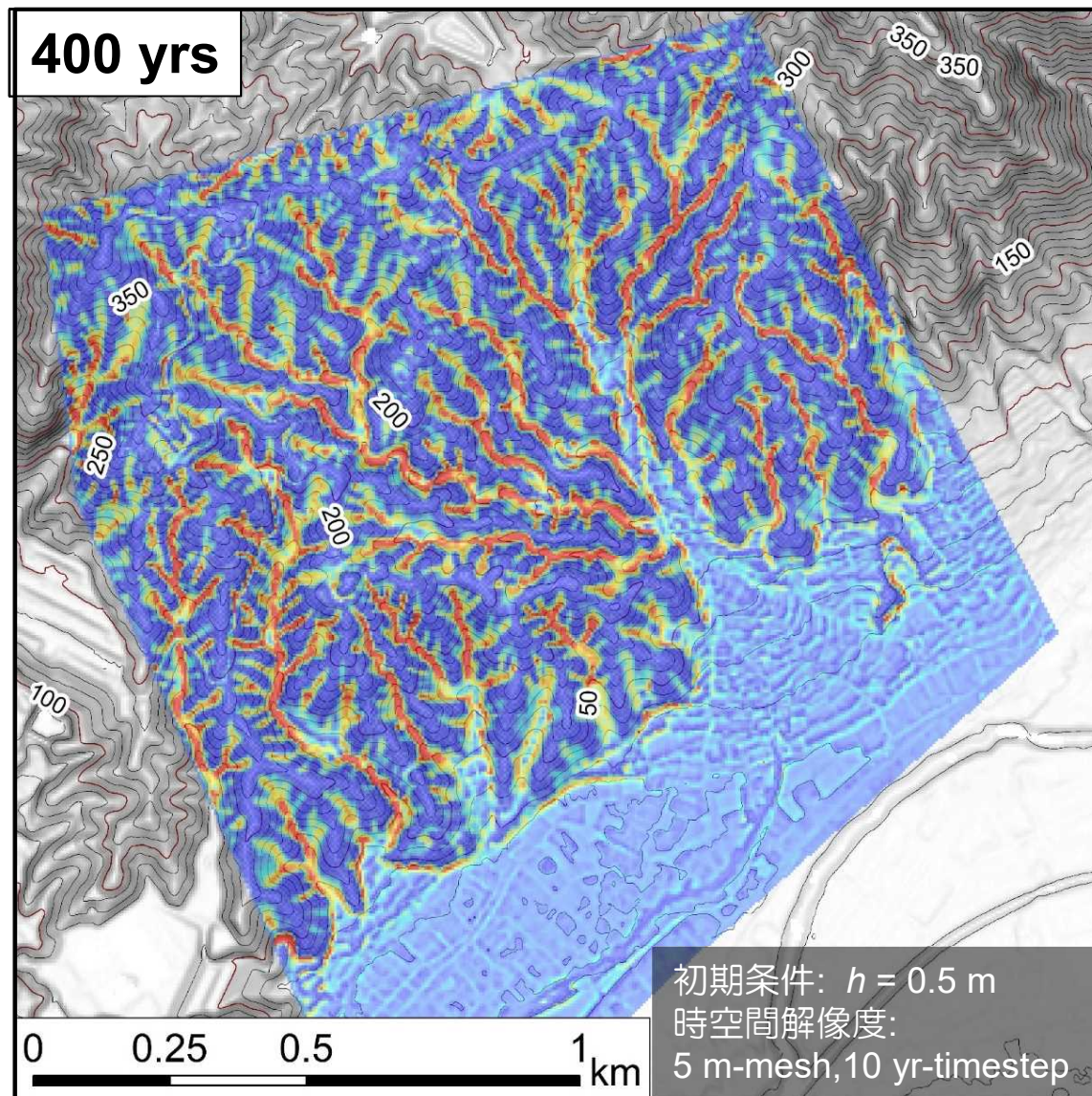
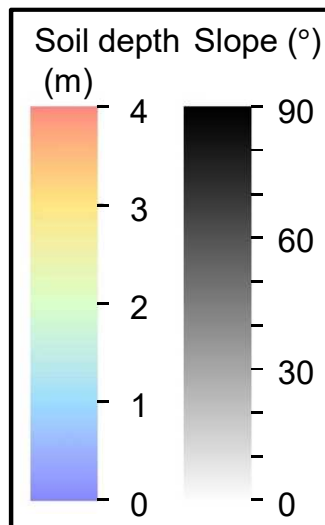
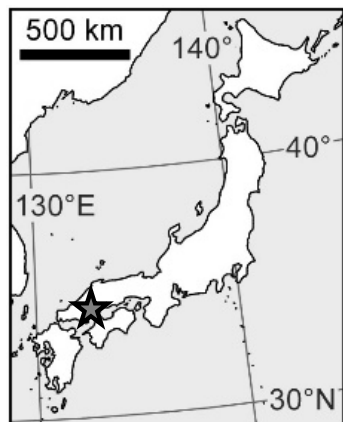
モデルの出力は，**想定降雨に対するハザード評価**および，**確率降雨量に基づく計画土砂量の算定**に用いることができる。

応用展開 2: 長期土砂動態予測

表層崩壊（土層除去）

風化・ソイルクリープ
（土層回復）

表層崩壊－土層発達サイクルモデルによる土砂生産量の将来予測
2014年広島豪雨発災域での検討例



流域は、岩盤の風化とソイルクリープによる谷頭凹地での土層発達と、降雨浸透に伴う表層崩壊による土層除去を繰り返す。

このサイクリックシステムにより斜面は崩壊免疫性を獲得し、一雨での土砂生産量もその影響を受ける。

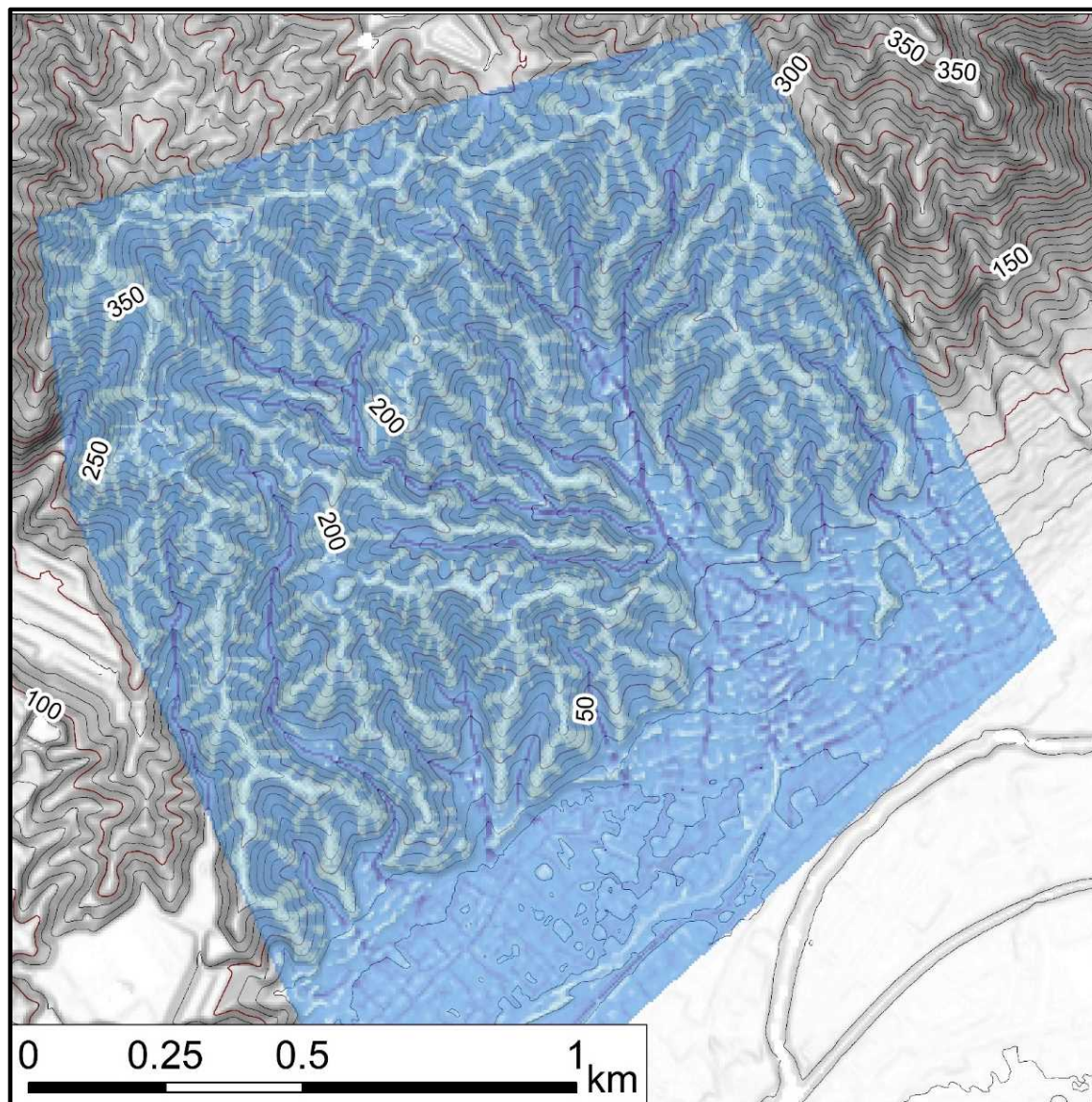
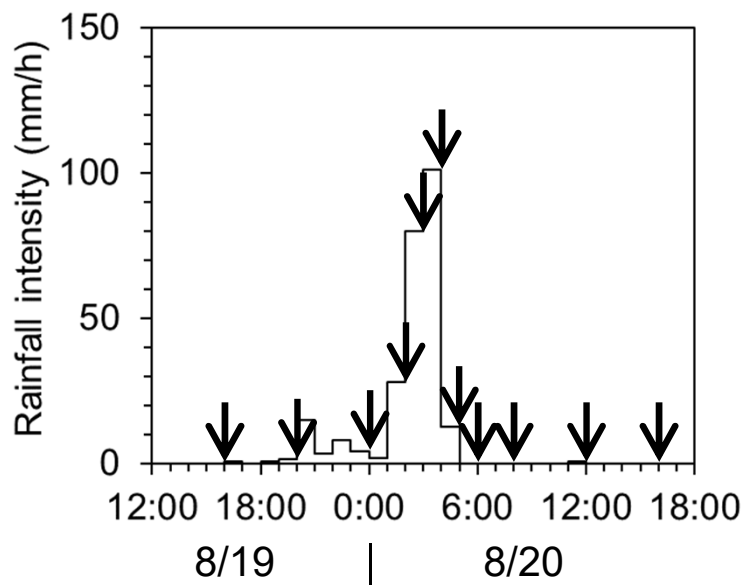
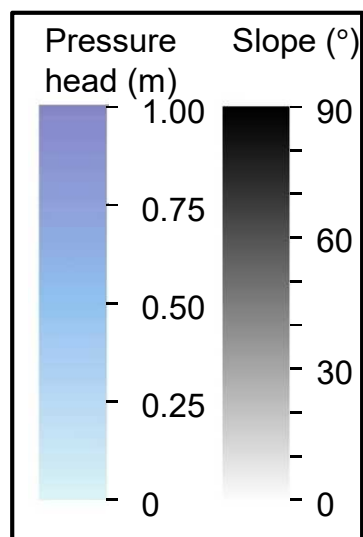
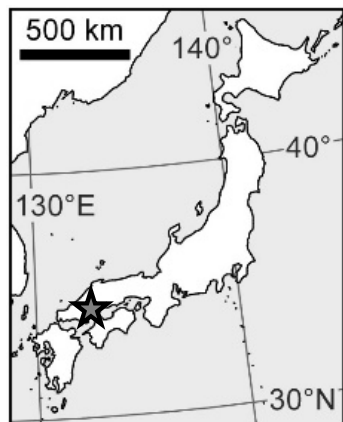
土砂生産の確率論的評価と流域土砂動態変容の将来予測には、サイクルモデルによる長期シミュレーションが必要

応用展開 2: 長期土砂動態予測

表層崩壊—土層発達サイクルモデルによる土砂生産量の将来予測
2014年広島豪雨発災域での検討例

表層崩壊（土層除去）

風化・ソイルクリープ
（土層回復）

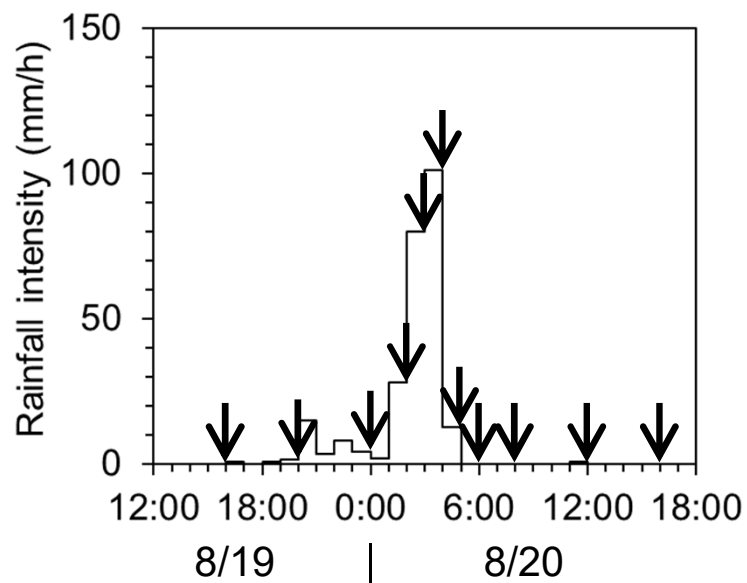
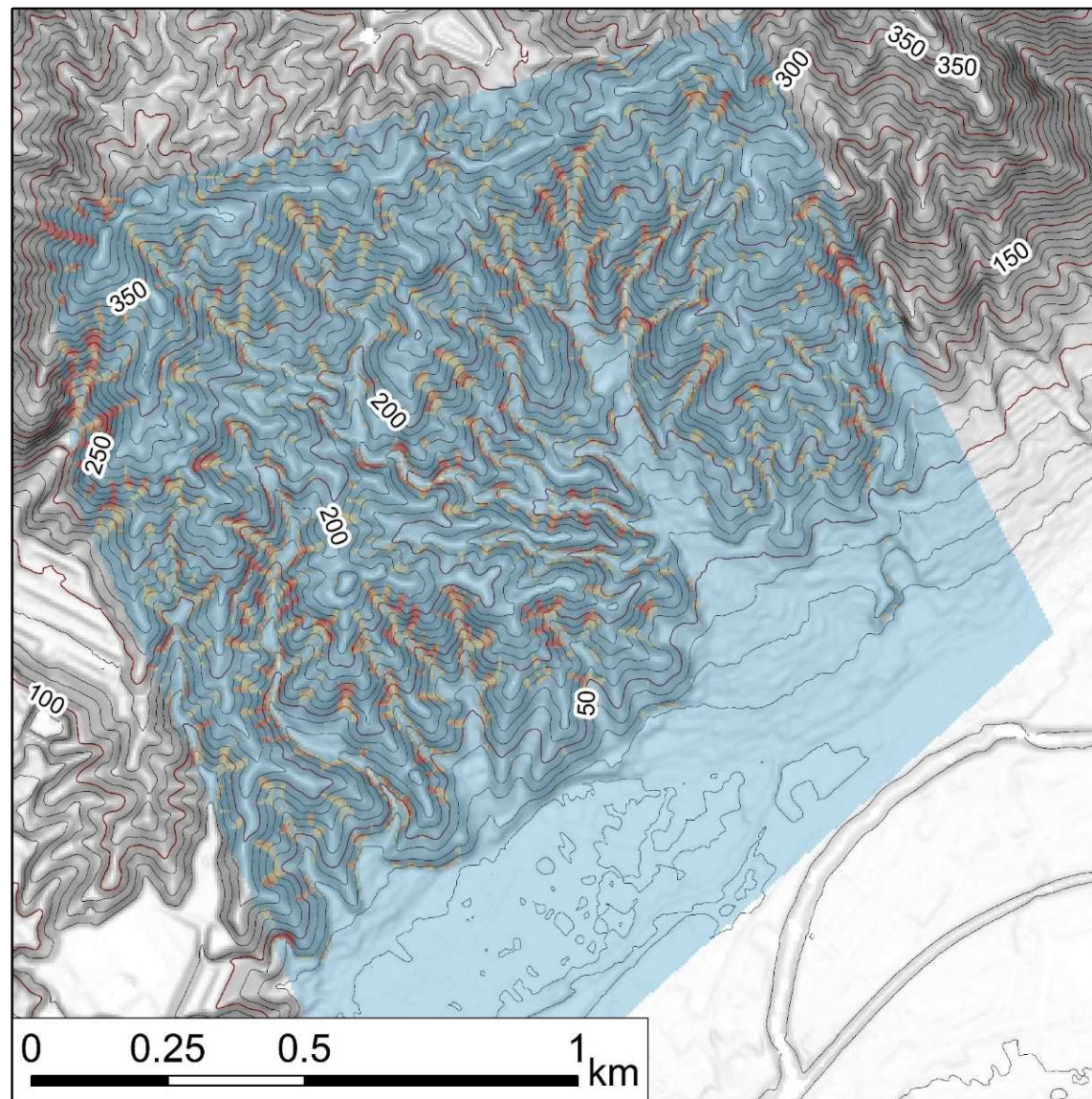
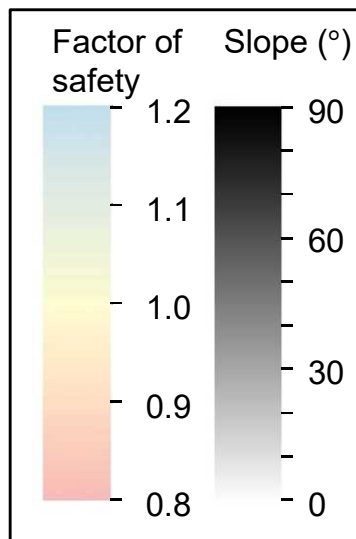
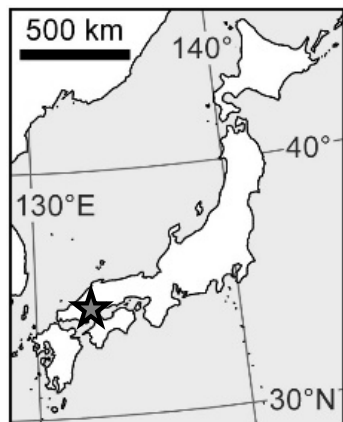


応用展開 2: 長期土砂動態予測

表層崩壊—土層発達サイクルモデルによる土砂生産量の将来予測
2014年広島豪雨発災域での検討例

表層崩壊（土層除去）

風化・ソイルクリープ
（土層回復）



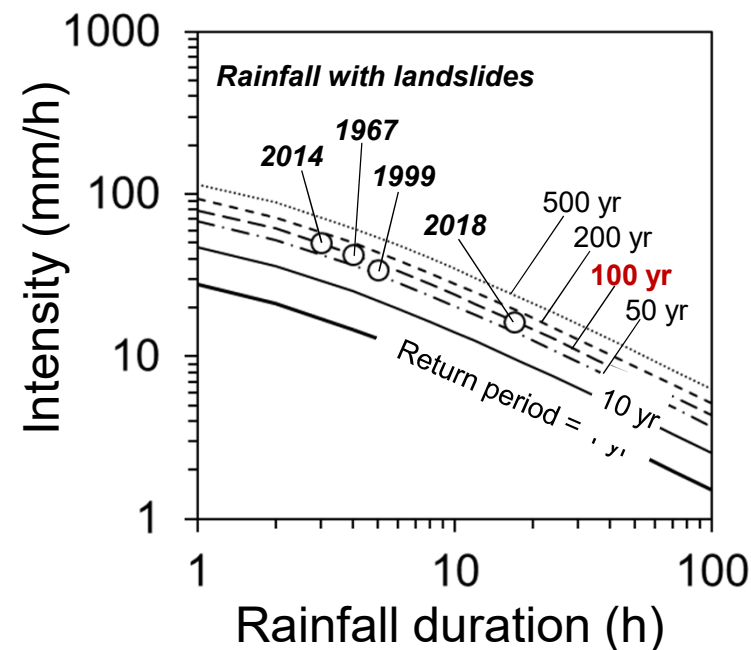
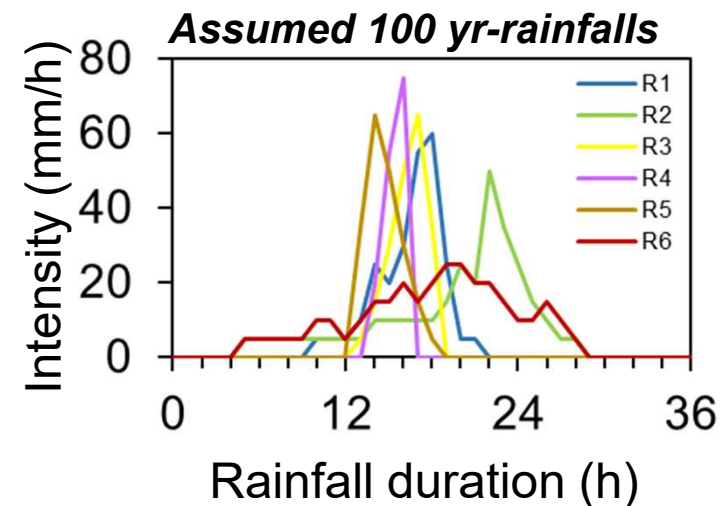
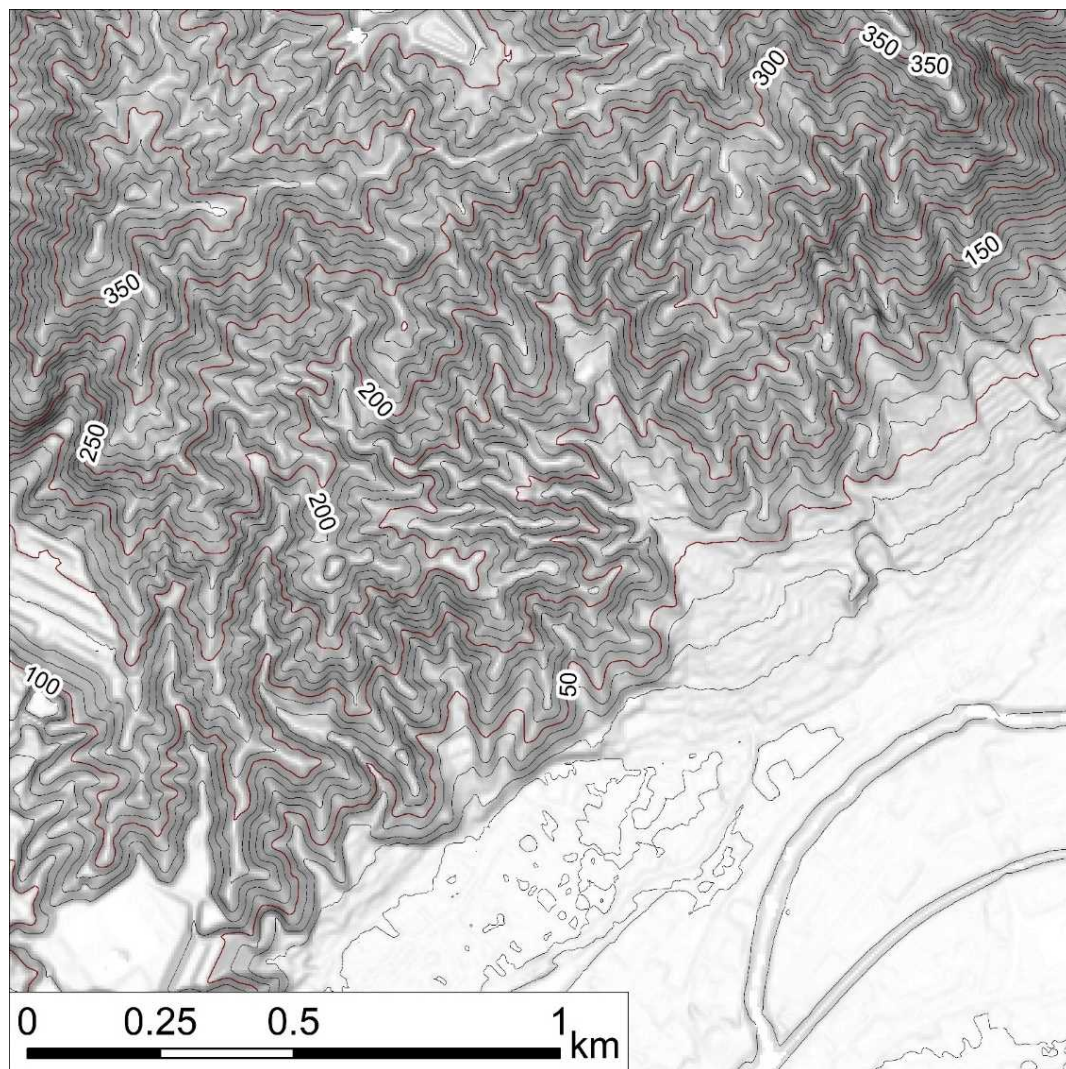
応用展開 2: 長期土砂動態予測

表層崩壊—土層発達サイクルモデルによる土砂生産量の将来予測

100年再現周期の降雨による表層崩壊を想定（評価期間は500年）。

表層崩壊（土層除去）

風化・ソイルクリープ
（土層回復）



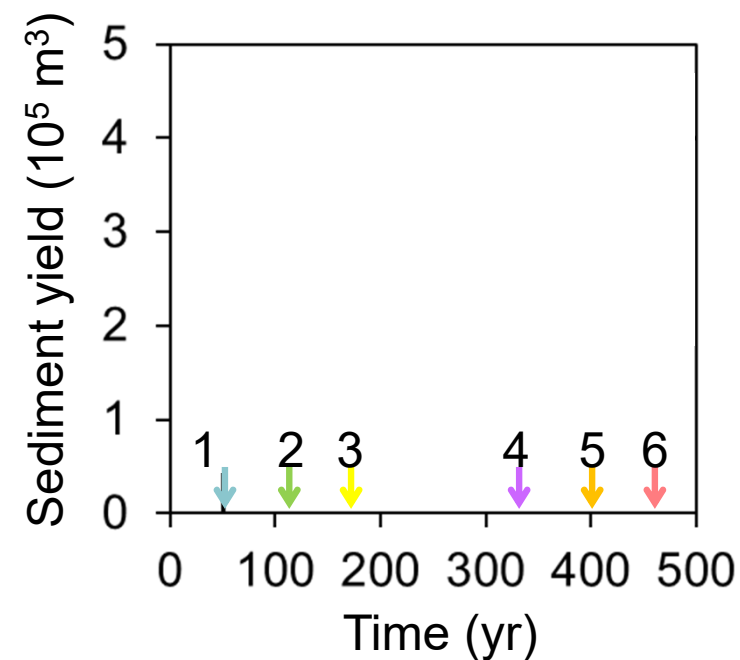
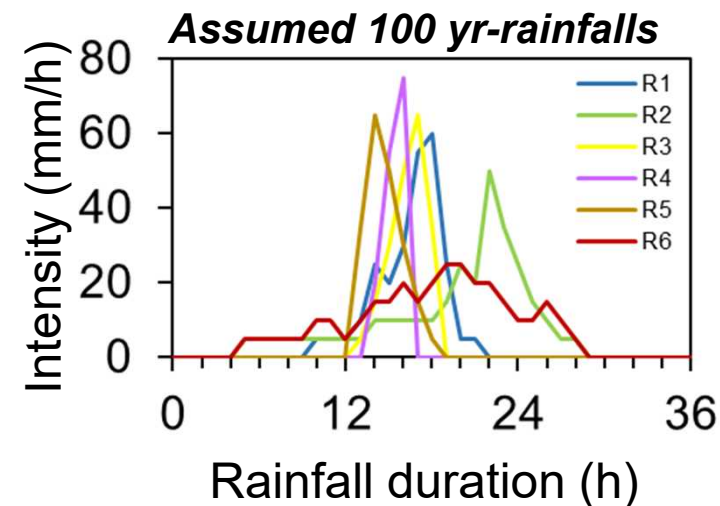
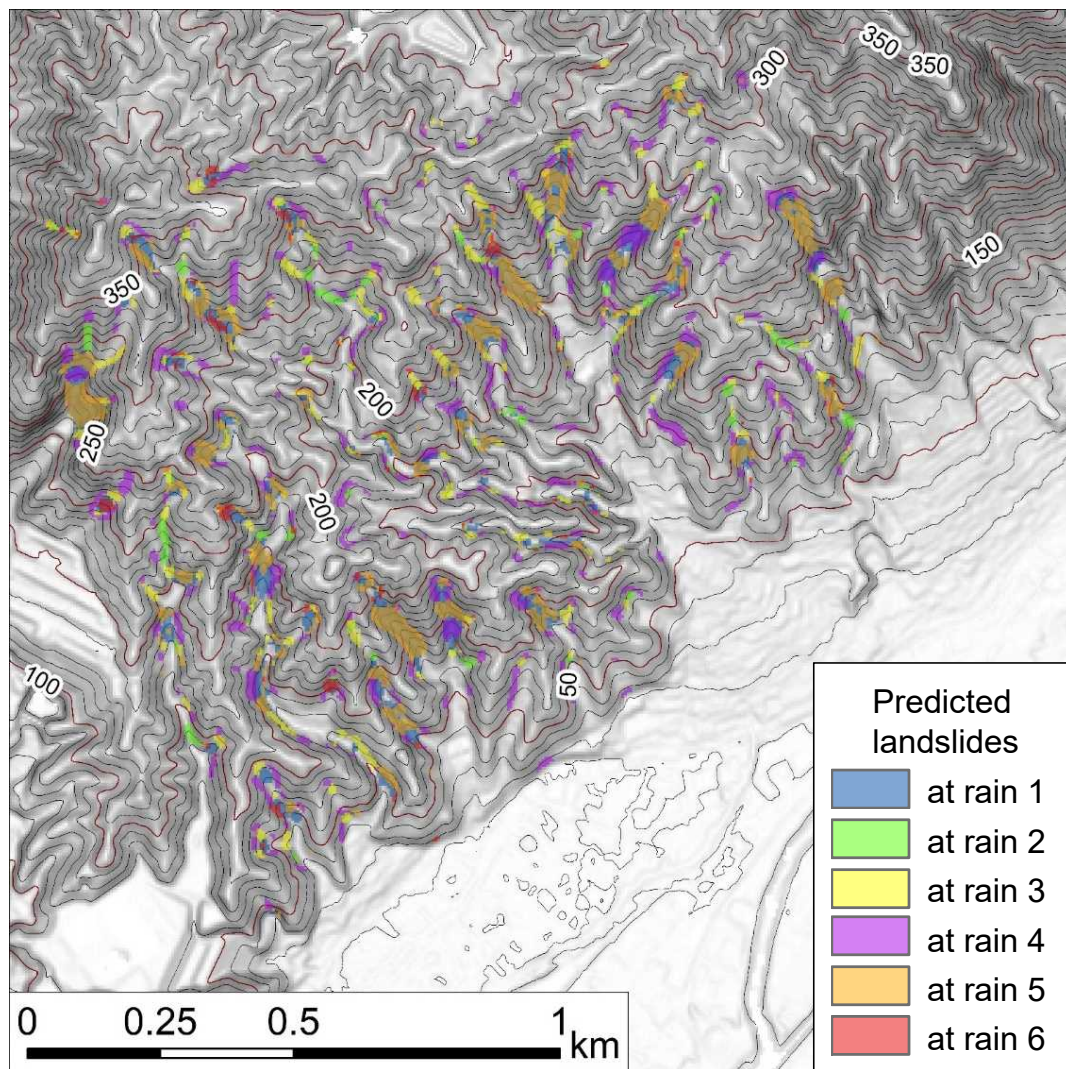
応用展開 2: 長期土砂動態予測

表層崩壊—土層発達サイクルモデルによる土砂生産量の将来予測

100年再現周期の降雨による表層崩壊を想定（評価期間は500年）。

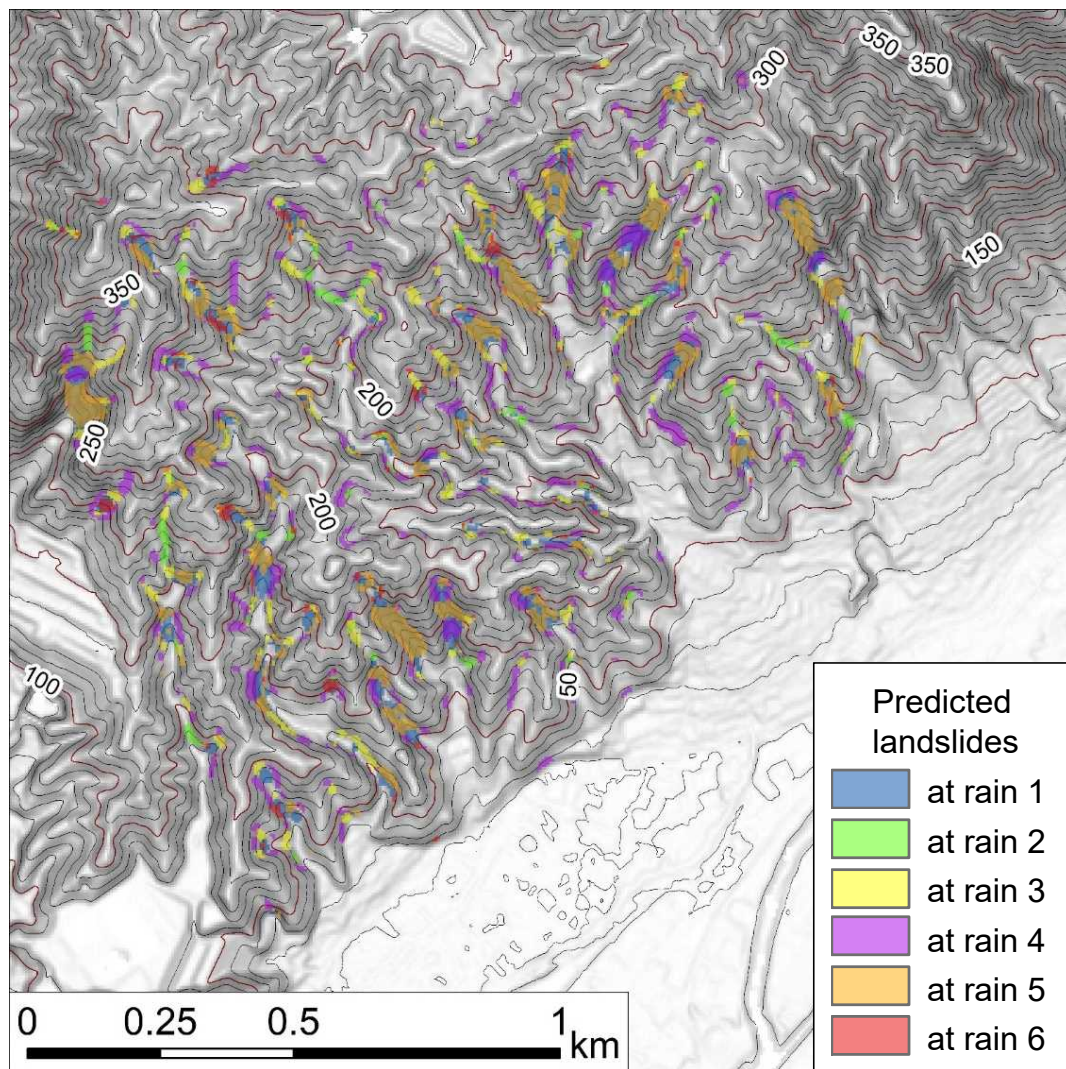
表層崩壊（土層除去）

風化・ソイルクリープ
（土層回復）



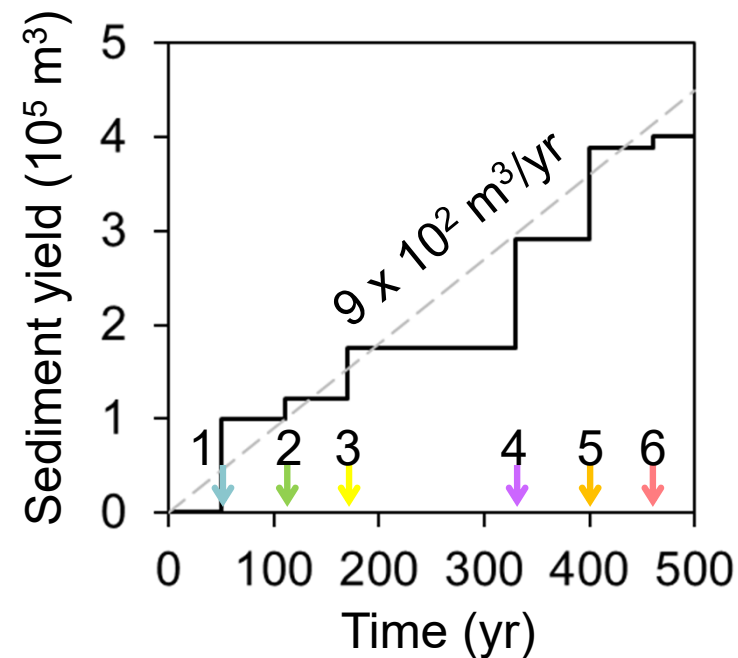
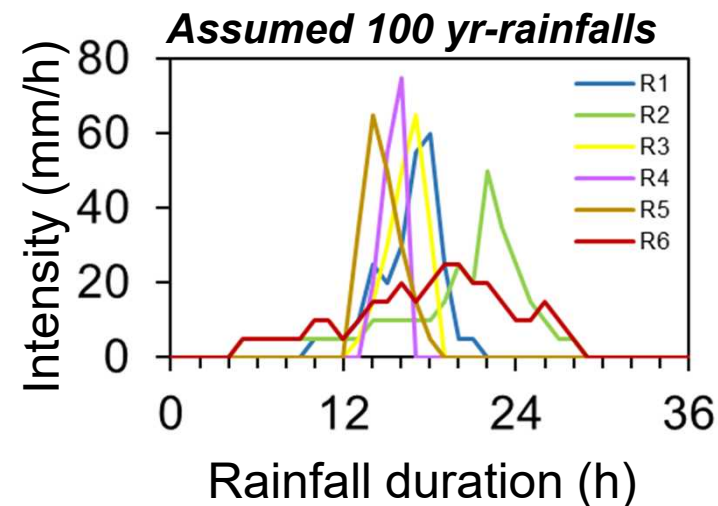
応用展開 2: 長期土砂動態予測

同じ再現周期の降雨であっても、土砂生産量は、降雨のタイミングと波形に強く依存。



降雨—土砂生産系の非線形性を反映。

→ 確率論的評価が意味を成す。

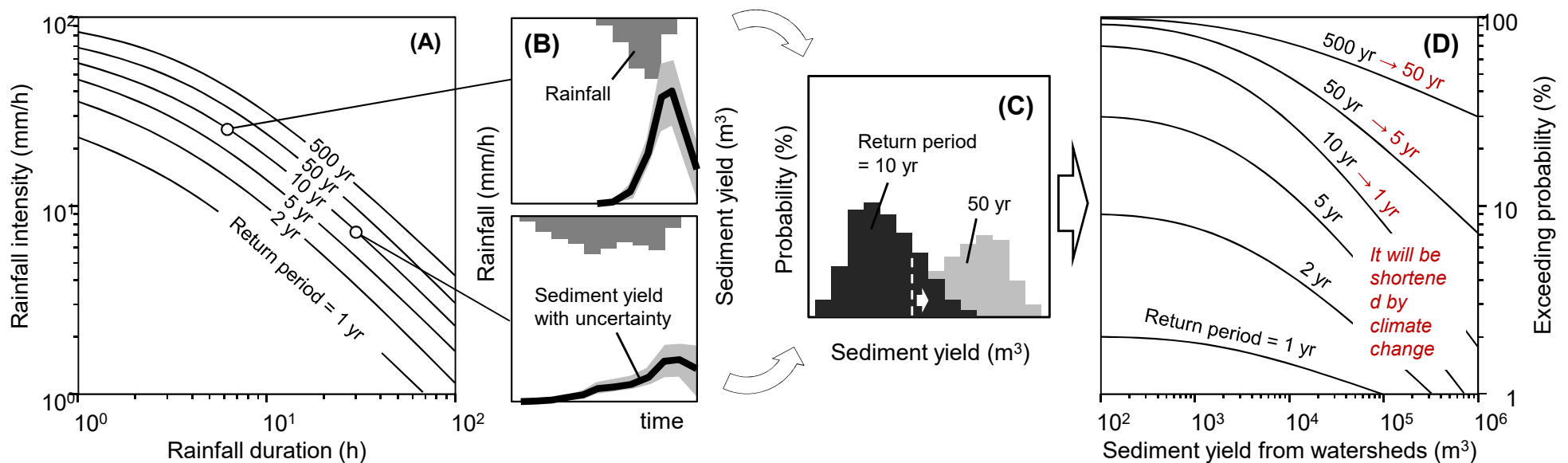


まとめ: 成果の実務展開・社会実装の見通し

決定論的モデリングをベースとした土層発達—表層崩壊サイクルシミュレーションは、砂防事業の核心的課題である「流域からの土砂生産量の確率論的評価」の実質的解決に資するものとなる（多数の降雨波形を設定したアンサンブル解析など）。

モデルは短期的には、降雨予報に対する土砂災害ハザード予測に、中・長期的には、流域砂防計画の策定や気候変動に伴う流域土砂動態の変容評価への応用が考えられる。

また斜面ハザードが可視化されるため、研究者や行政担当者、地域住民とのリスクコミュニケーションツールとしても活用できるだろう。



降雨の超過確率を、流域土砂生産量の超過確率へと変換する手順の概念図。

まとめ: 総括

- 山地流域における多階層的な水文地形システムの統合的理解とモデル化に基づく表層崩壊の発生と土砂生産の定量的予測システムを構築した。
- モデルは、地形と植生および土層と岩盤を含む風化帯の構造と物性を考慮した素因条件と、降水の長期定常的流動・湧出および短期的な浸透による非定常な間隙水圧上昇からなる誘因作用のカップリングによって構成されており、必要なパラメータのデータベース化を進めた。
- 実測パラメータを用いて算出した局所安全率に基づく斜面ハザードの動的マッピング結果は、過去の発災状況をよく再現する。
- 表層崩壊と土層回復を繰り返すサイクルシミュレーションにより、流域からの土砂生産量の確率論的評価が可能となった。
- 本研究で開発したモデルは、土砂災害の高確度・高精度な予測や、効果的な砂防構造物の配備検討、地域社会とのリスクコミュニケーションによるソフトな砂防事業の展開、あるいは気候変動に伴う流域土砂動態の変容評価を実行するためのツールとして活用できる。

気候変動における砂防計画の対策の方向性(案) 土砂・洪水氾濫対策

- 2°C上昇時における降雨量変化を外力とすることを基本とする。
- 土砂・洪水氾濫対策では、降雨量変化倍率は治水計画提言(1.1倍(北海道は1.15倍))を参考にし、100km²以上の代表流域を選定し、影響を検討。降雨量変化倍率については、最新のデータセットを用いた検討を合わせて実施。
- 降雨特性変化に応じた土砂量については、物理モデル等により設定する。
- 不確実性への対応、施設配置計画策定手法については、引き続き検討を行う。

現在の基本的な考え方

当面の対応の考え方

【100km²以上の代表流域】

土砂・洪水氾濫対策

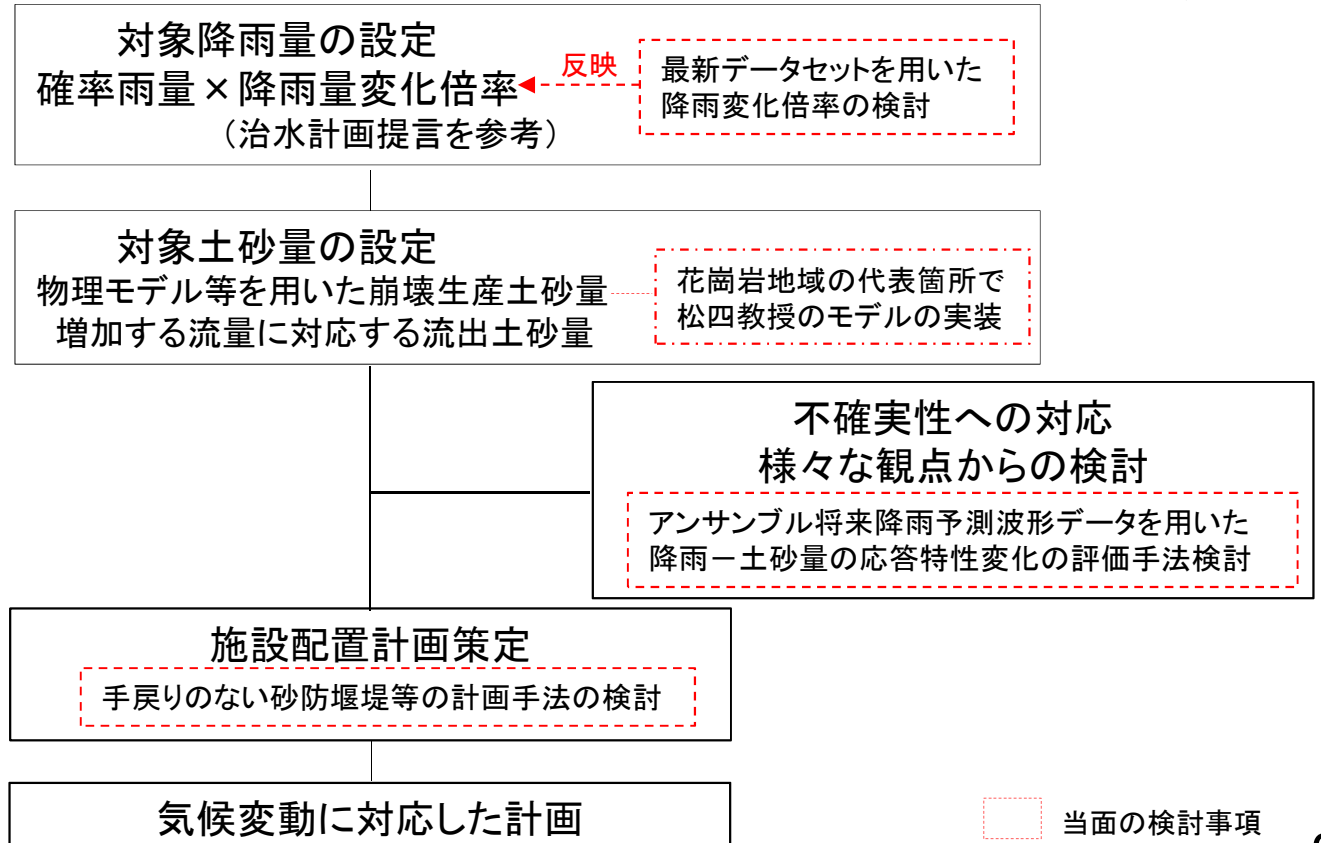
対象流域：
概ね10km²-100km²以上

降雨：雨量観測所

対象降雨(計画規模)：
・ 対象降雨設定(計画規模)
【例 ○mm/24時間(1/100)】

対象土砂量の算定手順例：
・ 計画規模の降雨で、発生が想定される崩壊土砂量と移動が見込まれる河床堆積土砂量の合計

施設配置
・ 数値計算により保全対象の氾濫を防止・軽減する配置を検討



- 2°C上昇時における降雨量変化を外力とすることを基本とする。
- 土石流対策では、5km²以内の流域で実施していることが多いという事業の特性を踏まえ、適した流域スケールの年超過確率1/100以上の規模(より高頻度)の降雨特性について、最新のデータセットを用いて、降雨量変化倍率やその現象に適した地域区分について分析・検討を実施する。(例えば、都道府県ごと、気象予報区分ごとに降雨変化倍率を設定する等)
- 降雨特性変化に応じた土砂量については、土砂・洪水氾濫対策における土砂量に関する検討成果を参考に今後検討する。

現在の基本的な考え方

当面の対応の考え方

土石流対策

対象流域: 概ね5km²以下

降雨: 雨量観測所

対象降雨(計画規模):

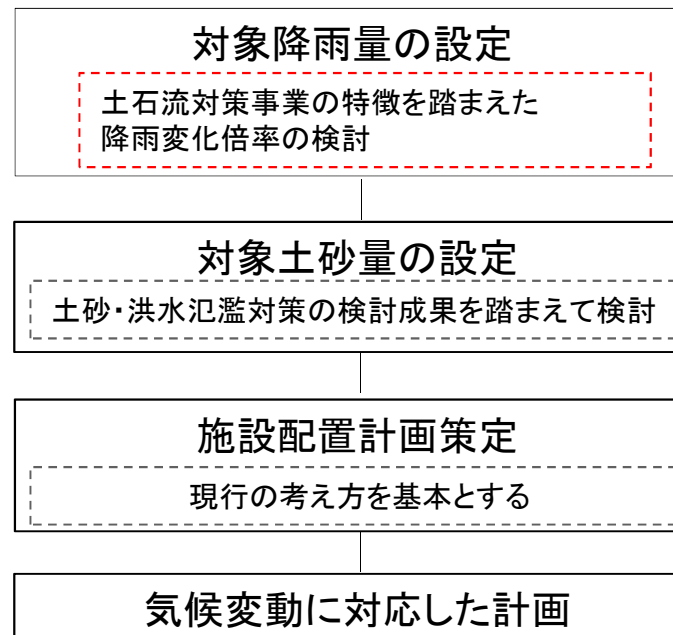
- ・ 100年超過確率規模の24時間もしくは日雨量

対象土砂量の算定手順:

- ・ ①と②の小さい方を選定
- ①計画規模の降雨で、発生が想定される崩壊土砂量と移動が見込まれる河床堆積土砂量の合計
- ②計画規模の降雨による流量で運搬される土砂量の合計

施設配置

- ・ 砂防堰堤の効果量 = 対象土砂量となる配置



- 都道府県別
- 気象予報 一次細分区域別
例えば新潟県では上越、中越、下越、佐渡



- 当面の検討事項
- 中長期的な検討事項

※土石流、土砂・洪水氾濫対策以外の土砂移動現象については、引き続き検討を進める。

◎気候変動における砂防計画の対策の方向性について

本日の検討会で頂いた意見を踏まえ再度検討を行い、年内の第8回検討会でのとりまとめ時に合わせて、具体的な検討項目を整理する。

必要に応じて、委員の方々への意見聴取を実施する。

参考 下水道計画提言に用いられていた将来降雨の予測データ

気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について 提言 参考資料(一部改訂) より

現在公表されている将来降雨の予測データの状況

解像度	検討・公表の枠組み	通称		気候変動シナリオ	時間解像度	アンサンブル計算	DS手法	都市キャパ-	バイアス補正	対象期間	計算パターン及び公表状況
		全国(沖縄諸島除く)	沖縄諸島								
20km	21世紀末における日本の気候【環境省・気象庁】	NHRCM20	NHRCM20	RCP8.5 RCP2.6	時間		力学		○	現在(1984-2004) 将来(2080-2100)	現在: 3パターン 将来: 3パターン(RCP2.6) 9パターン(RCP8.5)
	気候変動リスク情報創生プログラム【文科省】	d4PDF	d4PDF	RCP8.5 (4°C上昇)	時間	○	力学		○	現在(1951-2010) 将来(2051-2110)	現在: 50パターン 将来: 90パターン (6SST×15摂動)
	気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)【文科省】	d2PDF	d2PDF	RCP8.5 (2°C上昇)	時間	○	力学		○	現在(1951-2010) 将来(2031-2090)	現在: 50パターン 将来: 54パターン (6SST×9摂動)
5km	気候変動リスク情報創生プログラム【文科省】	NHRCM05	NHRCM05	RCP8.5 RCP2.6	30分	○	力学	○	○	現在(1980-1999) 将来(2076-2095)	現在: 4パターン 将来: 4パターン
	気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)【文科省】	d4PDF (5km,SI-CAT)	×	RCP8.5 (4°C上昇)	時間	○	力学			現在(1980-2011) 将来(2080-2111)	現在: 12パターン 将来: 12パターン (6SST×2摂動)
		d4PDF (5km,yamada)								現在(1951-2010) 将来(2051-2110)	現在: 50パターン 将来: 90パターン
		d2PDF (5km,SI-CAT)	×	RCP8.5 (2°C上昇)						現在(1980-2011) 将来(2060-2091)	現在: 12パターン 将来: 12パターン (6SST×2摂動)
		d2PDF (5km,yamada)								現在(1951-2010) 将来(2031-2090)	現在: 50パターン 将来: 54パターン (6SST×9摂動)
2km	気候変動リスク情報創生プログラム【文科省】	NHRCM02	NHRCM02	RCP8.5 RCP2.6	時間	○	力学	○	○	現在(1980-1999) 将来(2076-2095)	現在: 4パターン 将来: 4パターン
1km	日本全国 1 kmメッシュ 統計的ダウンスケーリングbySi-CAT【文科省】			RCP8.5 RCP2.6	日 又は月		統計		○	日別データ 現在 (1970-2005) 近未来 (2006-2055) 21世紀末 (拡張予定)	5モデル×2シナリオ を1回ずつ
	S-8共通 (第二版) by環境省S-8【環境省】			RCP8.5 RCP4.5 RCP2.6	日 又は月		線形 内挿		○	現在(1981-2000) 近未来(2031-2050) 21世紀末(2081-2100)	基本として 4モデル×3シナリオを 1回ずつ

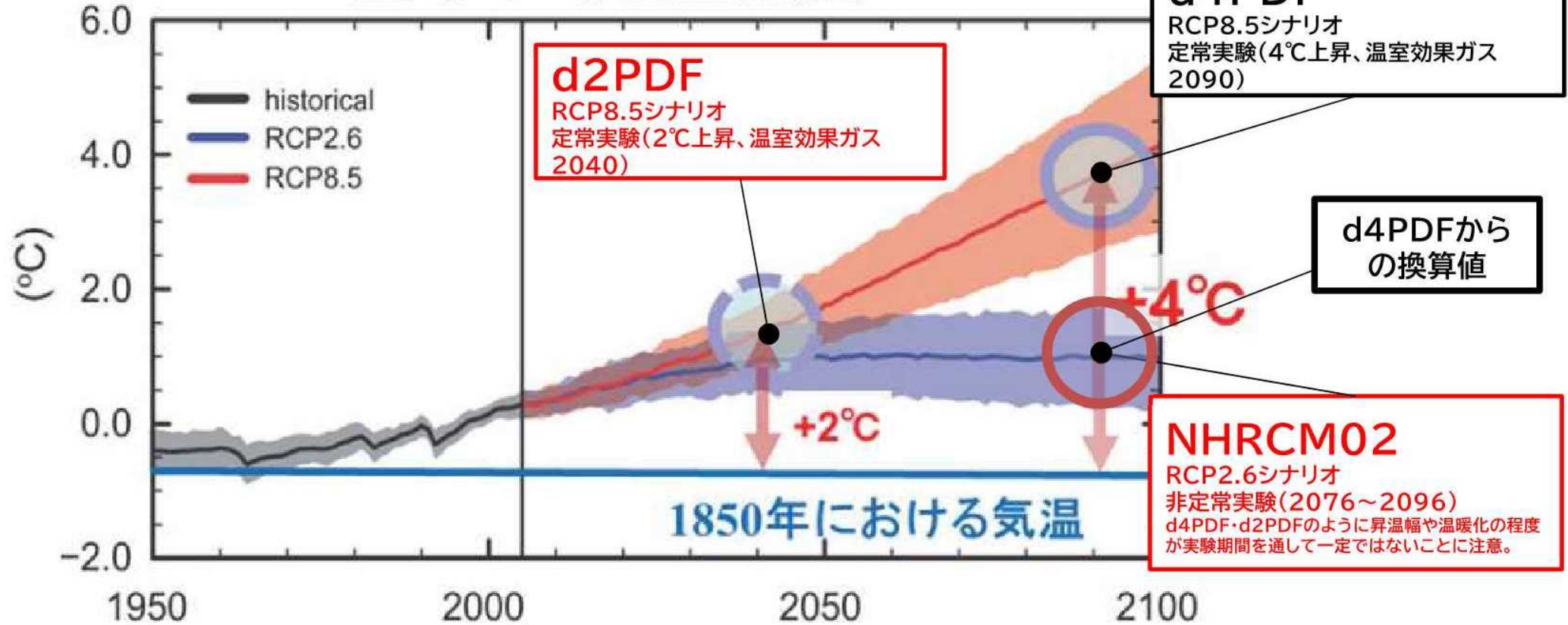
※対象期間(将来)の年数については、任意のものであり、その年数を表すものではない。

参考 d4PDF・d2PDF、NHRCM02の関係性

気候変動を踏まえた下水道による都市浸水対策の推進について 提言 参考資料(一部改訂) より

1986~2005年平均に対する変化

全球平均地上気温



【将来海面水温の設定方法】

<d4PDF・d2PDF>

観測された海面水温からトレンド成分を除いたものに、CMIP5のRCP8.5実験に基づく6種類の海面水温変化パターンに気温上昇(2°C、4°C)に応じた係数を乗じたものを加える。海面水温変化パターンは時間変化しない。

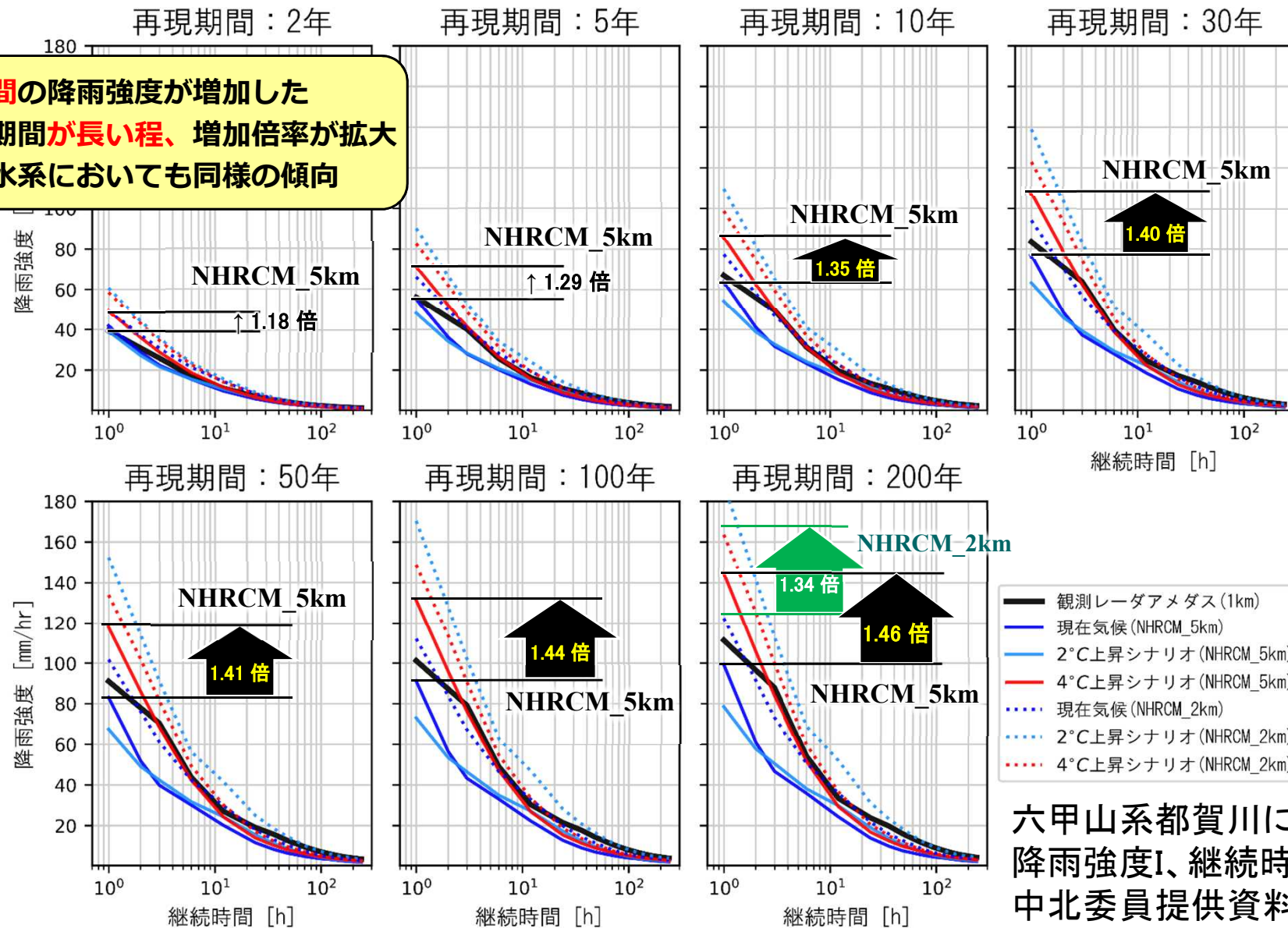
<NHRCM02>

CMIP5に基づく28種類の海面水温を平均したもの(C0)、及びそれらを3つにクラスター分類したもの(C1,C2,C3)の4種類を用いる。

参考 山地小流域での降雨量変化への検討した事例

○ 土石流対策を実施する流域スケールでの降雨強度、継続時間、発生頻度に着目した検討事例がある。山地流域における降雨特性に関する知見を引き続き収集・検討し、対策に反映していく。

・**短時間の降雨強度が増加した**
 ・**再現期間が長い程、増加倍率が拡大**
 ・**他の水系においても同様の傾向**



六甲山系都賀川における
 降雨強度I、継続時間D、発生頻度Fカーブ
 中北委員提供資料

参考 近年の災害の雨量と生産土砂量との関係を解析した事例

平成29年九州北部豪雨での検討事例

対象: 赤谷川(主に花崗岩、変成岩、20km²)、佐田川(寺内ダム上流域)
(主に変成岩、50km²)、北川(主に花崗岩、6km²)

手法: ・谷次数を元に流域区分

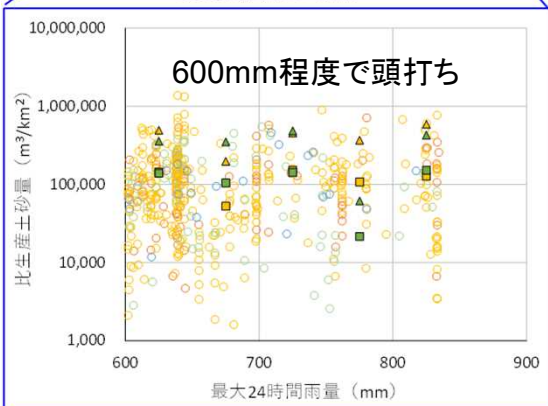
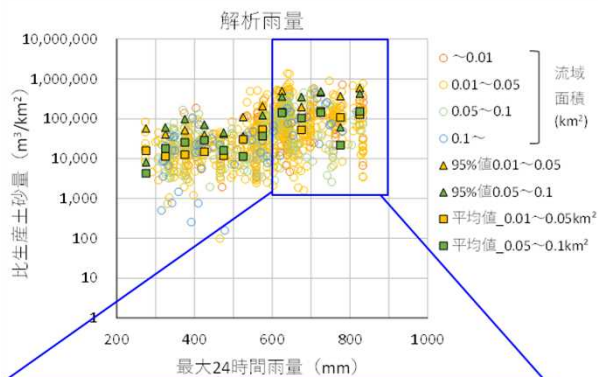
- ・崩壊、流下、溪岸崩壊判読地のLP差分から求めた生産土砂量 / 流域面積で比生産土砂量を算出
- ・雨量は解析雨量、Xrainを使用

昭和63年7月、平成11年6月、平成22年7月、平成26年8月、平成30年7月の豪雨災害での検討事例

対象: 広島県内(花崗岩、流紋岩ほか)

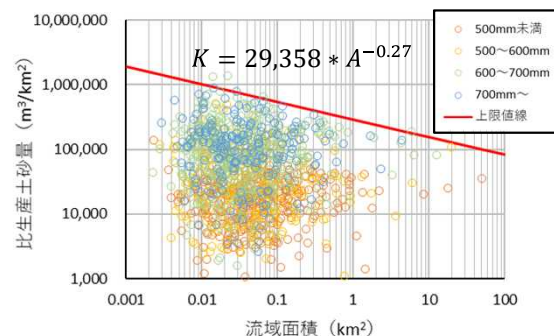
- 手法: ・崩壊地判読のLP差分や文献調査から求めた生産土砂量を1km²ごとに整理
- ・雨量は解析雨量を使用

1次谷流域では、最大24時間雨量600mmで比生産土砂量に頭打ちがある傾向がみられた

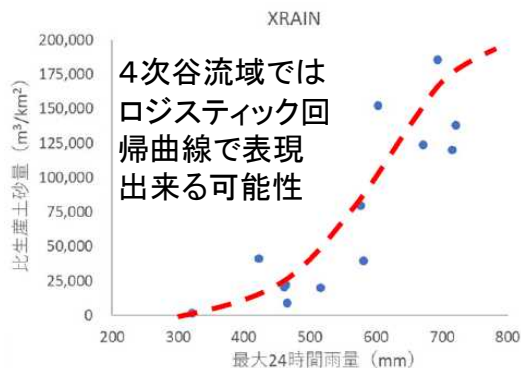


最大24時間雨量と1次谷流域の比生産土砂量との関係

降雨量—比生産土砂量の関係が明瞭となる流域スケールを明らかにし、降雨量から比生産土砂量を予測する可能性を示した

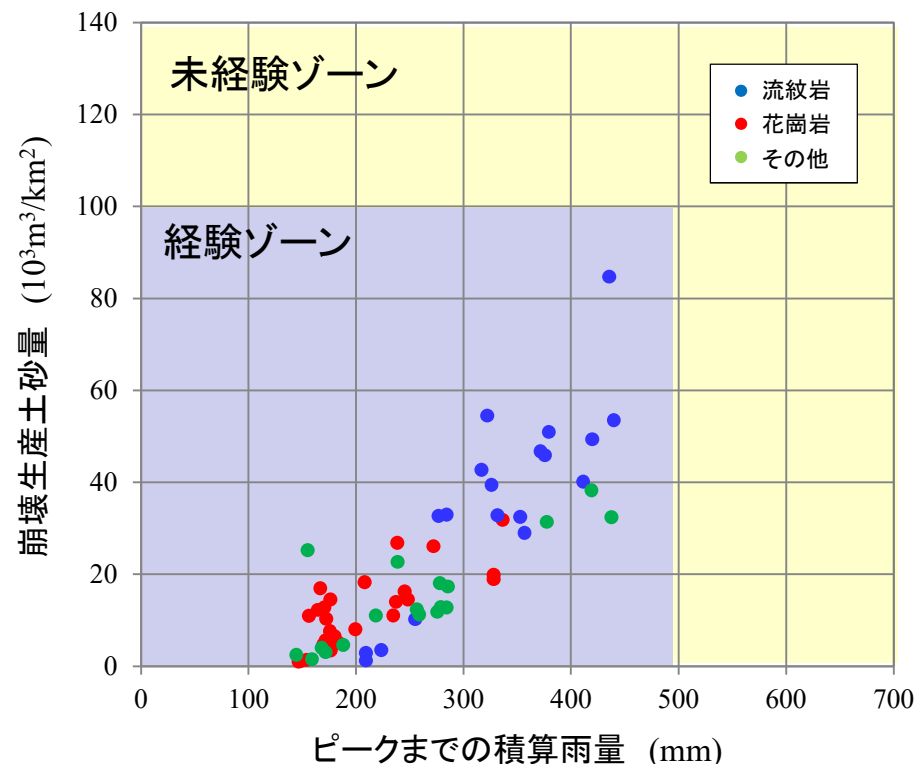


流域面積と比生産土砂量の関係



最大24時間雨量と4次谷流域の比生産土砂量との関係

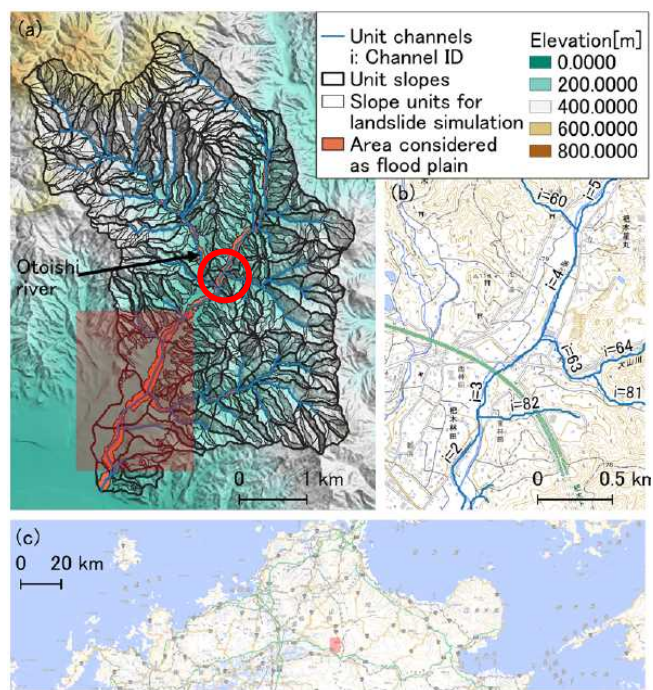
各地質の崩壊生産土砂量の上位10%を抽出した場合のピークまでの積算雨量との関係を整理した



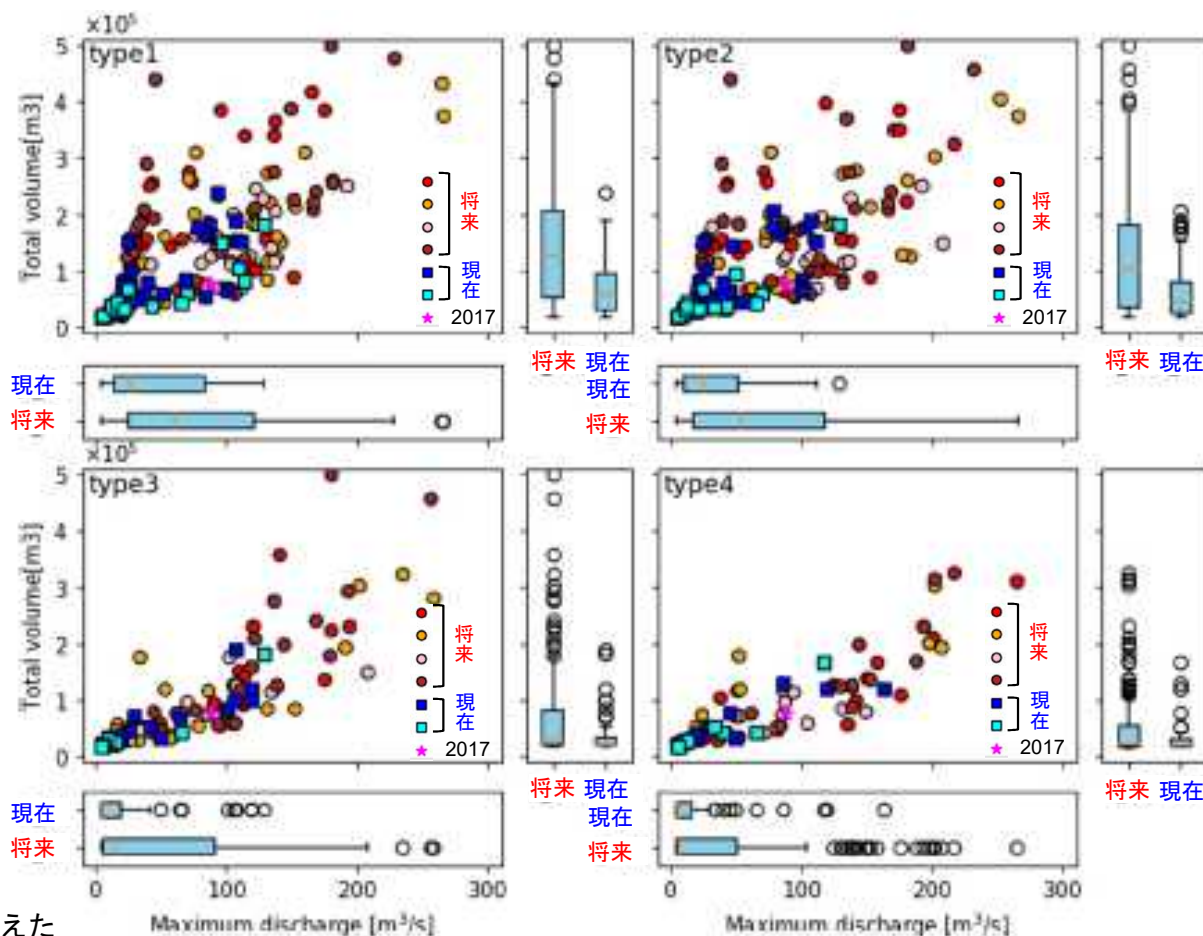
ピークまでの積算雨量と崩壊生産土砂量との関係

参考 気候変動に伴う降雨特性の変化を踏まえて斜面崩壊～土砂流出を分析した事例

- 山野井ら(2021)は、降雨データを直接入力し、土砂の生産から流出まで予測可能な複合土砂災害シミュレータSiMHisを用いて、非線形性の大きい土砂災害の将来変化を評価している。
- 気候変動データは、NHRCM05出力の降雨データ(将来気候(RCP8.5 20年×4)、現在気候20年×2)の梅雨豪雨(小坂田・中北, 2018)で発生した九州北部地区の豪雨を筑後川水系赤谷川に与えて、現在気候には無い規模の現象が発生しうることを示している。



対象領域
(福岡県朝倉市赤谷川流域)



乙石川下流端 (左図赤丸) における
最大流量と総土砂流出量の関係

時間雨量換算で50mm以上が2時間以上停滞する条件において
 Type1 : 九州北部地区の3日間の総雨量が最大の地点のハイエトを与えた
 Type2 : Type1の無降雨状態が30分以上継続した場合ゼロリセット
 Type3 : Type1の50mm/h以下が30分以上継続した場合ゼロリセット
 Type4 : 30分の降雨強度が最大の地点のハイエトを与えた