

引き続き検討すべき課題と考慮すべき視点

「気候変動を踏まえた砂防技術検討会中間とりまとめ」に対する対応と課題

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

成果と課題

- 土砂災害の発生を判断する上で指標となるスネークラインを用いた検討が進められた。それにより①気候予測データという誘因の変化の指標と合わせて、土石流や同時多発的ながけ崩れの地域別の発生リスクが増加傾向になることが示された、②スネークラインの形状で土砂移動現象の類型化が可能であることが示され、素因(地形・地質等)と誘因(気候予測データ)と合わせて、頻発化もしくは新たに顕在化する土砂移動現象を推定する方向性が示された。ことが、砂防分野における成果として挙げられる。
- 気象分野においては、新たな気候予測データセットの作成、それを用いた検討が進められ、砂防分野での活用が期待されている。
- しかしながら、計画論上の土砂移動現象、設計論上の外力がどのように変化するか、降雨と③生産土砂の応答特性変化を組み合わせ、どのように計画論・設計論に落とし込むかについての方法論は、引き続きの課題。

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

成果と課題

- 土砂・洪水氾濫については、①大きな被害のおそれのある流域抽出手法及び流木対策計画に関するマニュアルを作成し、事業実施主体による検討を進めるが可能になった、②土石流や土砂・洪水氾濫の発生の蓋然性の高い箇所での数値解析手法の高度化が進んだ、ことが成果としてあげられる。
- しかしながら、数値解析手法の高度化は、流木や施設のモデル化が課題として残っている。また高度化だけでなく、全国のリスクを示すことを想定した場合の精度を担保した簡易的な手法の開発が必要。
- 崩壊性地すべりは、事例整理に伴う類型化や事例集作成が進められた。崩壊性地すべりを始めとした発生頻度が少なく、費用対効果を考慮した場合にハード対策の実施に至らない可能性がある現象に対してのハード対策・ソフト対策のあり方をどう考えるべきかという課題が見えてきた。

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

成果と課題

- 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手法が開発され、非線形性が表現されると共に、適用可能な花崗岩地域でのモデル実装の準備が整った。
- しかしながら、上記モデル適用外の地形・地質では、適応策を検討するためにも、これまでの知見(物理モデル、経験的手法)を組み合わせた評価手法をどのように実装するかが課題となっている。

気候変動を踏まえた土砂災害対策を検討する上での行政課題

- 今後の気候変動を踏まえた土砂災害への適応策を推進するためには、
 - 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として認識できるようにすること
 - ② 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推定する手法を構築すること
 が重要であり、中間取りまとめ時と検討すべき課題に大きな変更は無い。
- これまでの研究・技術開発から現時点で出来る範囲で**気候変動による土砂災害の影響の見える化を進める、気候変動を踏まえた土砂災害対策の適応策に向けた具体的な検討を進める**等、一歩でも前に進めていくことが重要。

①土砂移動現象はどのように今後頻発化、顕在化するか

②降水量、生産・流出土砂量はどのように変わるか

発生頻度が高い土砂移動現象

土砂・洪水氾濫



同時多発的な表層崩壊や土石流



がけ崩れ



地すべり



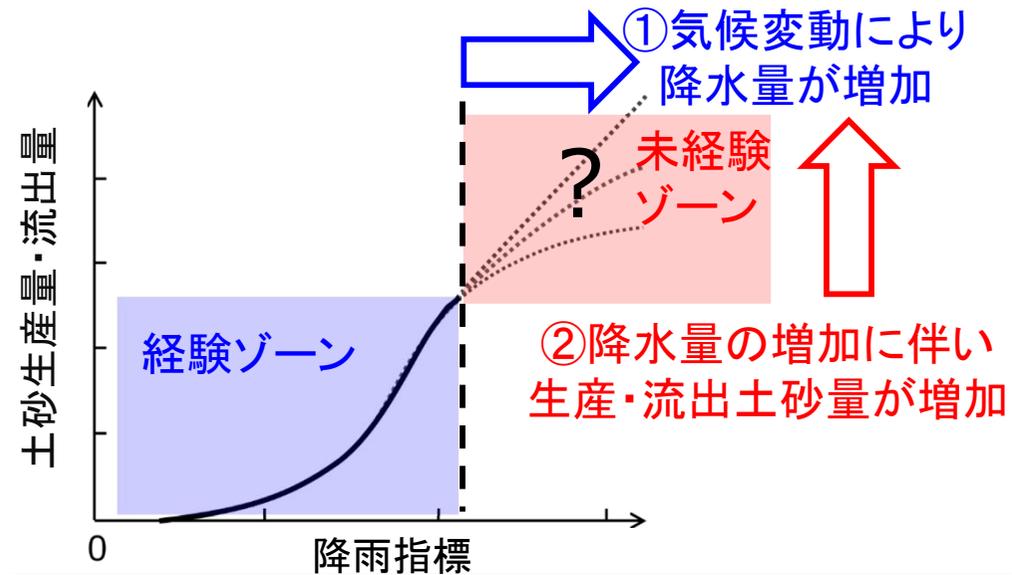
谷地形が不明瞭な箇所での土石流

これまでは発生頻度の低い土砂移動現象

崩壊性地すべり



深層崩壊・天然ダム



+α 影響の見える化、適応策の具体的検討

土砂災害の発生頻度、発生回数が〇〇〇 等

<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として認識できるようにすること>

- 気候変動で、土砂災害に影響を及ぼす降雨特性がどのように変化して、その結果、土砂移動現象がどのような地域・箇所で頻発化もしくは新たに顕在化する恐れがあるのか、を把握すべきではないか。
- 降雨特性変化については、土砂災害対策の適応策を検討するために、地域特性を踏まえた定量化に向けた試みを進めるべきではないか。
- 頻発化、顕在化する土砂移動現象を推定し、具体的なハード・ソフト対策における適応策を講ずる観点から、特に気候変動に伴う降雨特性の変化によって頻発化している土砂・洪水氾濫について、発生する蓋然性の高い流域を抽出し、被害が想定される地域を全国的に把握すべきではないか。
- また、深層崩壊、崩壊性地すべり、谷地形が不明瞭な箇所での土石流のような、現在土砂災害防止法で指定基準、ハザードの広がり特定する手法が定められていないが、発生頻度が低い現象に対する土砂災害対策の方向性に関する議論を進めるべきではないか。合わせて、経験的な手法でハザードの広がり示している土砂災害警戒区域について、気候変動下において現在の手法が妥当か、見直しの必要がないか、継続的に調査・整理することが必要ではないか。

<2. 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推定する手法を構築すること>

- 現状、死者・行方不明者が多く発生している土石流対策、頻発化している土砂・洪水氾濫対策に対して、気候変動を踏まえた計画論、設計論の具体的な検討を進めるべきではないか。
- 基礎研究・技術開発を継続しつつ、現在の研究・技術を用いて降水量の増加に応じてどう生産土砂量が変わるのか、を評価する手法の現場実装に向けた検討を進めるべきではないか。
- 加えて、降水量と生産土砂量の変化だけでなく、適応策の検討の観点から保全対象付近まで流れてくる土砂やそれを制御する対策施設を評価する手法の構築を目指すべきではないか。

①気候変動に伴う降雨特性変化が地域ごとの土砂災害の形態、頻度、規模に与える影響の推定		
	取組内容	アウトプット・行政施策への反映のイメージ
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	・砂防事業(土石流対策、土砂・洪水氾濫対策)の特徴を踏まえた気候変動による降雨特性変化の定量化、地域区分の分析、砂防計画への反映手法の検討	・降雨から見た将来の土砂災害の地域別リスクの変化→警戒避難情報提供の高度化、気候変動対応型の砂防事業の展開
2.地域毎に顕在化・頻発化する土砂移動現象の予測	・土砂移動現象毎の支配的な要因・誘因と気候予測データ等を組み合わせた顕在化・頻発化する土砂移動現象の検討	・将来の具体的な土砂移動現象別、地域別の災害リスクの変化→警戒避難情報提供の高度化
3.土砂災害のおそれのある区域への影響の予測	・災害発生時に土砂等の到達した範囲と土砂災害警戒区域等との比較、結果の蓄積	・必要に応じて土砂災害警戒区域の設定手法の高度化
②気候変動に伴い顕在化してきた土砂移動現象の発生し、被害が及ぶ蓋然性の高い箇所 の 解明		
1.土砂の生産・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、氾濫想定手法の検討	・土砂・洪水氾濫危険流域・区域の抽出と手法の高度化検討 ・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・洪水氾濫危険流域で発生する被害の想定手法の高度化
2.土砂流出に係る数値解析手法の高度化	・出水規模ごとの掃流状集合流動区間の土砂動態解析手法の検討 ・土砂・洪水氾濫対策計画の立案、施設の解析手法検討	・土砂動態解析手法高度化 ・気候変動対応型の砂防計画の立案
3.土砂・流木の生産・挙動を考慮した生産-流出モデリング	・生産過程、流出過程を考慮した土砂・流木動態解析手法検討	・流域土砂動態モデルの開発、実装
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	・崩壊性地すべりの危険箇所抽出手法の検討 ・谷地形が不明瞭な箇所での土石流の発生場の特徴に関する現地の詳細調査、事例収集	・崩壊性地すべり、谷地形が不明瞭な箇所での土石流の危険箇所の抽出→警戒避難情報提供の高度化
③気候変動に伴う降雨特性の変化に応じた流域生産土砂量の応答特性の解明		
1.物理モデル、経験的手法、それらを組み合わせた流域生産土砂量予測	・土層生成速度、樹木根系効果等を考慮した物理モデルによる流域生産土砂量予測の実装 ・経験的手法及び物理モデルと経験的手法を組み合わせた降雨量と流域生産土砂量予測手法の検討	・生産土砂量の予測高度化、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

適応策検討の方向性の例

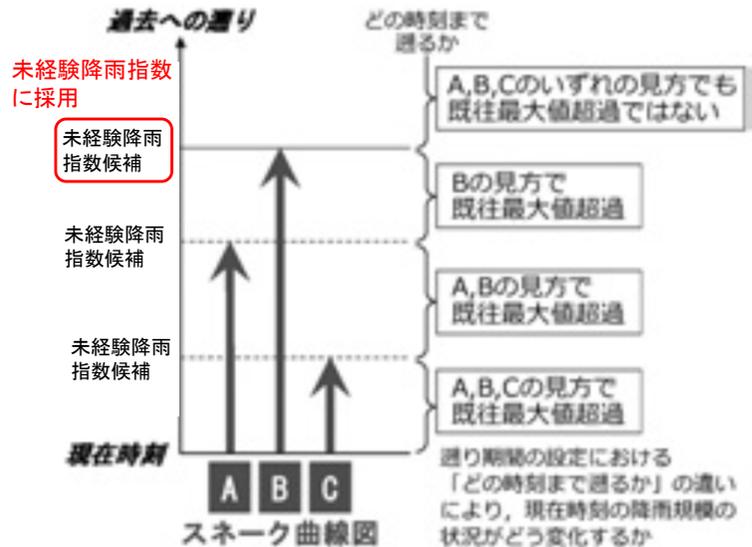
- 降雨の特性変化については、今までの1/100と気候変動後の1/100がどのくらい異なるか、今までの1/100がどの程度変化(1/80等)するのか。リターンピリオドで評価することも考えられる。雨の強度、頻度、継続時間の変化を地域毎に捉えることも重要。
- 降雨特性変化については、山地部の地形性降雨をしっかりと評価してから、計画論への反映を議論することが良いのではないか。
- 様々な土砂災害、土砂移動形態に対して技術的な検討を進めることは良いが、それらをどのように用いるかを考える必要がある。例えば、計画を立案する上で想定するシナリオを決めて、それに適した技術を使用するといったことを考えることが必要ではないか。そのシナリオの設定方法も検討が必要。
- 気候変動の適応策は長期的な視点を持つべきなので、発生頻度の低い土砂移動現象に対しては、長期的な視点を持った上で、技術的な裏付けをもってソフト対策を行っていくことが必要ではないか。例えば、人口減少時代の都市機能のゾーン分け、道路網のコネクティビティの確保等に関する情報提供を行うことで、よりよい国土作りが可能になるということが考えられる。

以降、意見を踏まえた対応策について記載する。

降雨特性変化の検討の方向性

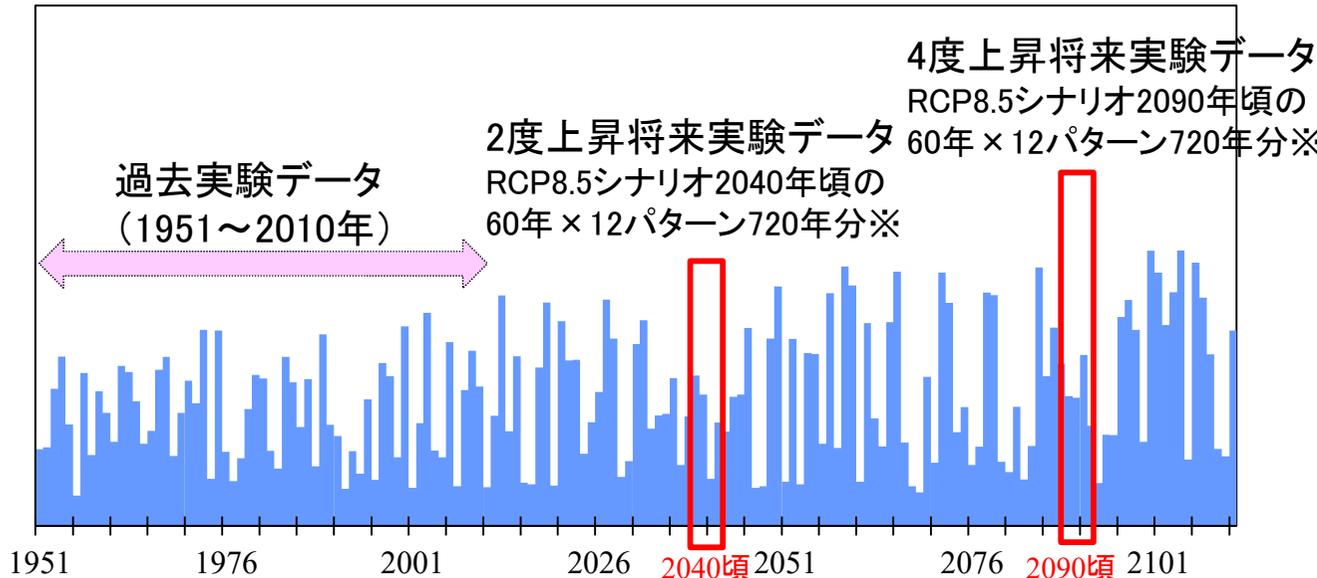
- 気候予測データと土砂災害に関係の深い指標を用いて、気候変動による降雨特性変化による土砂災害の発生頻度の変化等の見える化をしていく試みが考えられる。
- 例えば、時間雨量・日雨量・土壌雨量指数(絶対値、確率規模別の評価)、未経験降雨指数といった土砂災害に関係の深い指標を用いることが考えられる。
- 分析にはKawase et al.(2023)で示された、日本全国を網羅しつつ、5kmメッシュに高解像度化した気候モデルを用いた、過去、2度上昇、4度上昇のそれぞれの気候における過去実験及び将来実験(のべ720年分)の結果を用いることを考えられる。

未経験降雨指数とは、「その時刻の雨が、あらゆる条件でのこれまでの最大規模になっている」ものを示す指数



未経験降雨指数のイメージ(小杉, 2022を引用加筆)

例えば、過去実験データで発生しなかった降雨が、2度上昇、4度上昇シナリオで何回発生するか。等により、土砂災害の激甚化・頻発化を定量的に表現出来ないか。



気候予測データを用いた土砂災害の頻発化を推定する期間のイメージ

※4度上昇はRCP8.5シナリオで2090年頃、2度上昇は2040年頃の気候予測データを用いており、便宜上、年が記載されているものがある。

【参考】現在公表されている将来降雨の予測データの状況

○ 現在公表されている将来降雨の予測データについて、下水道の計画等の特徴及び考慮すべき内容に照らし、空間解像度、時間解像度、対象期間(データ数)、バイアス補正の有無、都市キャンピの反映の状況等について整理を行った。

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	都市キャンピ	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	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)
	【環境省・気象庁】		RCP2.6								
	気候変動リスク情報創生プログラム【文科省】	d4PDF	d4PDF	RCP8.5 (4℃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)
5km	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℃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)
	気候変動リスク情報創生プログラム【文科省】	NHRCM05	NHRCM05	RCP8.5	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
				RCP2.6							
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℃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℃上昇)	時間	○	力学			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	気候変動予測先端研究プログラム【文科省】	d4PDF		RCP8.5 (4℃上昇)	時間	○	力学			現在(1951-2010) 将来(2051-2110)	現在:12パターン 将来:12パターン (6SST×2摂動)
		d4PDF		RCP8.5 (2℃上昇)						現在(1951-2010) 将来(2031-2090)	
1km	気候変動リスク情報創生プログラム【文科省】	NHRCM02	NHRCM02	RCP8.5	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
				RCP2.6							
1km	日本全国1kmメッシュ統計的ダウンスケーリングbySI-CAT【文科省】			RCP8.5	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
			RCP2.6								
	S-8共通(第二版)by環境省S-8【環境省】			RCP8.5	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
		RCP4.5									
		RCP2.6									

本データを用いて解析実施予定

※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。

気候変動を踏まえた下水道計画における外力の設定の考え方(一部改訂)に加筆

【参考】気候変動下における土砂災害発生頻度への影響の試算

- 気候変動モデルデータ(SI-CAT DDS5TK)の現在、2°C上昇、4°C上昇各12ケース(各ケース31年分)のデータ(5kmメッシュ)を使用して、土砂災害発生頻度への影響を試算。
- 土砂災害の発生頻度は、過去に対象区域内で土砂災害が発生した実績から、①時間雨量30mm/h以上、②総雨量100mm以上かつ時間雨量20mm のイベントを抽出。現在気候における発生回数からの増加率を2°C上昇、4°C上昇でそれぞれ算出。

※絶対値で評価するため、バイアス補正を実施(渡部ら(2018)によるDual-Window補正)
 ※全国的な影響を把握するための手法を検討する上での試算値

気候変動に伴う土砂災害発生頻度変化 (信濃川水系砂防での試算)

■ 現在気候→2°C上昇 ■

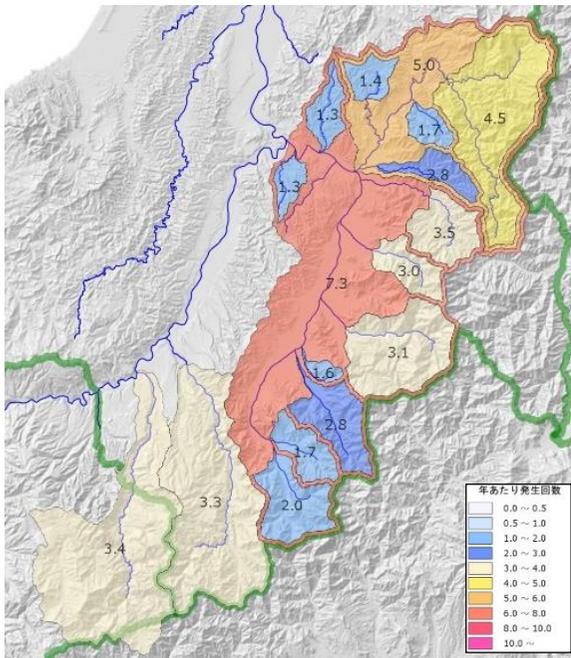
1.18倍から1.35倍

発生頻度が増加する可能性

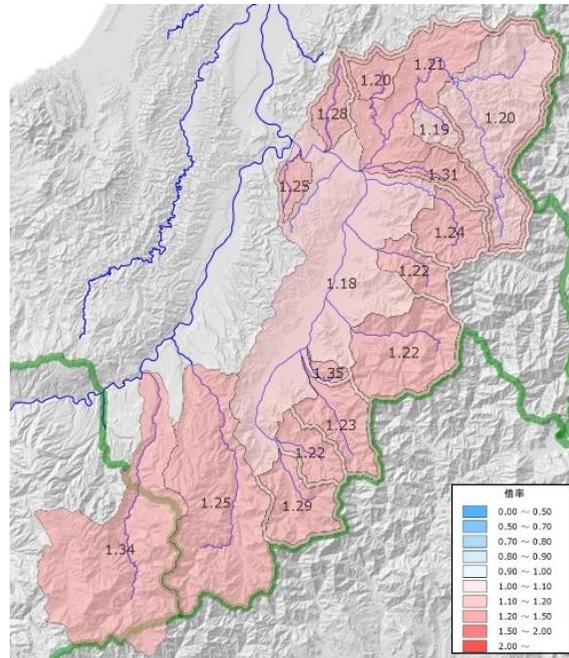
■ 現在気候→4°C上昇 ■

1.39倍から1.83倍

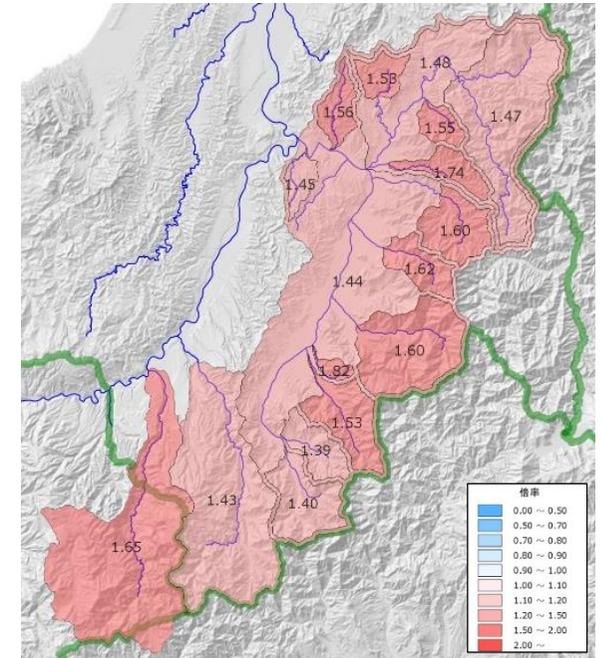
発生頻度が増加する可能性



現在気候での1年あたりの土砂災害発生が発生する恐れのある降雨の発生回数



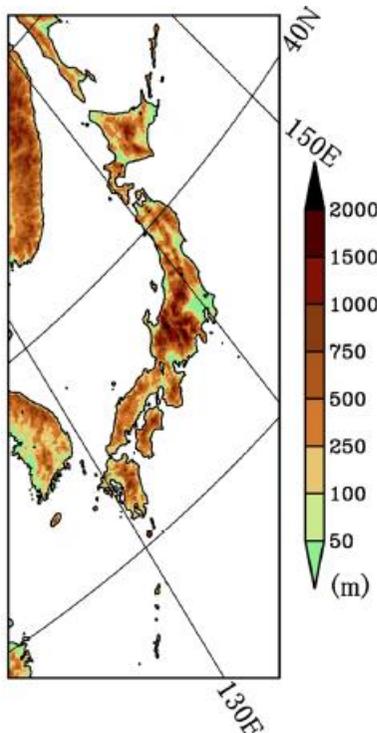
現在気候→2°C上昇の土砂災害発生頻度の変化倍率



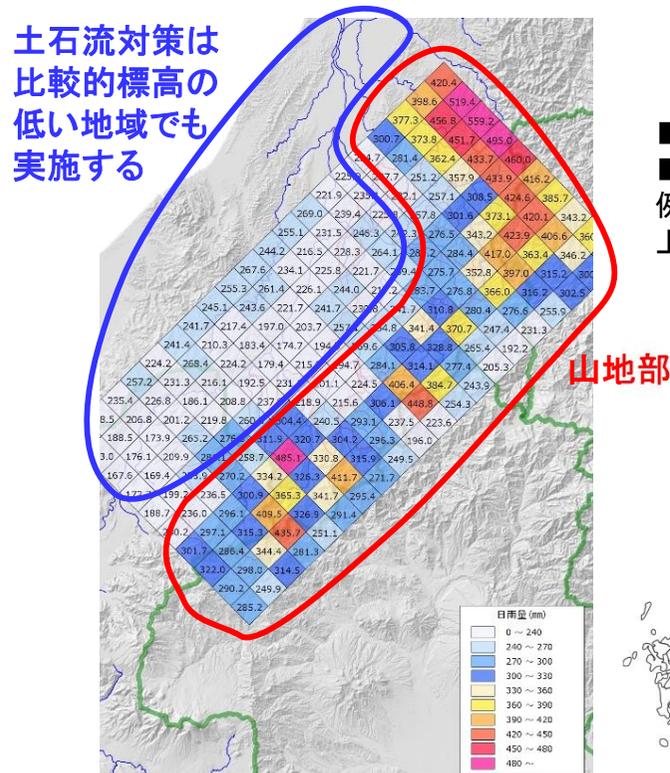
現在気候→4°C上昇の土砂災害発生頻度の変化倍率

山地の特徴を踏まえた降雨特性変化の検討の方向性(土石流対策)

- 土石流対策の適応策の検討に向け、2°C上昇時における降雨特性変化を検討することを基本とし、4°C上昇時についても検討を行う。
- 用いるデータは、日本全国統一の方法で評価出来ること、砂防事業の特徴である山地のような複雑な地形の影響を考慮出来ること、単一の土石流対策のように比較的小さな流域に影響を与える降雨特性を考慮出来ること、確率評価のために多数のデータがあることが望ましいと考える。
- そこで、分析にはKawase et al.(2023)で示された、日本全国を網羅しつつ、5kmメッシュに高解像度化した気候モデルを用いた、過去、2度上昇、4度上昇のそれぞれの気候における過去実験及び将来実験(のべ720年分)の結果を用いることを考えられる。



5kmメッシュの地形データ
(Kawase et al., 2023)



実績雨量による確率規模1/100の日雨量例

- 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



降雨変化倍率設定区分イメージ

- ✓ 土石流対策は、山地部付近で実施するもの、比較的平野部で実施するものと場の条件が様々である。
- ✓ 過去実験と将来実験との100年超過確率の日雨量等の降雨変化倍率で表現する。その区分は都道府県別、気象予報一次細分区域別で検討することを基本とするが、山地と平野部での違いについてよりよい区分が無いかを検討した上で設定することが考えられる。

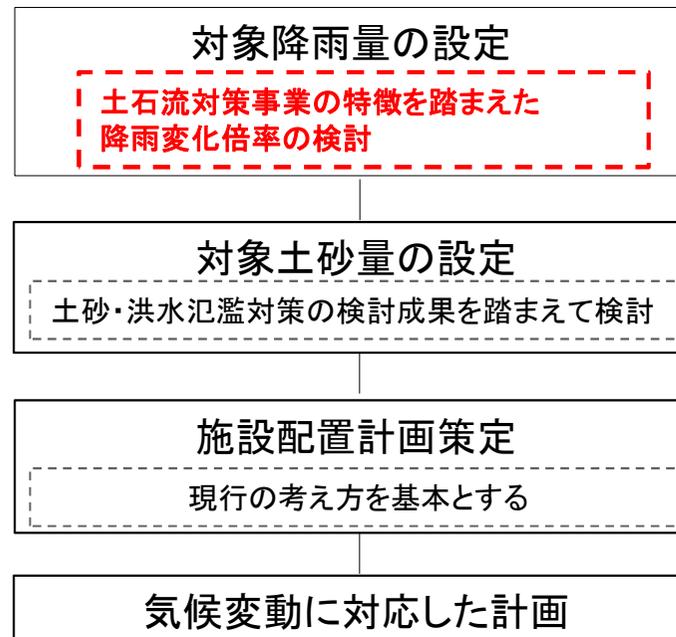
- 2°C上昇時における降雨量変化を外力とすることを基本とする。
- 土石流対策では、5km²以内の流域で実施していることが多いという事業の特性を踏まえ、適した流域スケールの年超過確率1/100以上の規模(より高頻度)の降雨特性について、最新のデータセットを用いて、降雨量変化倍率やその現象に適した地域区分について分析・検討を実施する。(例えば、都道府県ごと、気象予報区分ごとに降雨変化倍率を設定する等)
- 降雨特性変化に応じた土砂量については、土砂・洪水氾濫対策における土砂量に関する検討成果を参考に今後検討する。

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



□ 当面の検討事項
 □ 中長期的な検討事項

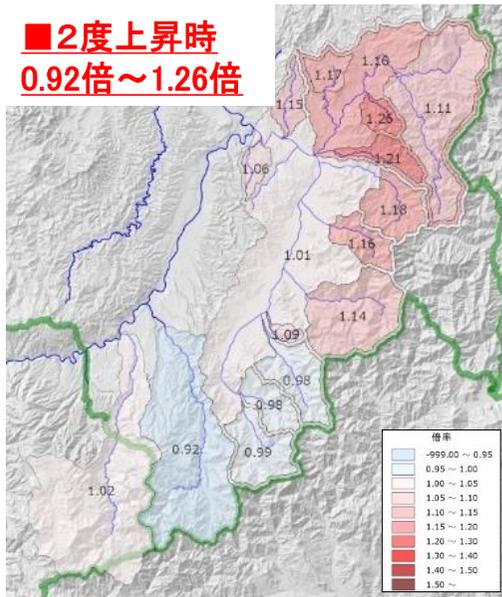
山地の特徴を踏まえた降雨特性変化の検討の方向性(土砂・洪水氾濫対策)

- 土砂・洪水氾濫対策の適応策の検討に向け、事業へ反映出来る降雨特性変化を検討する。
- 2°C上昇時における降雨特性変化を検討することを基本とし、4°C上昇時についても検討を行う。
- 降雨量変化倍率は治水計画提言(1.1倍(北海道は1.15倍))を参考にしつつ、100km²以上の代表流域を選定し、山地の特性を踏まえた設定手法について検討を行う。
- 用いるデータは土石流対策と同様に、Kawase et al.(2023)の結果を用いることとする。

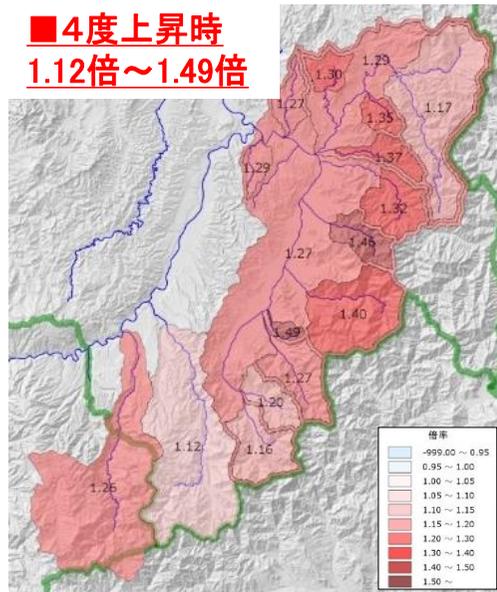
✓ 気候予測データ(SI-GAT DDS5TK、バイアス補正実施)を用いて砂防事業が対象とする流域(小流域単位)での日雨量の100年超過確率の変化倍率を試算した事例がある。

小流域単位での降雨量変化倍率の試算

■2度上昇時
0.92倍~1.26倍

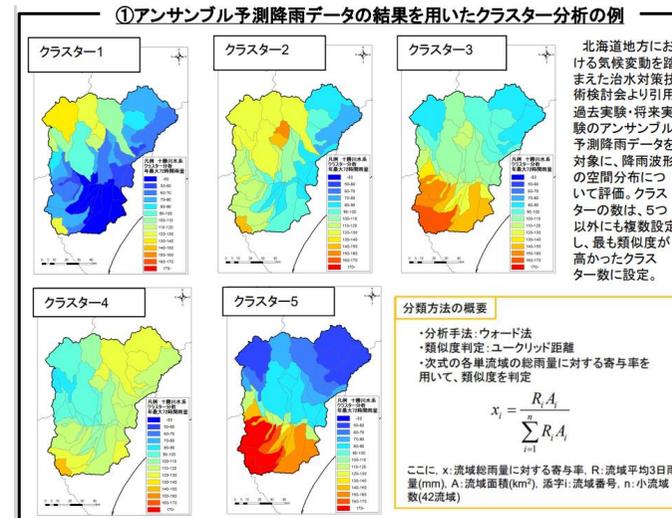


■4度上昇時
1.12倍~1.49倍



現在気候から2°C上昇時(左)、4度上昇時(右)の日雨量変化倍率
松本ら(2023)から引用加筆

- ✓ 小流域区分では、降雨量の変化倍率が異なることを踏まえて、流域内での雨域分布を考慮した変化倍率の検討、砂防計画へ反映させる降雨倍率を検討することが考えられる。
- ✓ その上で、降雨特性、流量、土砂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を考えていく。
- ✓ さらに、将来的な気候変動の不確実性を考慮するため、アンサンブル予測降雨波形データを用いて、クラスター分析を用いることで、これまで経験していない小流域で降雨が卓越する、反対に降雨が減る場合のリスク評価を行うことが考えられる。



治水計画における降雨分布の分析例
(第110回河川整備基本方針検討小委員会資料)

- 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、降雨量変化倍率を検討するために、100km²以上の代表流域を選定し、影響を試算。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。
- 対象シナリオの設定手法について、地形・地質、歴史的な災害から想定することも考える。
- 降雨特性変化に応じた土砂量については、物理モデル・経験的手法等により設定する。
- 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

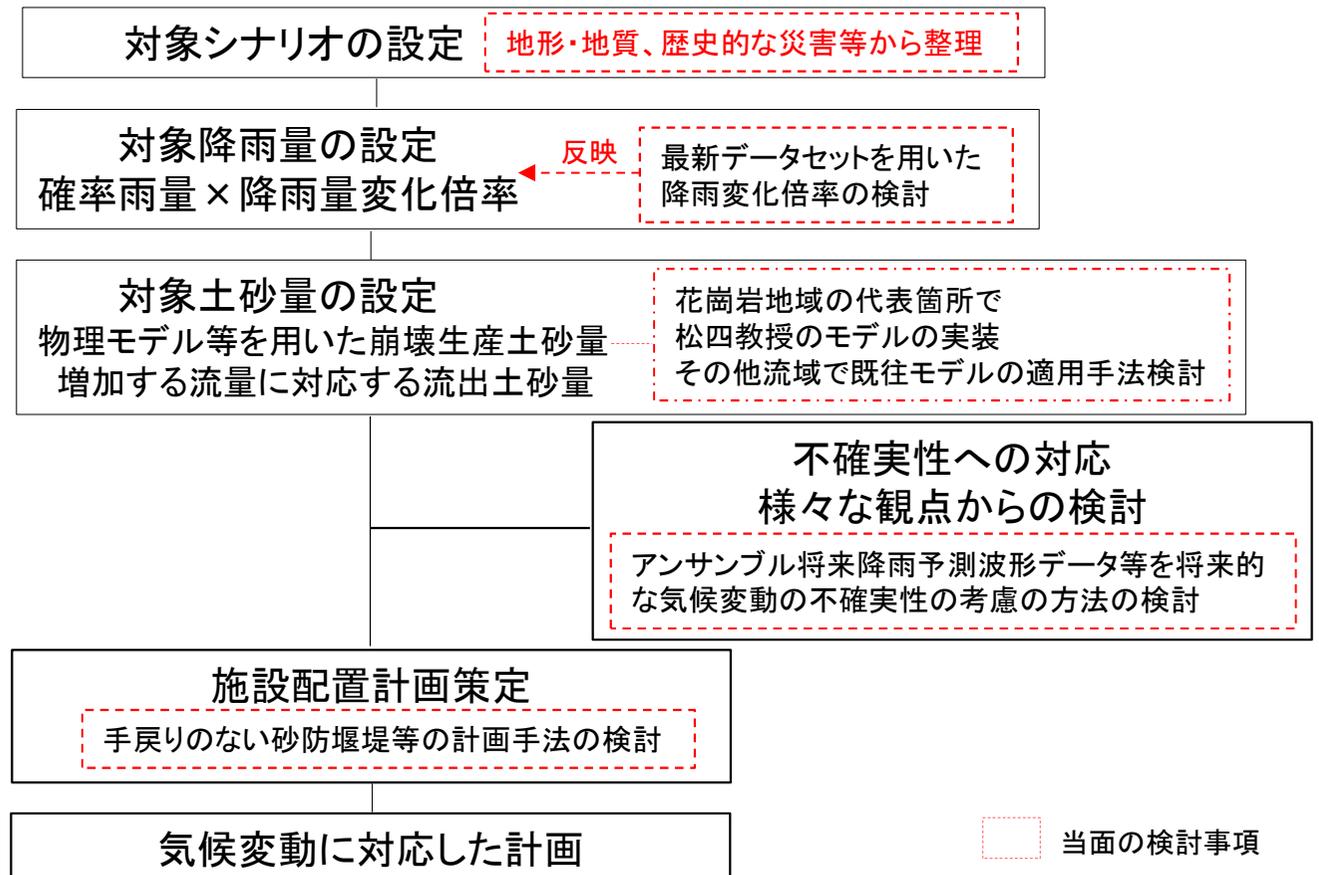
対象流域：
概ね10km²-100km²以上

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



□ 当面の検討事項

