

中間取りまとめの検討課題の対応状況

■参考■

各検討課題の詳細については、本資料ではポイントを絞って示している。

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会 令和5年度版とりまとめ(案)」に参考文献を記載することで、詳細な背景や検討が分かるようにした。

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

① 気候変動に伴う地域毎の降雨特性の変化に応じて頻発化もしくは新たに顕在化する恐れのある土砂移動現象とその発生頻度の推定

長期的に
取り組むこととした課題

1. 土砂移動現象を引き起こす降雨パターンの変化の把握・類型化

取組内容

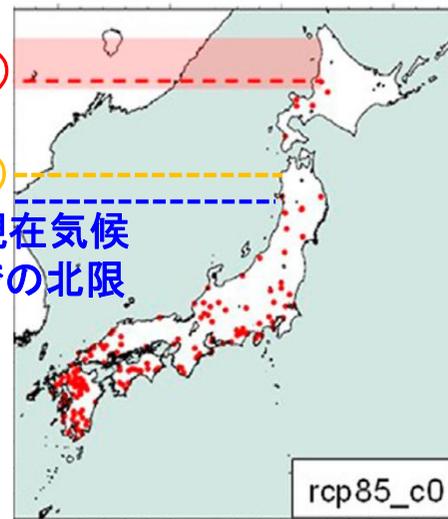
- 気候変動による集中豪雨等の降雨特性変化
- スネークラインのCL超過回数を指標とした気候変動による降雨特性変化に伴う土砂災害リスク地域別変化

研究・検討動向

- 梅雨豪雨の発生頻度の将来変化についての研究成果では、梅雨豪雨の発生頻度が増加すること、発生する北限が北上傾向で4度上昇時には北海道でも梅雨豪雨が発生することが示唆された。
- 日本を対象にした高解像度かつ多数の気候予測シミュレーションによる研究成果では、50年に一度の大雨が増加することが示唆された。

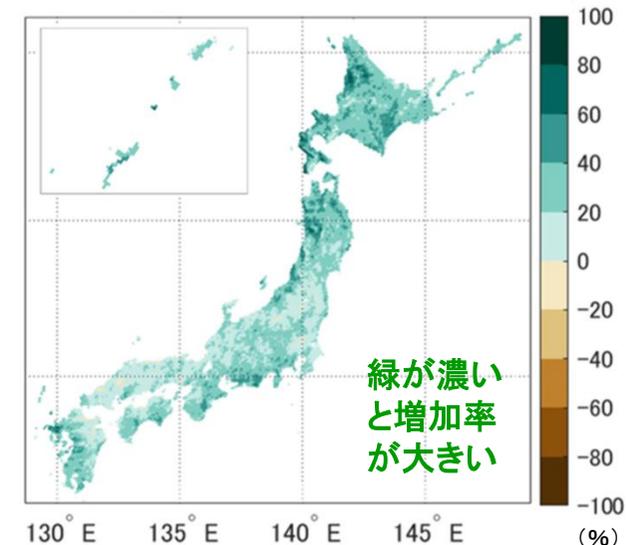
梅雨豪雨の発生頻度が増加
発生する北限も北上傾向で、
4度上昇時には北海道でも発生

将来(4°C上昇)
での北限
将来(2°C上昇)
での北限
現在気候
での北限



梅雨豪雨の発生の将来変化
Naka et al.(2023)を基に作成

4度上昇時は現在気候と比べると
東海から九州にかけての太平洋
側と北日本で増加率が高い。
40%を超える場所も見られる。



年最大24時間雨量(年発生確率1/50)
4度上昇時の増加率
(4度上昇実験-過去実験)/過去実験
Kawase et al.(2023)を基に作成

今後の取組例

- 砂防事業が対象とする現象ごとかつ領域(都道府県や流域)ごとの降雨特性変化の検討
- 砂防計画等への反映手法検討

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

① 気候変動に伴う地域毎の降雨特性の変化に応じて頻発化もしくは新たに顕在化する恐れのある土砂移動現象とその発生頻度の推定

短期的(1年程度)に取組むこととした課題

1. 土砂移動現象を引き起こす降雨パターンの変化の把握・類型化

取組内容

- 気候変動による集中豪雨等の降雨特性変化
- スネークラインのCL超過回数を指標とした気候変動による降雨特性変化に伴う土砂災害リスク地域別変化**

研究・検討動向

- スネークラインのCL超過回数を指標とした気候変動による降雨特性変化に伴う土砂災害リスク地域別変化が分かり、降雨だけでなく、地域特性も踏まえた土砂災害リスクの地域別変化が示された。

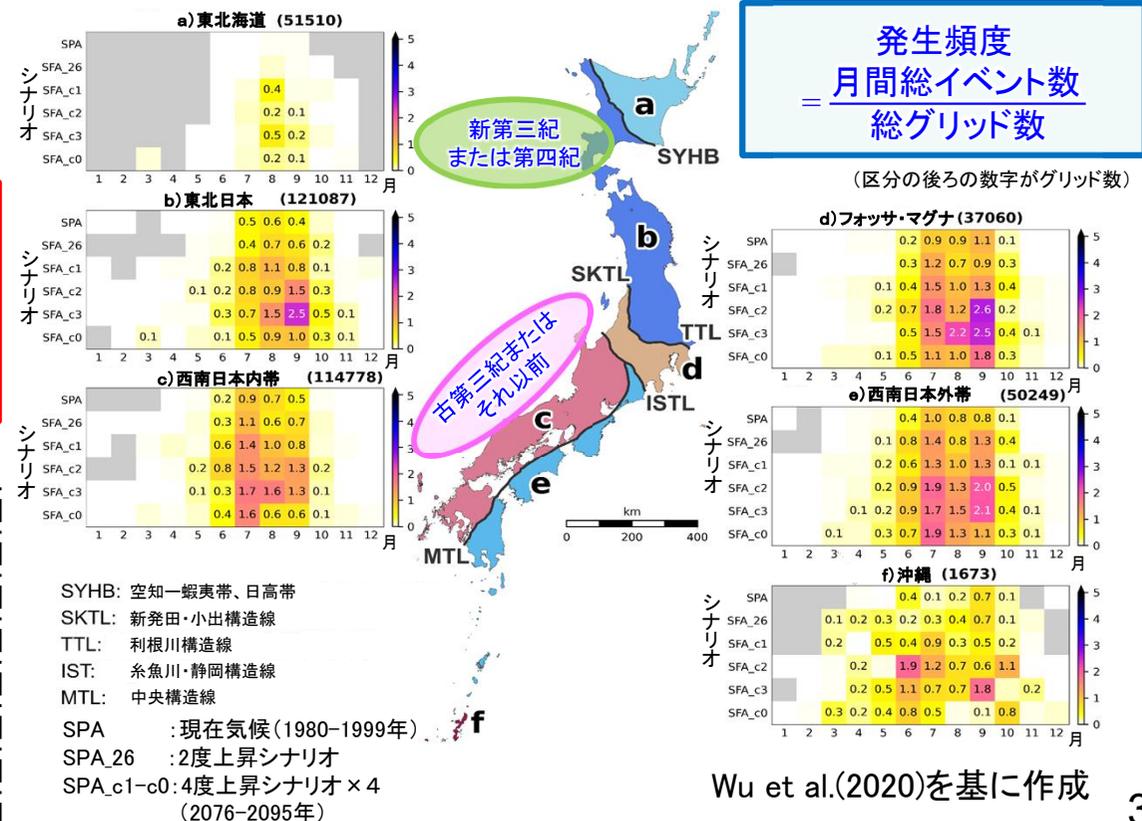
今後の取組例

- 土砂移動現象ごとのスネークラインの類型化に関する成果と合わせて、地域ごとに気候変動により顕在化する土砂移動現象の把握

中北委員 京都大学防災研究所 吳特定准教授提供資料を用いて事務局作成

現在気候1ケースと将来気候2度上昇1ケース、4度上昇4ケースで、スネークラインCL超過イベントの発生頻度を整理。西南日本内帯では初夏に増加、北海道東部と東北日本では夏の終わりに増加、フォッサマグナと西南日本外帯と沖縄では7月から9月に全般的に増加すると報告されている。全国平均の発生頻度は、現在気候と比較し**2度上昇時に約1.3倍、4度上昇時に約2.1倍(約1.8-約2.6倍)**に増加する。

気候予測データセット(NHRCM05)を用いた地域別のCL超過発生頻度



Wu et al.(2020)を基に作成

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

長期的に
取り組むこととした課題

- ① 気候変動に伴う地域毎の降雨特性の変化に応じて頻発化もしくは新たに顕在化する恐れのある土砂移動現象とその発生頻度の推定
2. 土砂移動現象・降雨特性・地質地形の関係分析に基づく、地域毎に顕在化・頻発化する土砂移動現象の予測

取組内容

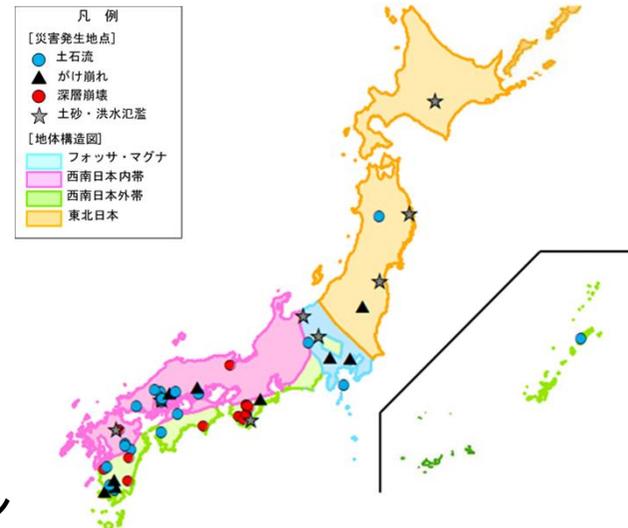
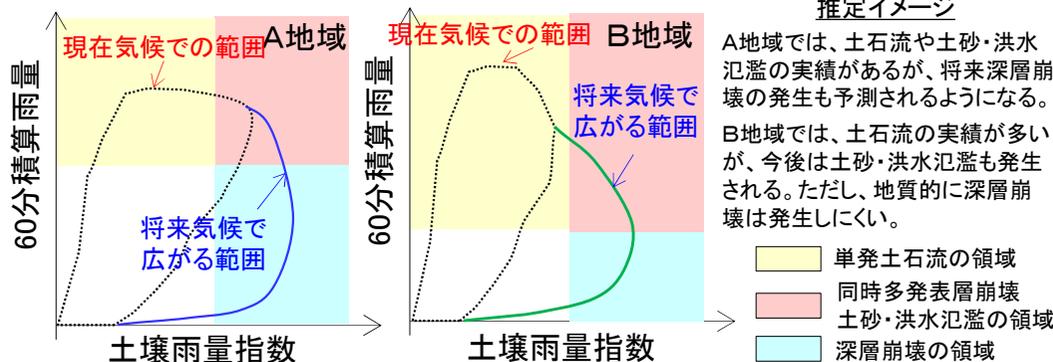
- 主要な土砂災害の土砂移動形態、素因、誘因等の諸元の整理、土砂移動現象毎の支配的な素因・誘因の特性分析

研究・検討動向

- 主要な土砂災害を収集し、土砂移動形態別に整理。現象毎に支配的な素因の特性を分析。
- 土石流、がけ崩れ、土砂・洪水氾濫、深層崩壊といった土砂移動現象ごとの降雨パターン変化をスネークラインの形状での類型化を行った

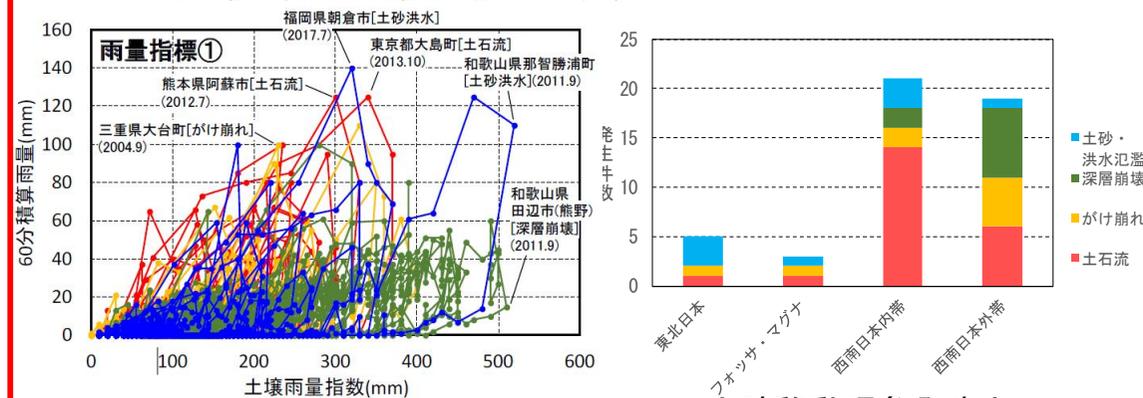
今後の取組例

- 気候予測データを用いた地域ごとに顕在化する土砂移動現象の推定



主要な土砂移動現象の分布
(1988年4月から2020年9月で1つの市町村における死者・行方不明者が5名以上の災害)

- 土石流**
がけ崩れ
土砂・洪水氾濫
→素因によらず全国的に発生。
- 土石流**
→西南日本で発生が多く、特に西南日本内帯（花崗岩が広く分布）で多い
- 深層崩壊**
→西南日本で発生し、西南日本外帯（付加体が広く分布）で多い



土砂移動現象を引き起こす降雨パターンの類型化(西内ら,2023)

土砂移動現象発生と地質区分(地体構造図)の関係
Hayashi et al.(2022)を基に作成

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

② 気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生の蓋然性の高い箇所 の 解明

長期的に
取り組むこととした課題

1. 生産土砂量・下流への土砂の流出しやすさを評価した土砂・洪水氾濫危険流域抽出手法の検討

取組内容

- 既往の土砂・洪水氾濫の土砂移動・被災実態整理、コネクティビティ評価等に基づく、土砂・洪水氾濫危険流域・区域の抽出手法検討
- **土砂・洪水氾濫被害想定・施設配置計画手法高度化**

研究・検討動向

- 直轄砂防事業8事業において、河床変動計算による土砂・洪水氾濫対策施設配置計画への変更。

今後の取組例

- 引き続き、直轄砂防事業において河床変動計算に基づく計画への変更を進める。
- 気候変動を踏まえた砂防計画策定手法の検討。

土砂・洪水氾濫被害想定に基づき施設配置計画を見直した事例

木津川水系砂防事業における施設配置計画の見直し

- 河川砂防技術基準の改定(平成31年3月)等により、**シミュレーション手法による砂防施設の評価を実施**
- 効率的かつ効果的に**土砂・洪水氾濫被害を軽減**できる施設配置計画へ見直し

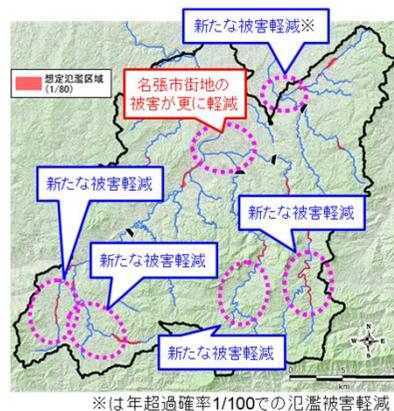
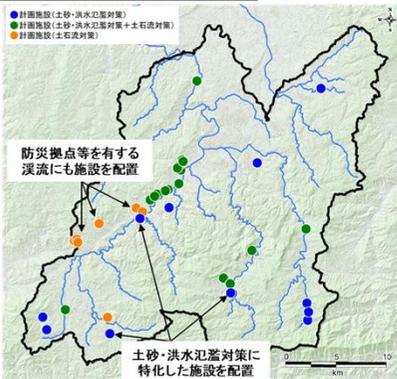
気候変動を踏まえた砂防計画で考えるべき視点の例

- ①降雨特性、流量はどのように変化するか。その変化を日本全体で見た場合にどのように計画論に反映させるのか。
(降雨量・流量、降雨・流量波形等)
- ②計画対象とする土砂量はどのように変化するか。
(生産土砂量、流出土砂量等)
- ③外力が増加した場合の施設設計をどのように考えるか。
- ④既設施設の効果や安全度の評価はどうすべきか。
等々
まず、議論すべき、解決すべき論点を整理し、対応出来るところから検討を進める。

前回(H27年度)の施設配置計画



今回(R2年度)の施設配置計画



「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

② 気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生の蓋然性の高い箇所の解明

長期的に
取り組むこととした課題

1. 生産土砂量・下流への土砂の流出しやすさを評価した土砂・洪水氾濫危険流域抽出手法の検討

取組内容

- 既往の土砂・洪水氾濫の土砂移動・被災実態整理、コネクティビティ評価等に基づく、土砂・洪水氾濫危険流域・区域の抽出手法検討
- **土砂・洪水氾濫被害想定・施設配置計画手法高度化**

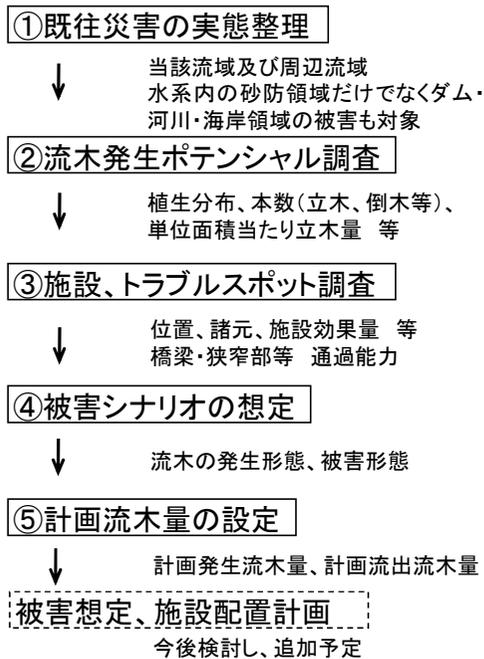
研究・検討動向

- **土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の基本的な考え方(試行版)を令和5年8月に公表。**

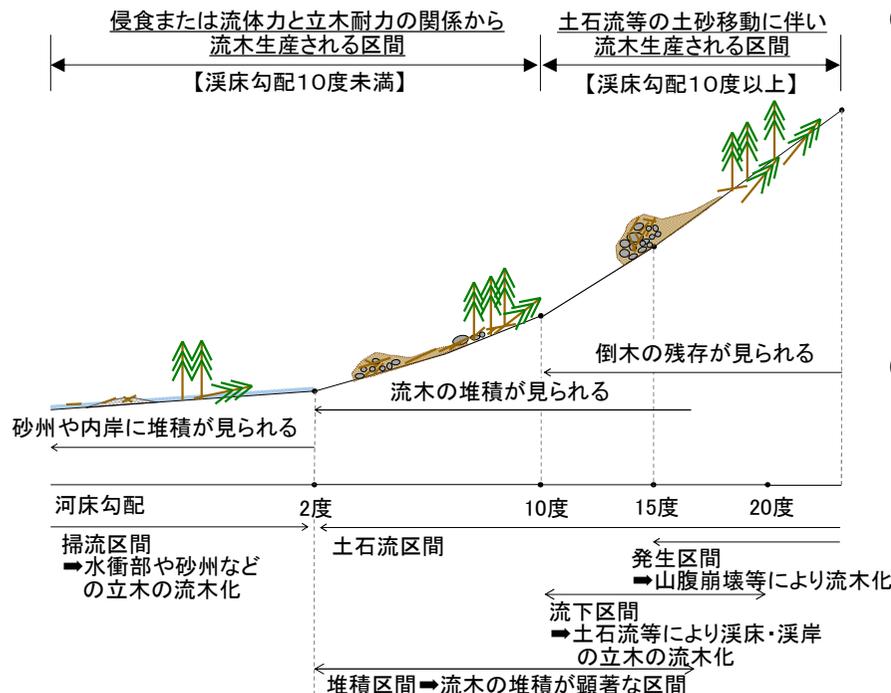
今後の取組例

- **引き続き、流木による被害拡大シナリオ、被害想定手法を検討し、マニュアルに反映。**

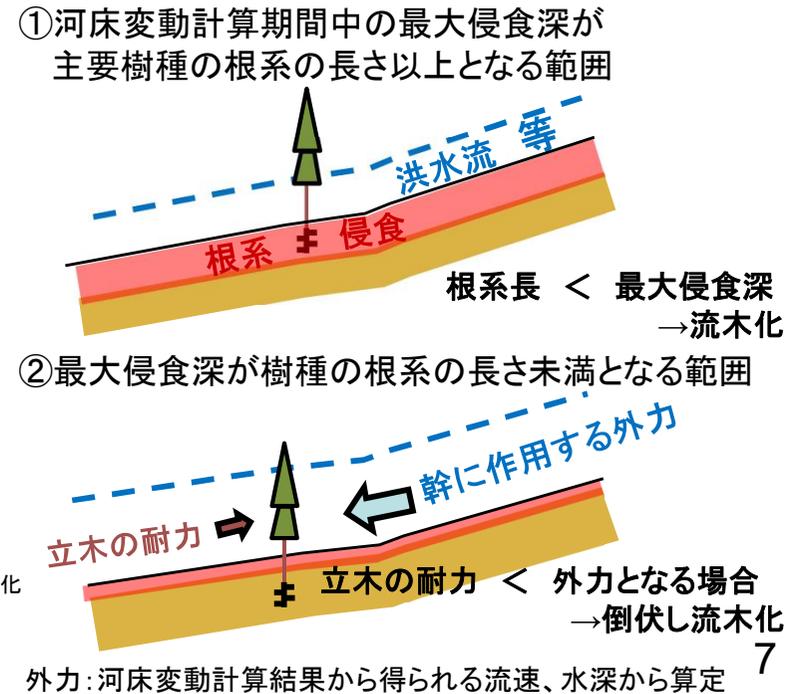
■マニュアルの流れ



■河床勾配による流木の生産と堆積の概念図



■発生流木量の考え方(河床勾配10度未満)



「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

- ② 気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生の蓋然性の高い箇所 の 解明
- 2. 土砂流出に係る数値解析手法の高度化

中期的(2年~4年)に
取り組むこととした課題

取組内容

- 豪雨時の細粒土砂の挙動を考慮した掃流状集合流動区間の土砂動態解析手法の検討

研究・検討動向

- 豪雨時に土砂移動が発生した場合の場の条件(継続的な大規模崩壊地からの土砂流出の場合、新規に崩壊が発生し新たな土砂生産による土砂流出の場合)により、既往理論で再現出来るかを示し、再現が困難な場合の解析手法の提案や解析上影響の大きな項目を明確化した。

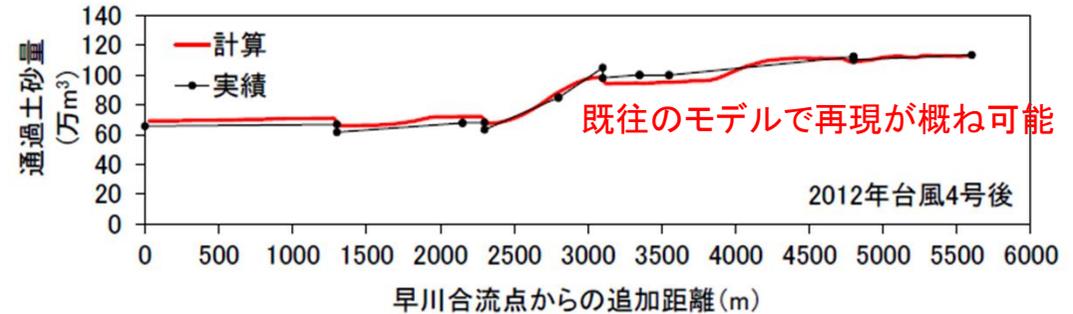
今後の取組例

- 砂防事業で想定するシナリオに基づく計画立案とその際のモデルの使い分けの考え方の整理
- 大規模出水時と中小規模出水時、それぞれにおいて土砂移動現象を共に精度良く再現する手法もしくは使い分けする場合はその考え方の検討

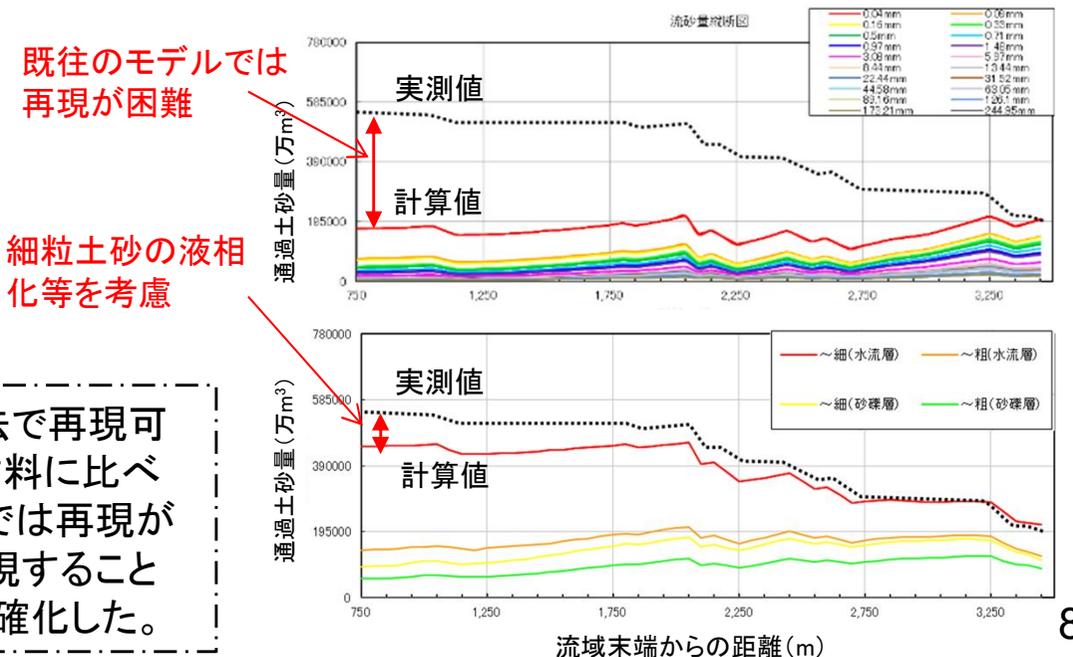
内田委員提供資料を用いて事務局が作成

継続的な大規模崩壊地からの土砂流出現象は、既往の解析手法で再現可能であるが、新規に発生する崩壊による土砂生産があり、河床材料に比べ計算への供給土砂の粒径が特に細かい場合、既往の解析手法では再現が困難で、細粒土砂の液相化等を考慮することで一定の精度で再現することが出来ることが示された。加えて、解析上影響の大きな項目を明確化した。

継続的な大規模崩壊地からの土砂流出の代表例(富士川水系春木川)



新規に発生する崩壊に伴う土砂流出の代表例(筑後川水系乙石川)



「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

- ② 気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生の蓋然性の高い箇所の解明
- 3. 流域スケールの土砂動態モデリング

中期的(2年~4年)に
取り組むこととした課題

取組内容

- マルチスケール流域土砂動態モデルの開発と動的土砂災害対策への応用

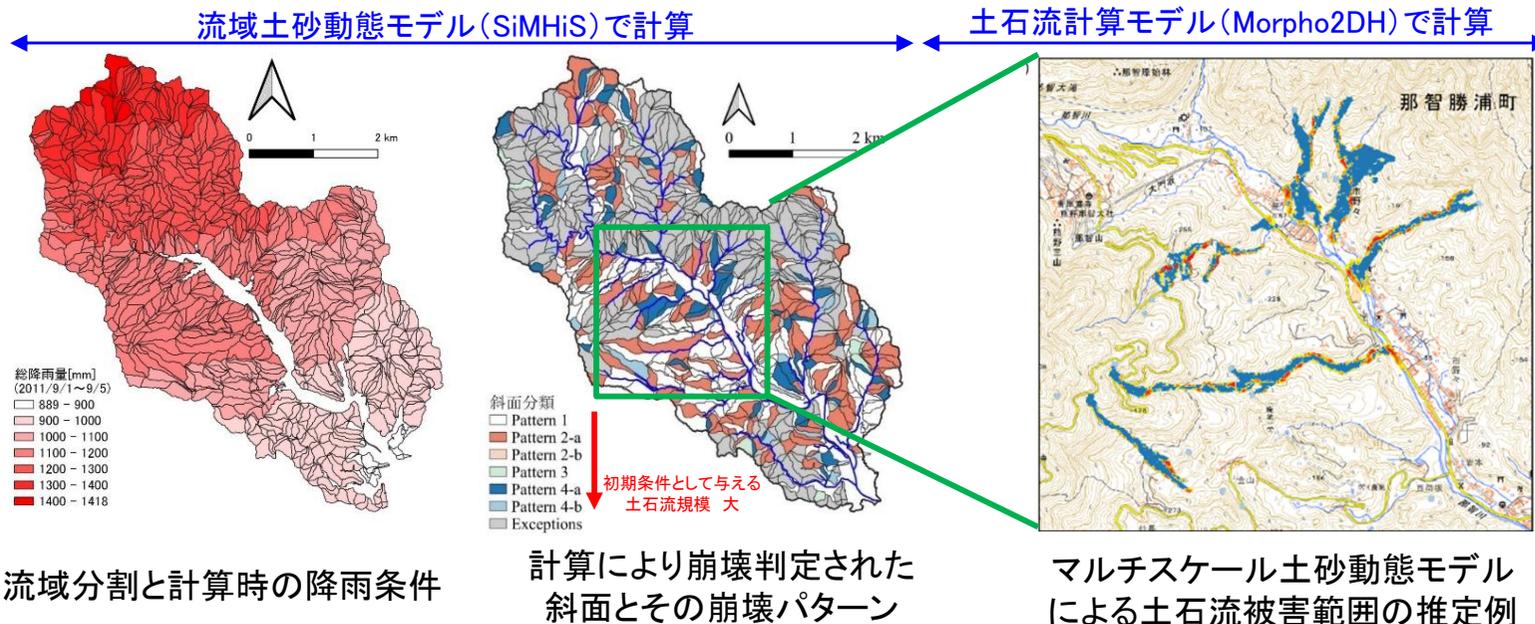
研究・検討動向

- 山地斜面の崩壊判定が可能な流域土砂動態モデルSiMHiSで判定した崩壊地から崩壊地箇所から氾濫域までの土石流計算が可能なモデルMorpho2DHを統合するモデルを開発。

今後の取組例

- マルチスケール流域土砂動態モデルへの別モデルの統合(施設配置検討に繋がる砂防堰堤や狭窄部等の地形や施設を表現するモデル、土石流や土砂と共に流下する流木モデルの統合)

藤田委員、京都大学防災研究所 竹林准教授提供資料を用いて事務局が作成



様々な時空間スケールの土砂移動現象を表現するため土石流モデルMorpho2DHと流域土砂動態モデルSiMHiSを連動した。これにより、土石流が発生する斜面・溪流の判定からその土石流が溪床や溪岸を侵食する現象の評価が可能となった。

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

② 気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生の蓋然性の高い箇所の解明

中期的(2年~4年)に
取り組むこととした課題

4. 崩壊性地すべり、谷地形が不明瞭な箇所での土石流の発生危険箇所抽出手法の検討

取組内容

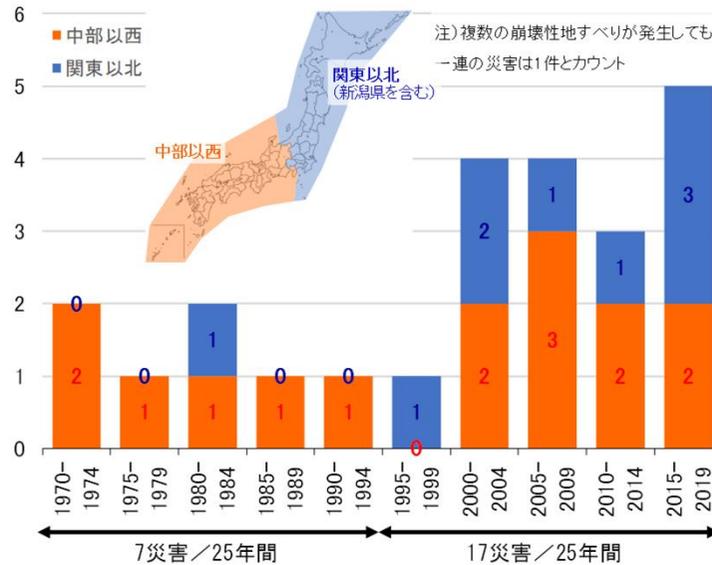
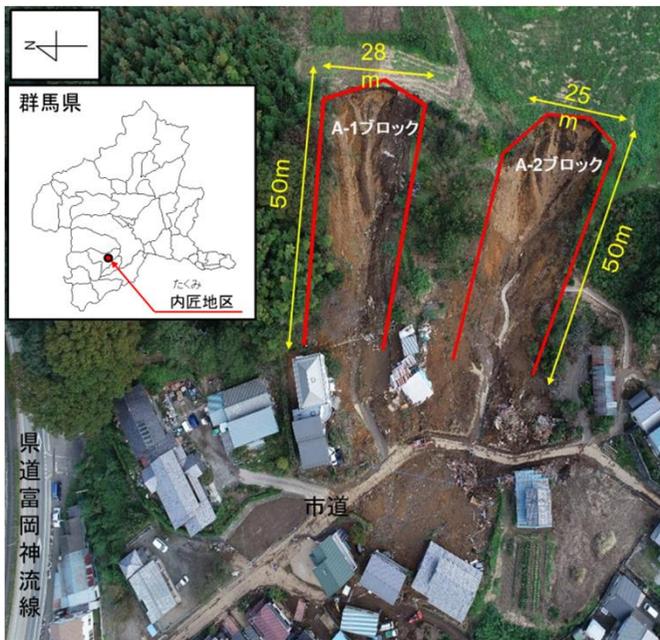
- ・ (崩壊性地すべり)集水面積・傾斜等の地形、降下火砕堆積物等の地質に着目した発生箇所の類型化
- ・ (谷地形が不明瞭な箇所での土石流)発生場の特徴に関する現地の詳細調査

研究・検討動向

- ・ 崩壊性地すべりの類型化を実施し、事例集や啓発資料の作成を実施。

今後の取組例

- ・ 崩壊性地すべりの発生する降雨や地域の特定に関する研究を継続し、危険箇所抽出手法を検討

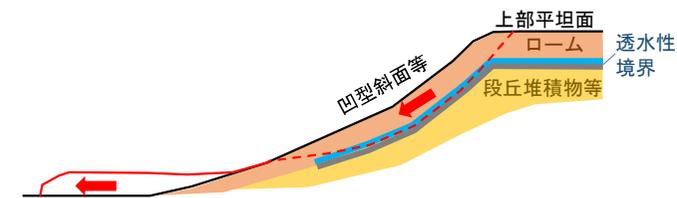


降雨起因の発生件数は近年増加
1995年以降は、関東以北でも発生

崩壊性地すべりが発生した降雨災害の頻度

【崩壊性地すべり類型化】
流れ盤状の地質構造で発生
堆積岩、テフラ、火山岩地質で発生

地質構造	地形
・テフラが斜面に沿って平行に堆積した流れ盤	・斜面上部が平坦面 ・凹型斜面



崩壊性地すべり発生イメージ

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

② 気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生の蓋然性の高い箇所の解明

長期的に
取組むこととした課題

4. 崩壊性地すべり、谷地形が不明瞭な箇所での土石流の発生危険箇所抽出手法の検討

取組内容

- （崩壊性地すべり）集水面積・傾斜等の地形、降下火砕堆積物等の地質に着目した発生箇所の類型化
- （谷地形が不明瞭な箇所での土石流）発生場の特徴に関する現地の詳細調査

研究・検討動向・今後の取り組み

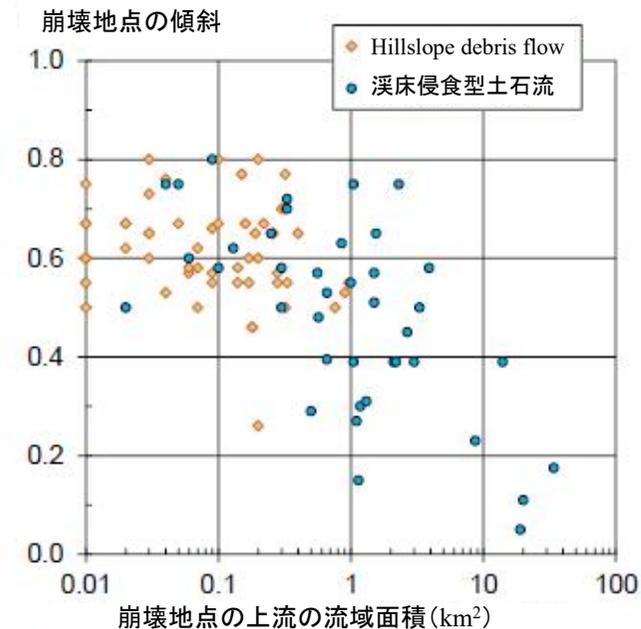
- （谷地形が不明瞭な箇所での土石流）海外でhillslope debris flow、debris avalancheと呼ばれ、知見が多いことから、海外を中心に情報収集を継続。日本で発生した場合に現地調査を実施し、事例収集を継続。



令和元年東日本台風での
（宮城県丸森町廻倉地区）



2010年1月ブラジル国セラーナ地方
Hungri et al.(2013)より引用



崩壊地点より上流の面積と傾斜
Rickenmann(2019)より引用加筆

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」を踏まえた研究・技術開発課題への対応

③ 気候変動に伴う降雨特性の変化に応じた生産土砂量の応答特性の解明

中期的(2年~4年)に
取り組むこととした課題

1. 数値シミュレーション・物理モデルによる生産土砂量の予測

取組内容

- 土層生成速度、樹木根系の効果を含む斜面せん断強度、間隙水圧変化を考慮した流域生産土砂量予測

研究・検討動向

- 河川砂防研究開発公募成果で、土層生成速度、樹木根系の効果を含む斜面せん断強度、間隙水圧変化を考慮したモデルを開発。降雨特性の変化に応じた生産土砂量の予測手法が提案された。

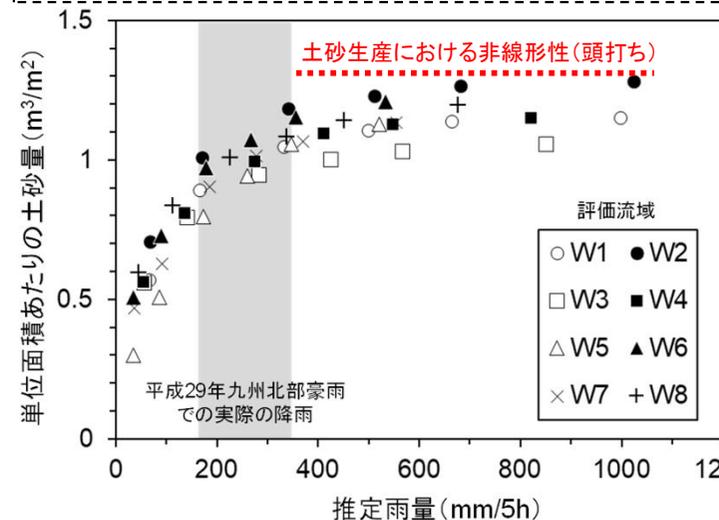
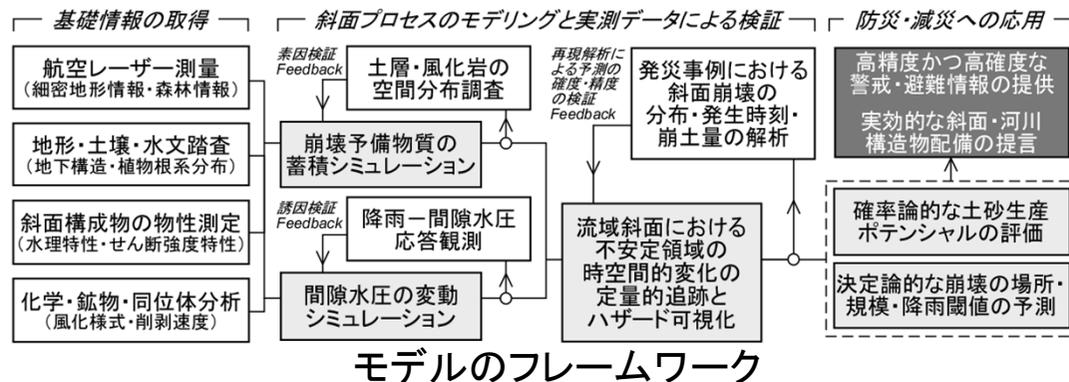
今後の取組例

- モデルが適用可能な花崗岩地質での実装に着手。

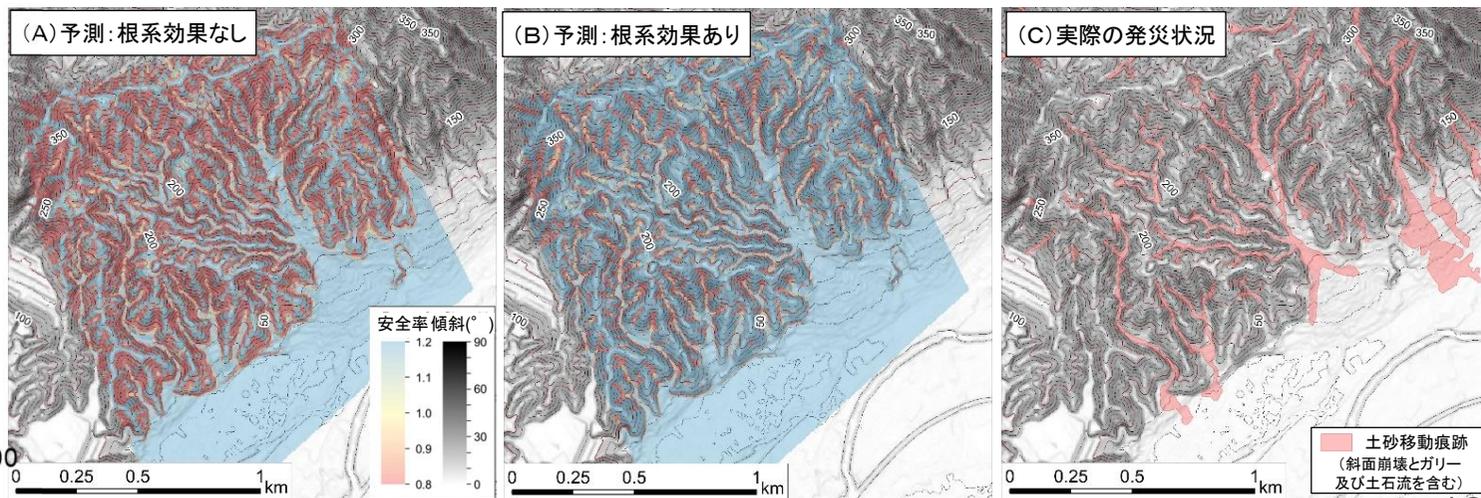
松四委員提供資料を用いて事務局が作成

降水量の増大とともに流域からの生産土砂量も増大するが、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



降雨に対する生産土砂量の応答変化



モデルによる表層崩壊予測と実際の発災状況

③ 気候変動に伴う降雨特性の変化に応じた生産土砂量の応答特性の解明
 2. 過去の土砂災害における降雨量と生産土砂量の関係分析

中期的(2年~4年)に
 取り組むこととした課題

取組内容

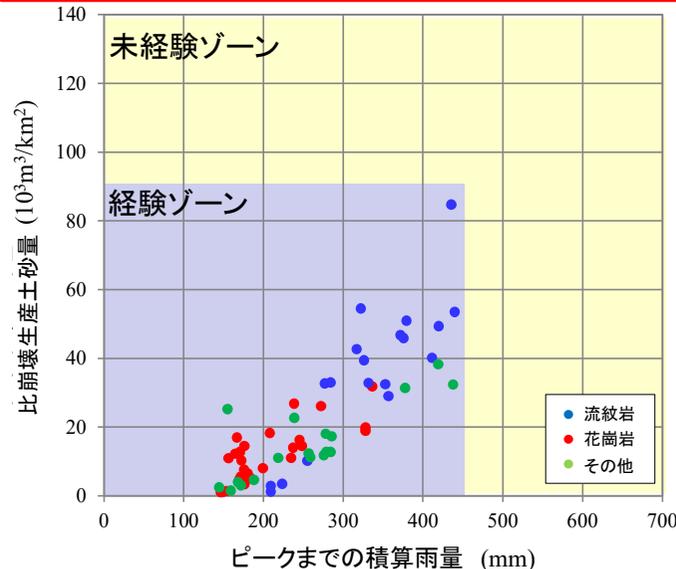
- 西日本豪雨における崩壊・土石流に関する降雨量と生産土砂量の関係分析
- 既往の降雨量と生産土砂量関係分析結果・手法整理

研究・検討動向

- 西日本豪雨や過去の土砂災害における各地質ごとの降雨量と崩壊生産土砂量を分析し、上位10%メッシュ(1km²)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ところ、一定程度の関係性が見られた。
- 既往物理モデル(H-SLIDER)を用いて、崩壊生産土砂量を推定したところ、単一斜面では難しいものの、4次谷~5次谷の区分では実績値と推定値が近くなること、降雨が増加すると頭打ちが発生することが表現された。

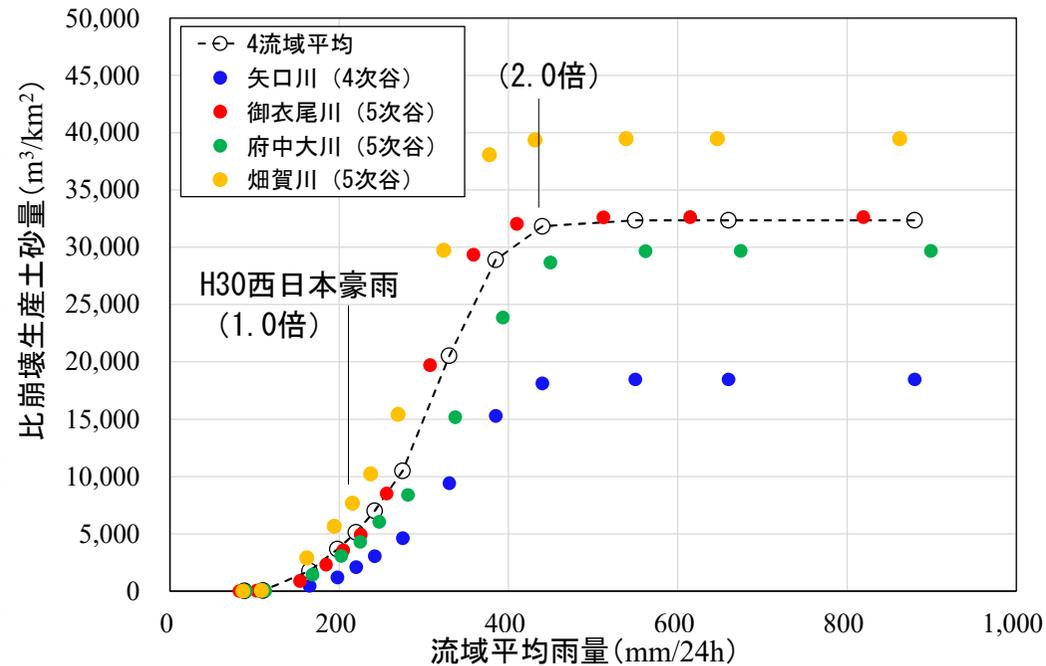
今後の取組例

- 他事例と比較し、手法整理を進める。



←左図のように
 経験した降雨のみで
 未経験降雨時の崩
 壊土砂量を推定する
 ことに限界がある
 →右図のように
 物理モデルもしくは
 頭打ちを考慮した推
 定手法が望ましい

【参考】1kmメッシュ単位で評価
 各地質上位10%をプロット



ピークまでの積算雨量と比崩壊生産土砂量の関係

注:ここでの生産土砂量は、斜面崩壊による量のみから算出している。

③ 気候変動に伴う降雨特性の変化に応じた生産土砂量の応答特性の解明
2. 過去の土砂災害における降雨量と生産土砂量の関係分析

長期的に
取組むこととした課題

取組内容

- 西日本豪雨における崩壊・土石流に関する降雨量と生産土砂量の関係分析
- 既往の降雨量と生産土砂量関係分析結果・手法整理

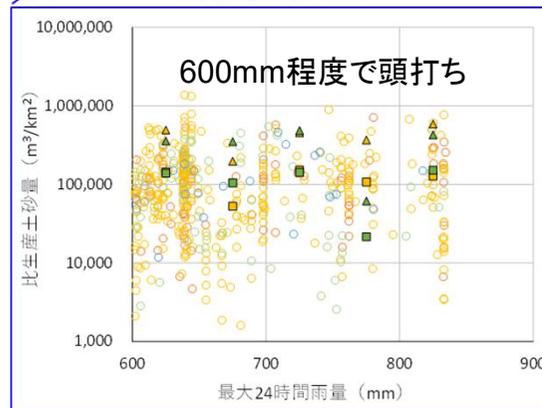
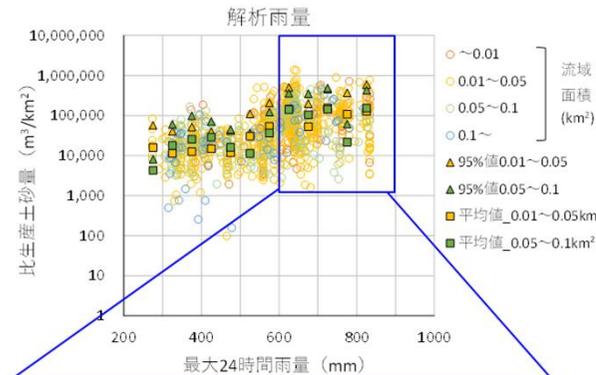
研究・検討動向

- 九州北部豪雨の赤谷川流域等での解析を実施。1次谷流域では最大24時間雨量600mmで頭打ちがある傾向が見られた。
- 降雨量—比生産土砂量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ロジスティック回帰曲線で予測する可能性を示した。

今後の取組例

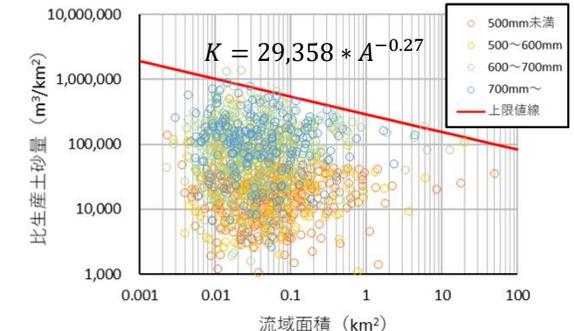
- 災害データがあるが、③ 1. で示した手法が適応困難な地形・地質の箇所において、砂防計画立案手法を検討。(その際、生産土砂が下流へ流出し、氾濫を引き起こすことで災害がおけるため、生産土砂量に加え、流出土砂量の評価も視点に入れることが必要。)

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

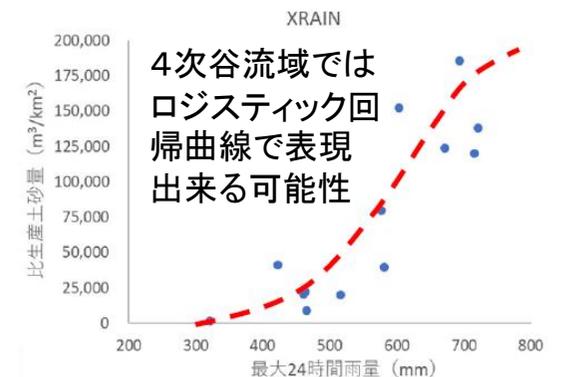


最大24時間雨量と比生産土砂量の関係

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すれば、降雨量から比生産土砂量を予測する可能性がある



流域面積と比生産土砂量の関係



最大24時間雨量と比生産土砂量の関係

注:ここでの生産土砂量は、斜面崩壊だけでなく、溪床侵食による量も含めて算出している。