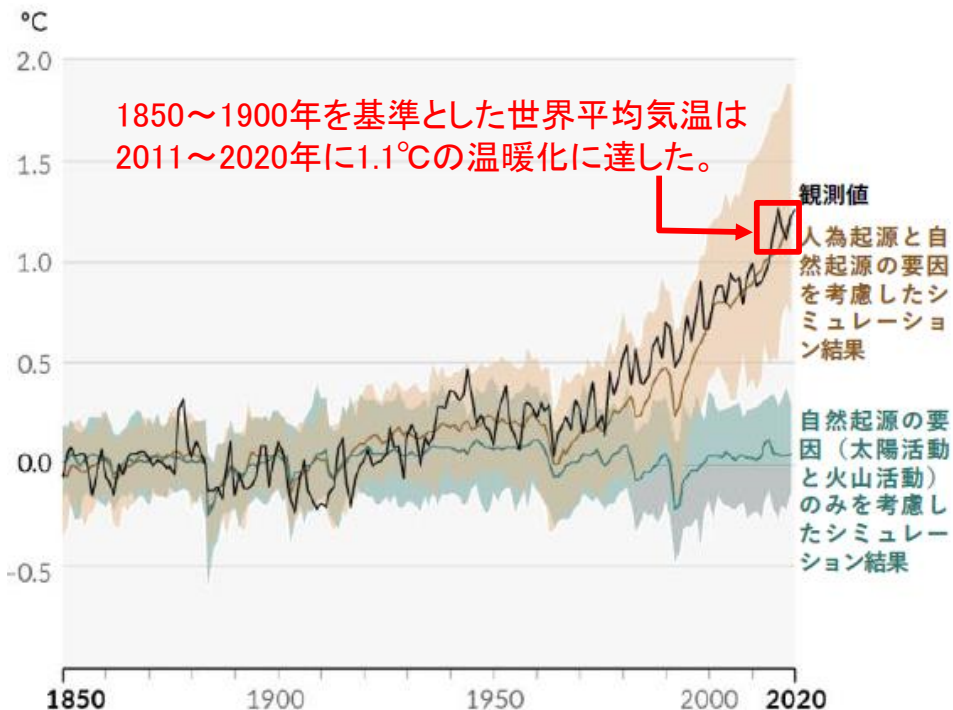


気候変動下における土砂災害対策を取り巻く状況

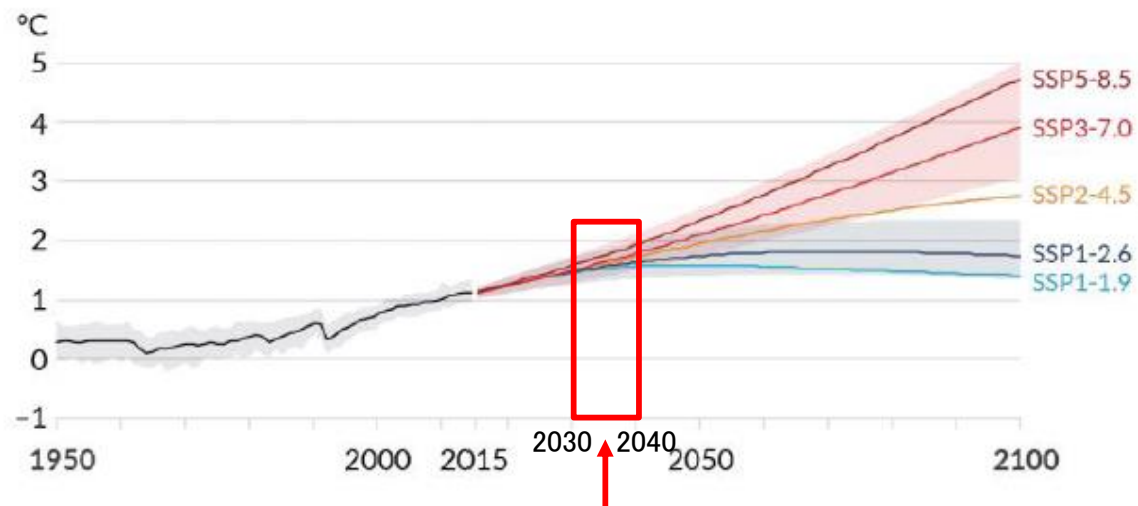
IPCC(気候変動に関する政府間パネル) 第6次評価報告書

- IPCC(気候変動に関する政府間パネル)は、2021年～2023年にかけて第6次評価報告書で、「人間活動が主に温室効果ガスの排出を通して地球温暖化を引き起こしてきたことには疑う余地がなく、1850～1900年を基準とした世界平均気温は2011～2020年に1.1°Cの温暖化に達した。」「継続的な温室効果ガスの排出は更なる地球温暖化をもたらす、考慮されたシナリオ及びモデル化された経路において最良推定値が2040年(※多くのシナリオ及び経路では2030年代前半)までに1.5°Cに到達する。」と報告している。
- 気候変動による土砂災害への適応策の検討は引き続き急務。

1850～1900年を基準とした世界平均気温の変化

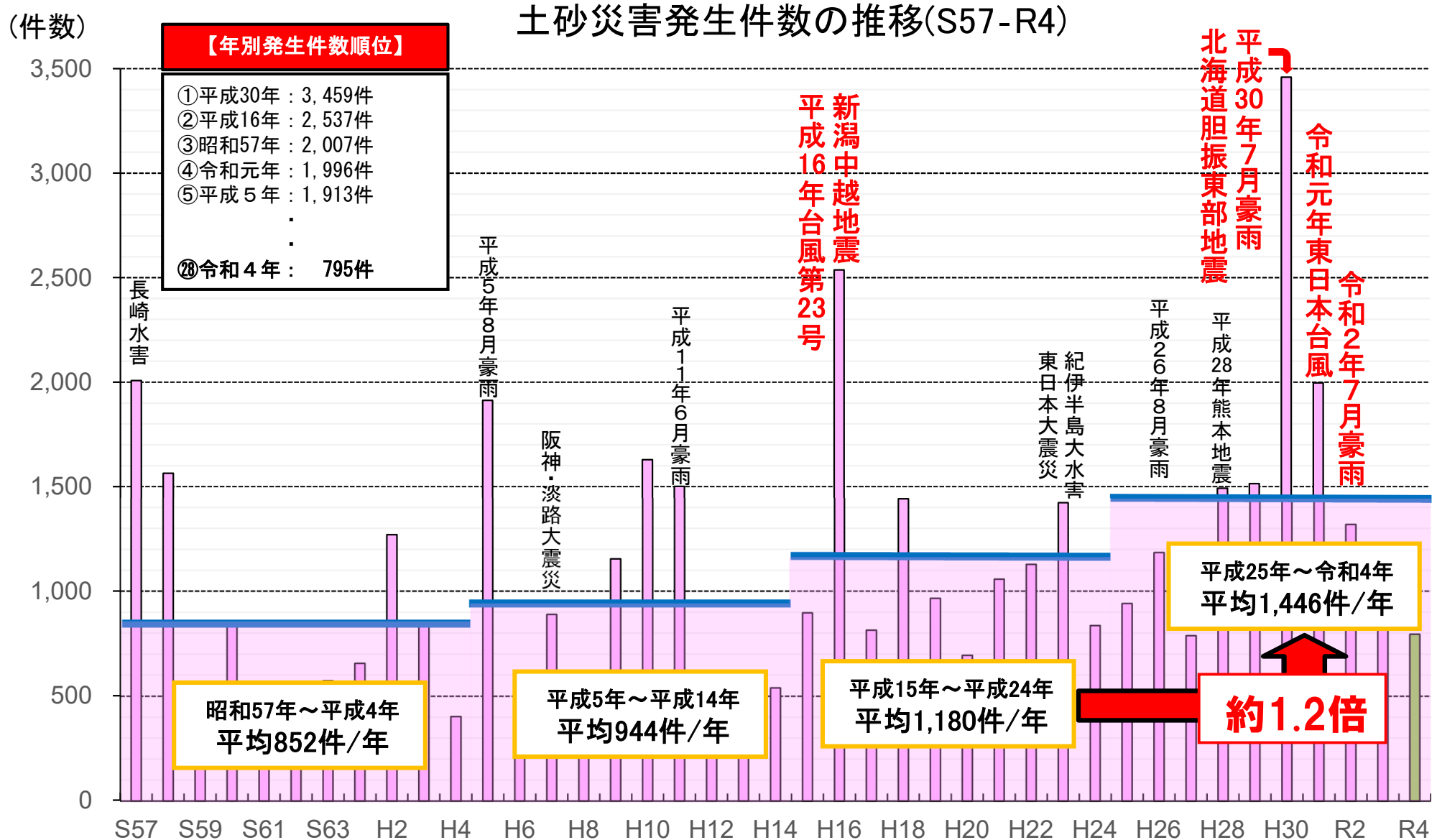


1850～1900年を基準とした世界平均気温の変化のシナリオ別予測



近年の土砂災害発生状況

- 直近10年(H25~R4)の土砂災害発生件数(年平均)は、それ以前の発生件数と比較し**約1.2倍に増加**。
- 令和4年は、42の道府県で795件の土砂災害が発生し、死者4名、人家被害284戸の被害が生じた。
- 令和5年は、1400件以上の土砂災害が発生し、死者8名、人家被害257戸の被害が生じた。(R5.11末現在)

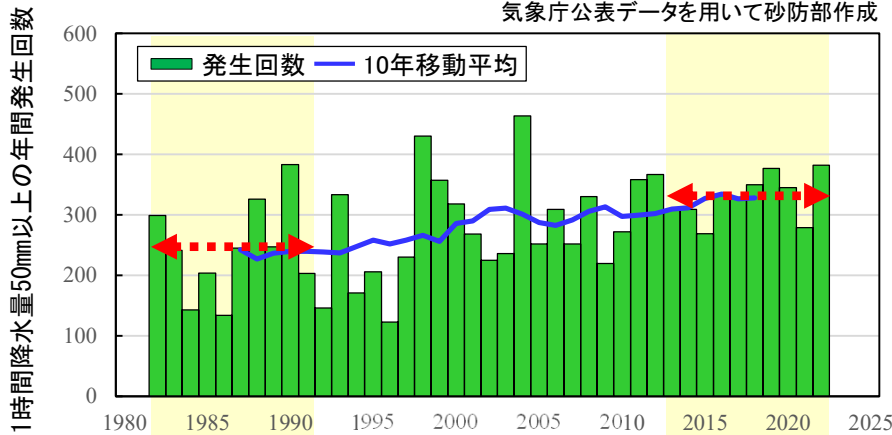


近40年における豪雨と土砂災害の傾向

- 近40年では、豪雨の増加に同調するように、土砂災害の発生件数は増加傾向が見られる。
- 土砂災害1件あたりの人的被害は、最も少ない時期と比べると増加した状況が続いている。また、土石流等による人的被害の増加傾向が顕著となっている。

【全国1300地点】1時間降水量50mm以上の年間発生回数

気象庁公表データを用いて砂防部作成



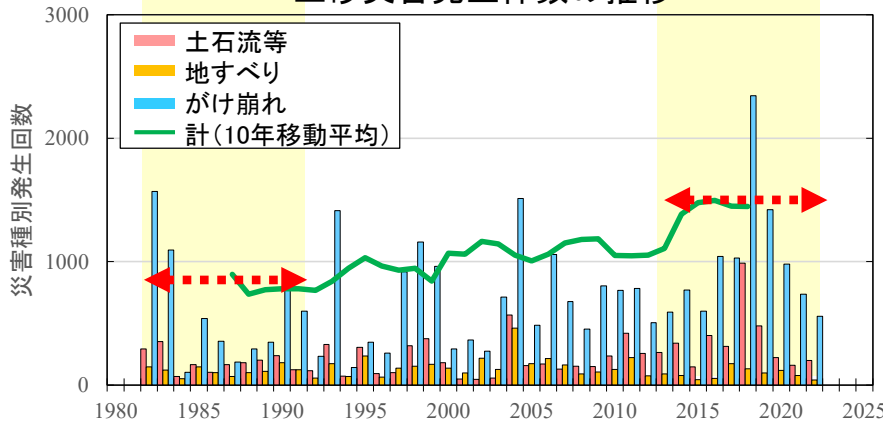
1982~1991年 約30年間で 2013~2022年

約30年間で
約1.3倍

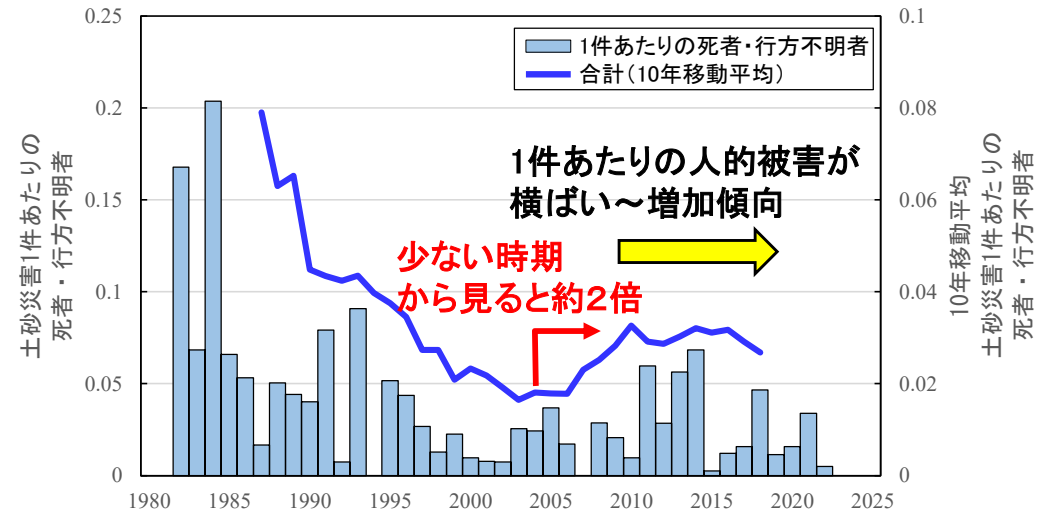
大雨 243回 → 328回

土砂災害 897回 → 1,446回

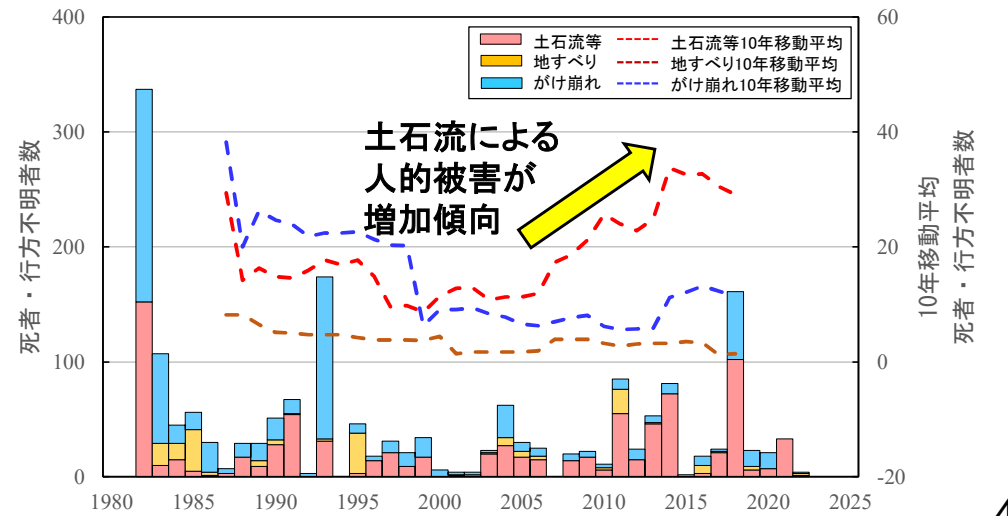
土砂災害発生件数の推移



土砂災害1件あたりの死者・行方不明者数



災害区別の死者・行方不明者数



※土砂災害発生件数、死者・行方不明者は国土交通省砂防部調べ、整理対象は1982年から2022年

気候変動の顕在化に関する定量的評価

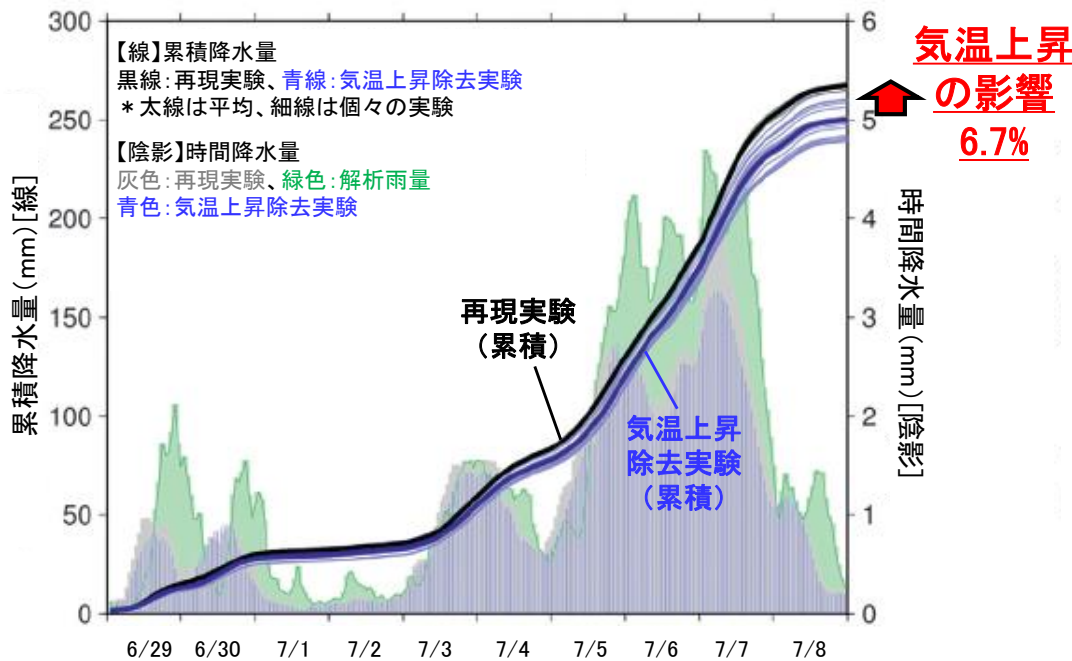
○ 近年、土砂災害により大きな被害が発生した平成30年7月豪雨や令和元年東日本台風は、既に気候変動による影響を受けており、その結果降雨量が増加したと示されている。

■ 平成30年7月豪雨 **総降水量 6.7%増加**

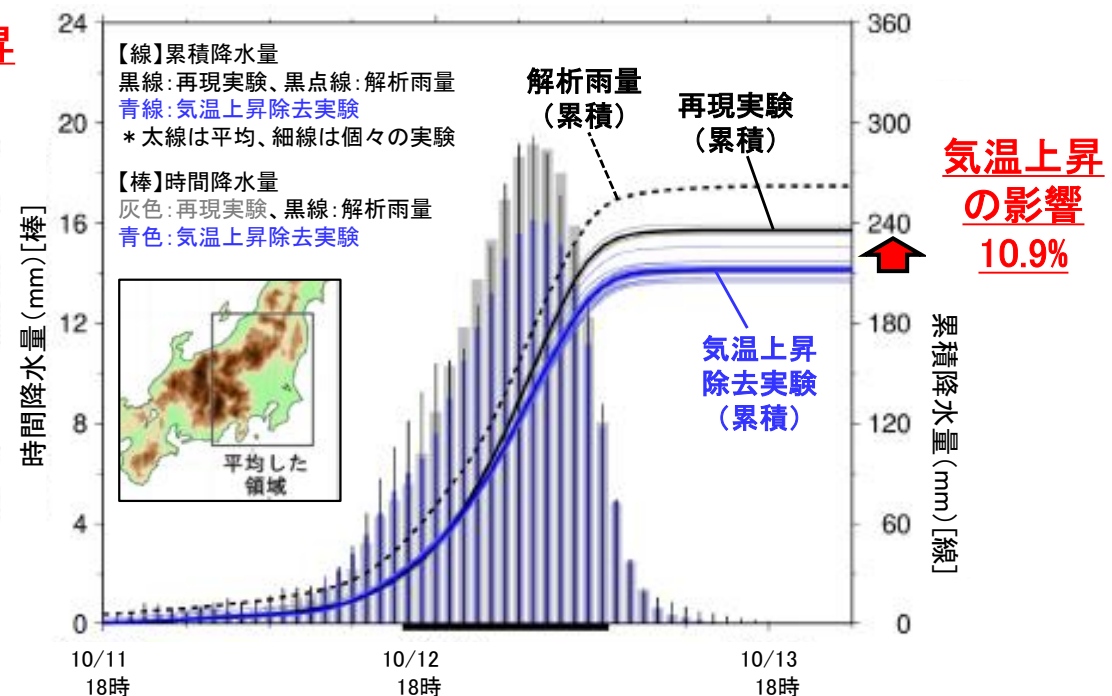
■ 令和元年東日本台風 **総降水量 10.9%増加**

※1980年以降の気温上昇と海面水温の上昇による影響を評価した場合の算出結果(気象庁気象研究所)

(さらに気候変動が進んだ場合に令和元年東日本台風規模の台風は、総降水量で**2度上昇で平均4.4%、4度上昇で平均19.8%増加**すると示されている(環境省,2023))



平成30年7月豪雨における
解析雨量、再現実験、気温上昇除去実験における
累積降水量、時間降水量の時系列
Kawase et al.(2019)を基に作成



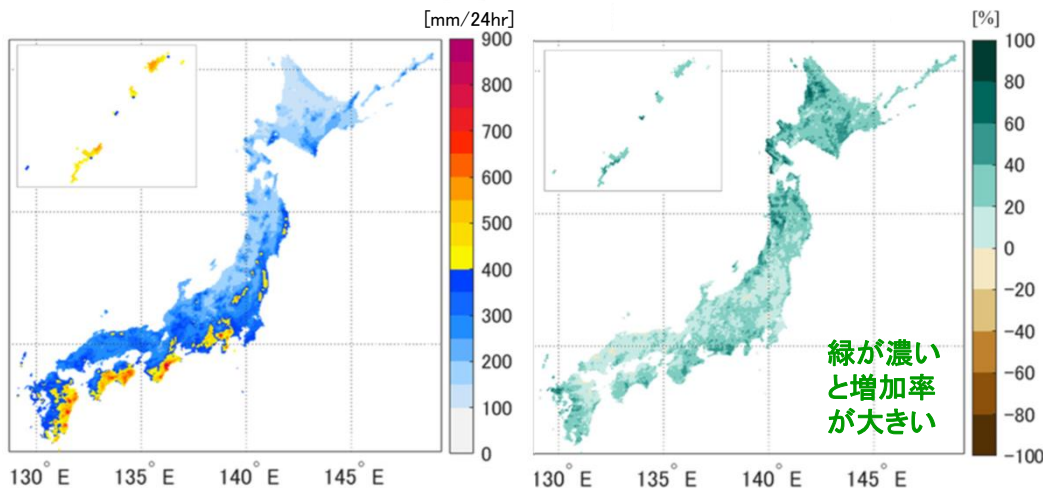
令和元年東日本台風における
解析雨量、再現実験、気温上昇除去実験における
累積降水量、時間降水量の時系列
Kawase et al.(2021)を基に作成

気候変動による降雨の将来変化予測

- 近年の豪雨の発生頻度の増加に伴い、土砂災害発生件数は増加傾向にある。
- 50年に1度程度の年最大24時間雨量は、現在気候(過去実験結果(1951年-2011年))と気候変動時(4度上昇実験(2051年-2111年))を比較し、全国的に増加し、場所によって40%を超える上昇をするという研究成果がある(Kawase et al.(2023))。
- 気候変動による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もある(Naka et al.(2023))。

年最大24時間降水量
(過去実験)

年最大24時間降水量の増加率
(4度上昇実験-過去実験)/過去実験

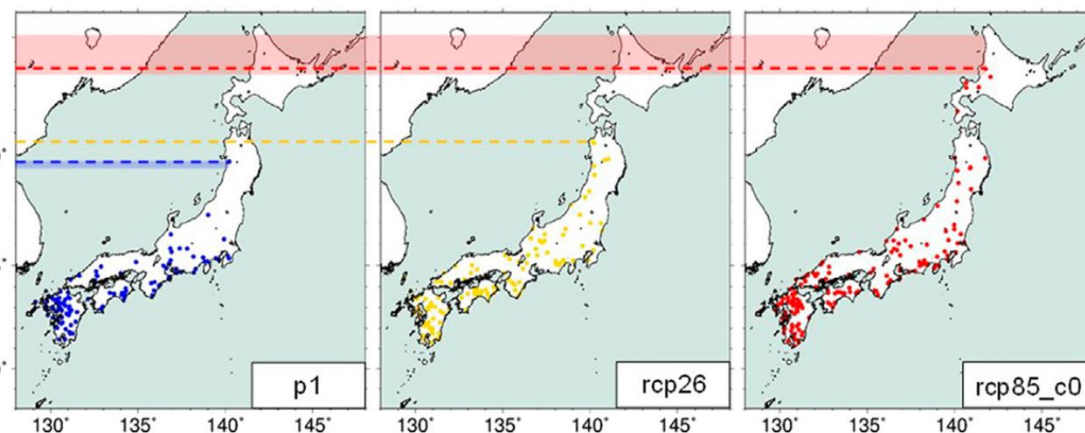


4度上昇実験と過去実験結果を比較すると、東海から九州にかけての太平洋側と北日本で増加率が高い。40%を超える場所も見られる。

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

現在気候: 20年間(1979-2003年)
将来気候: 20年間(2075-2099年)

年最大24時間雨量(年発生確率1/50)の将来変化

Kawase et al.(2023)を基に作成

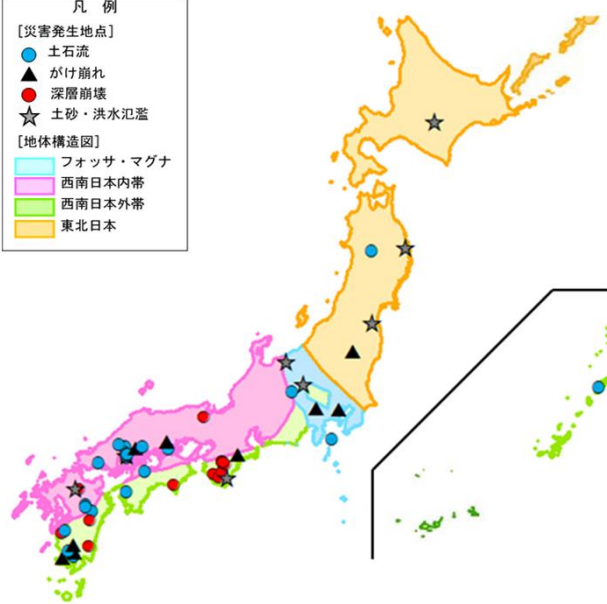
過去実験(1951-2011)
4度上昇実験(2051-2111)

梅雨豪雨の発生頻度の将来変化

Naka et al.(2023)を基に作成

気候変動を踏まえた土砂災害対策の基本的な課題

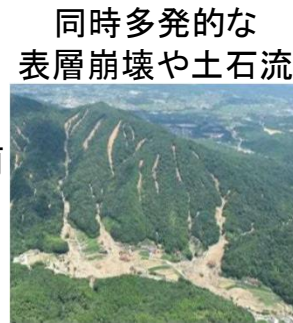
- 今後、気候変動に伴う土砂災害対策の方向性を検討するためには、土砂災害を引き起こす雨の降り方が地域ごとにどう変わるのか、それを受けて頻発化もしくは顕在化する土砂移動現象は何か、を評価する必要がある。
- そこでは、発生頻度や発生数の変化割合のような社会が分かりやすく理解できるような表現と共に説明することが望ましい。
- さらに、気候変動への適応策を具体的に検討するために、計画論上の土砂移動現象、設計論上の外力がどの程度増加するのかを想定する必要がある。



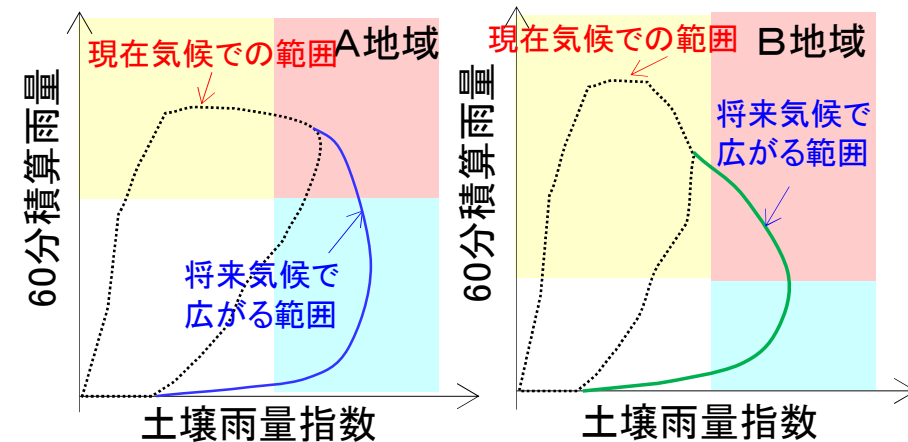
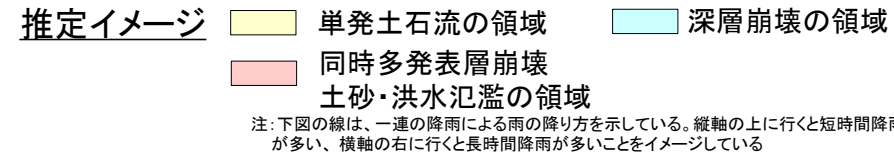
**土石流
がけ崩れ
土砂・洪水氾濫**
→素因によらず
全国的に発生。



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



- A地域：土石流や土砂・洪水氾濫の実績があるが、将来深層崩壊の発生も予測されるようになる。
- B地域：土石流の実績が多いが、今後は土砂・洪水氾濫も発生される。ただし、地質的に深層崩壊は発生しにくい。

気候変動により発生しうる
土砂移動現象の推定方法の例

近年の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)

近年の土砂災害実績を踏まえた課題

- 平成30年7月豪雨のように同時多発的な土石流による甚大な人的被害やインフラへの被害が発生していることから、土石流対策の推進は引き続き重要。
- 令和元年東日本台風では、土砂・洪水氾濫の発生に加え、土砂災害防止法に基づく土砂災害警戒区域等の指定の対象となっていない、または指定基準を満たさない箇所において土砂移動現象が発生し、人的被害が発生した。
- ハード・ソフト対策を実施する上で必要となるハザードの特定ができていないため、今後このような現象に対しても警戒避難体制の強化はもとより、施設整備等の対策を適切に講じることができるよう、発生の蓋然性の高い箇所を抽出し、ハザードを特定する手法を確立することが必要である。

同時多発的な土石流



土砂・洪水氾濫



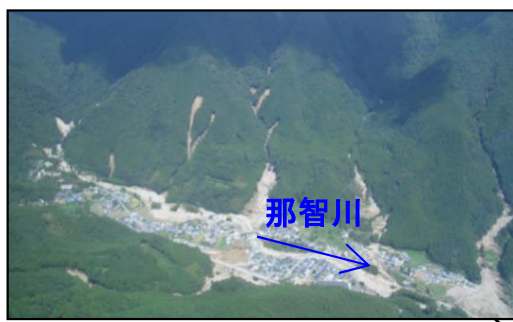
← 谷地形が不明瞭な箇所で発生した土石流

明瞭な地すべり地形を呈していない箇所で発生した崩壊性地すべり →



近年頻発化する土砂・洪水氾濫における課題

- 土砂・洪水氾濫は、山地で多量に発生した土砂により扇状地や谷底平野等の緩やかな勾配の開けた市街地で土砂と泥水が氾濫する現象で、その被害は土石流等と比較し広範囲におよぶ。
- 土砂・洪水氾濫は、これまで度々大きな被害をもたらしてきたが、近年頻発化の傾向にある。



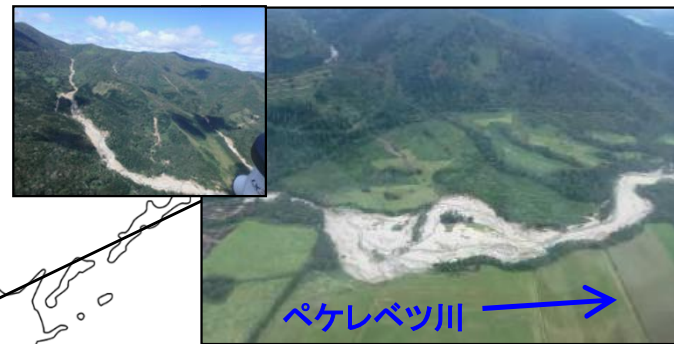
平成23年台風第12号
(和歌山県那智勝浦町)



令和元年台風第19号
(長野県佐久市)



令和4年8月
(山形県飯豊町)



平成28年台風第10号(北海道清水町)



平成30年7月豪雨(広島県坂町)

- 主に表層崩壊の多発を起源
- 主に渓床堆積物の侵食を起源



平成28年台風第10号(岩手県岩泉町)



出典: 国土地理院

平成29年7月九州北部豪雨(福岡県朝倉市)(山口県防府市)



令和3年9月(長野県茅野市)



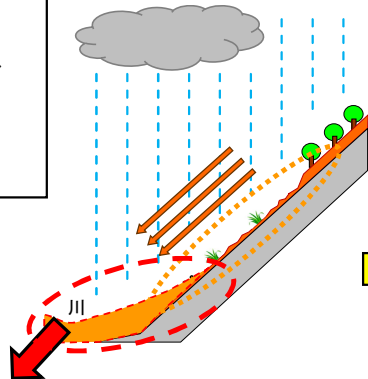
令和元年台風19号(宮城県丸森町) 9

近年頻発化する土砂・洪水氾濫における課題

- 阪神大水害(1938年)等のように、高度成長期以前に流域の広い範囲が禿禿地であった地域で大きな被害をもたらした土砂・洪水氾濫は、流域の荒廃が著しいために恒常的に土砂が生産され溪床等に堆積し、それが降雨に伴い下流に流送され、河床上昇を引き起こすことによって発生していたものと考えられる。
- 一方、高度成長期のエネルギー革命を経て、樹木の伐採が大きく減り山腹に植生が回復するにつれ、かつて禿禿地が広がっていたような流域を含め、日本各地において森林土壌の発達が進んでいると考えられる。
- このため、近年の土砂・洪水氾濫は、森林が発達している流域において同時多発的な表層崩壊等が発生することに起因している事例が多いことから分かるように、禿禿地が広がっていた時期に比べ土砂生産の形態が大きく変化してきている。今後、豪雨に伴い森林がある斜面の表層崩壊や土石流が発生することで、溪床堆積物の移動を防止することに主眼を置いた対策を実施しその効果が表れてきている流域や、中小出水では殆ど土砂移動がないような流域においても、土砂・洪水氾濫による被害が発生するおそれがあるものと考えられる。
- そのため、土砂・洪水氾濫が発生するポテンシャルの高い流域や被害範囲の把握を進める必要がある。

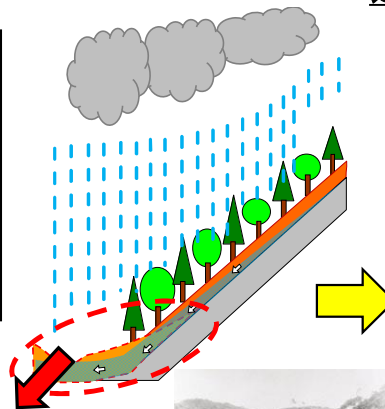
流域が荒廃が著しかった時期

斜面：
中小出水時の表面侵食、
小規模な崩壊に伴う
斜面由来の
土砂生産が頻発



明治時代の六甲山の荒廃状況(神戸市所蔵)

斜面：
荒廃地対策、
森林回復に伴い
斜面由来の
土砂生産は
抑制



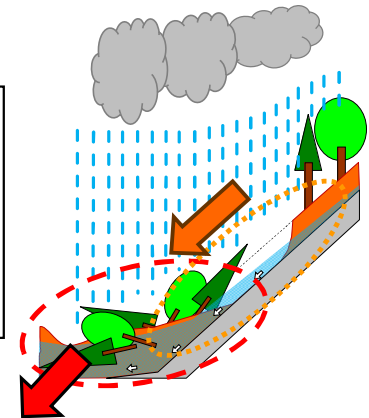
溪流：
過去に供給された
多量の溪床堆積土砂が
大規模出水により流出
→下流で河床上昇
土砂・洪水氾濫の発生



阪神大水害時の土砂生産(1938年)

近年～

斜面：
・森林土壌が発達
・大規模降雨時の同時
多発的な崩壊に伴う
斜面由来の多量の土砂
生産



溪流：
・中小出水時には殆ど
土砂移動がない
・一方、同時多発的な
崩壊により供給される
土砂が大規模出水に
より流出
→土砂・洪水氾濫
の発生



平成30年7月豪雨(広島県呉市) 同時多発する表層崩壊・土石流 10

流木による被害の拡大

- 土砂・洪水氾濫の発生時には、表層崩壊や土石流により山腹等から流木が大量に生産されることで、下流での家屋被害等を増大している事例が多く見られる。
- また、土石流が発生した場合に、流木が多量に流出する事例も近年多く見られている。

・代表的な流木による被害等の事例(H29九州北部豪雨)



大量の土砂・流木の流出(赤谷川)



砂防堰堤による流木の捕捉状況(妙見川)

・土石流時と流木が流出する事例(R4.8)

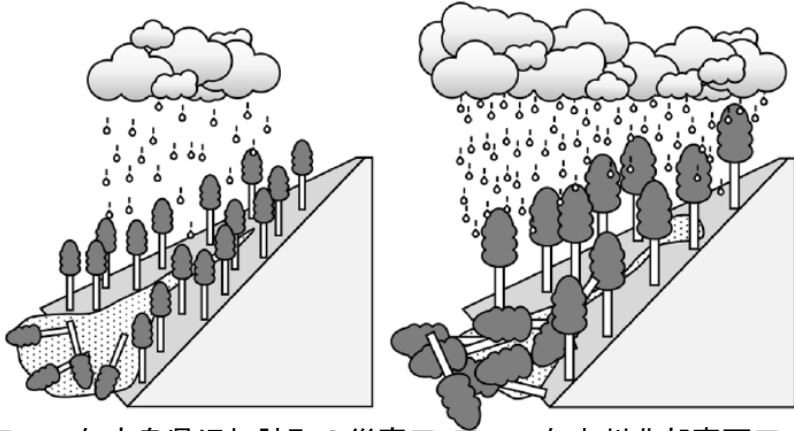


流木の流出(新潟県村上市小岩内大沢川)

・森林が土砂災害に及ぼす影響に関する最新の知見

若い森林

成熟した森林

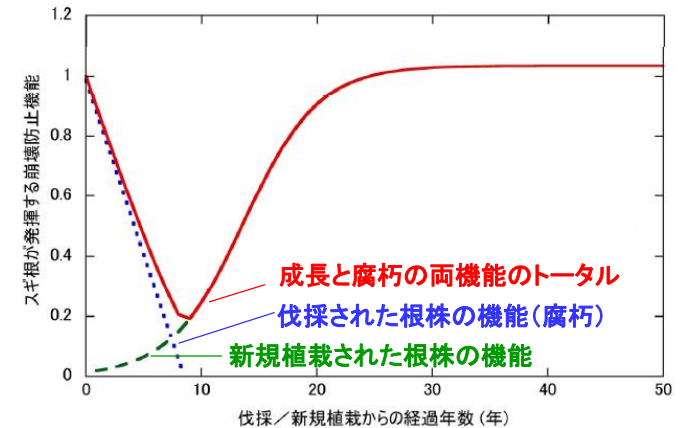


成熟した森林は、若い森林と比較して、より規模の大きい豪雨に対して防災機能を発揮した。

一方、成熟した森林は、若い森林と比較して土砂災害時の流木量が大きくなった。

今回の事例では、**最大値では30倍、中央値で4倍**発生流木量が大きくなった。

・スギの根が表層崩壊を防止する機能



皆伐から10年で大幅に低減するが、再造林を行えば回復も早い。

■1988年広島県旧加計町の災害
林齢10-30年スギ人工林
再現期間**23.6年**の豪雨で災害発生

■2017年九州北部豪雨
林齢40年スギ・檜人工林
再現期間**69.8年**の豪雨で災害発生

Sato et al.(2023)を基に作成

Okada et al.(2023)及び森林総研プレスリリースを基に作成

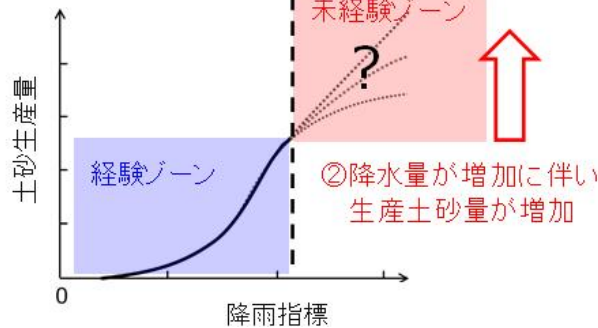
<課題・解決の視点の整理>

1. 近年の土砂災害実績を踏まえた課題と解決の視点

- ・降雨特性の変化により、地域ごとにどのような土砂移動現象が頻発、顕在化するののかについての評価手法の構築が課題
- ・降雨量の増加に伴い、生産土砂量の推定精度向上が課題



①気候変動により
降水量が増加



②降水量が増加に伴い
生産土砂量が増加

2. 近年頻発化の傾向にある土砂・洪水氾濫の顕在化を踏まえた課題と解決の視点

- ・土砂・洪水氾濫危険流域を特定する手法を確立するには一定程度の時間が必要
- ・過去に土砂・洪水氾濫被害の実績のある流域は、土砂・洪水氾濫が発生するポテンシャルの高い流域であるとみなし、現在の対策が十分なものであるのか再精査を行い、必要な対策を講ずることが必要。
- ・過去に土砂・洪水氾濫の記録がない流域であっても、近年発生した土砂・洪水氾濫の発生した流域と同様の特徴を有する流域は土砂・洪水氾濫危険流域とみなし、可能な対策を進めていくことが重要。



<課題解決の方向性・検討上の留意点>

3. 課題解決のための検討の方向性

- ①どのような土砂移動現象が今後頻発化もしくは新たに顕在化する恐れがあるのかを社会全体で認識できるようにすること
- ②計画論上・設計論上の外力(降水量・生産土砂量)がどの程度増加するのか推定すること

4. 各検討課題にかかる検討上の留意点 (具体の取組内容と留意点)

- 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
 - 土砂移動現象を引き起こす降雨パターンの類型化
 - 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
- 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
 - 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
 - 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
- 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
 - 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
 - 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¹²

「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・技術開発課題への取組

取組期間: 赤(1年程度)、青(2年~4年)
黒(長期的課題)

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		アウトプット・行政施策への反映のイメージ
	取組内容	
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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 ・気候変動による集中豪雨等の降雨特性変化 	将来の地域別リスクの変化→警戒避難情報提供の高度化
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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	<ul style="list-style-type: none"> ・素因と土砂移動形態の関係把握 ・降雨と土砂移動形態の関係把握 ・将来の地域別リスクの変化→警戒避難情報提供の高度化
②気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生蓋然性の高い箇所解明		
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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	土砂・洪水氾濫のおそれのある流域の抽出、土砂・洪水氾濫危険流域危険度評価、被害想定高度化
2.土砂流出に係る数値解析手法の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	土砂動態解析手法高度化
3.流域スケールの土砂動態モデリング	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	流域土砂動態モデルの開発
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	<ul style="list-style-type: none"> ・(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 	<ul style="list-style-type: none"> ・崩壊性地すべりの危険箇所抽出手法 ・谷地形が不明瞭な箇所での土石流の危険箇所抽出手法
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		
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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	生産土砂量の予測高度化
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	<ul style="list-style-type: none"> ・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 	降雨量と生産土砂量の関係式→砂防計画等で土砂量等の見直し