

研究概要・成果の要旨

研究テーマ：気候変動に伴う地域性を考慮した土砂災害の将来変化の評価手法の開発

研究代表者：呉映昕（京都大学防災研究所）

【研究概要】

六甲山地における気候変動に伴う降雨特性の将来変化を定量的に解明するとともに、土砂災害危険度基準線（CL）、スネークラインのパターン解析、降雨の強度と継続時間の関係に基づき、土砂災害発生状況の将来予測を行う。加えて力学的な数値モデルをも適用しながら、気候変動に伴って将来の降雨はどのように変化するのか、その結果に伴う地域性を考慮した土砂災害の発生状況はどうなるのかを定量的に評価する手法を開発する。

【研究成果の要旨】

本研究の初年度の目的は、現地観測および気候モデルデータを用いて、気候変動による六甲山地における降雨特性、スネークライン特徴、CL 超過事例およびその将来変化を解明することであった。具体的な成果は3つである。①現地観測及び領域気候モデルの降雨データを用い、六甲山系各河川流域の降雨の降水強度、継続時間、発生頻度の将来変化を解析した。その結果、各再現期間による現在気候より、4度上昇シナリオの時間降水量はおよそ1.3倍になることを解明した。②同様の降雨データを用いて、六甲山地における各メッシュでの過去及び将来の降雨事例のスネークラインの分布範囲とパターン等を分類し、地上気温の上昇に伴ってスネークラインの最大範囲が拡大する特徴を明らかにした。③得られたスネークラインの将来予測データに対して CL を適用し、超過事例数を分析することで、将来の土砂災害警戒情報の発令頻度と時空間分布について明らかにした。

2年目の研究では、六甲山地の斜面崩壊に着目し、過去の災害事例を用いて、災害時の降雨特性とスネークラインパターンの特徴を明らかにし、その将来変化を解析することを目的とした。具体的な成果は5つである。①六甲山地および地形地質の類似する地域の過去斜面崩壊事例の降雨データを用いて、災害発生時のスネークラインの特徴を抽出し、斜面崩壊の降雨強度と継続時間関係を解析した。②令和4年度に得られた将来予測のスネークラインと、過去災害事例のスネークラインの特徴を比較し、将来の土砂災害の発生傾向を定量的に予測した。③六甲山における風化花崗岩山地の斜面崩壊発生のメカニズムについて解明するため、高解像度の山地地形と表面土層深度分布データ等を用いた数値モデルを構築し、再現性の検証を行う目的とした。加えて、④5kmと2kmのNHRCMにおいてメッシュサイズの違いが CL 超過降雨事例の傾向に与える影響に解析した。⑤大量のアンサンブルメンバーを有する5kmのd4PDFも活用して再解析を実施した。

最終年度では、5kmのd4PDFにおける大量のアンサンブルメンバーに着目し、前年度までの成果を更新して再解析を行った。CL 超過事例の空間分布および旬別の発生頻度を明らかにし、統計的に有意義な水文頻度分析と時空間的な増加傾向を解明した。特に温暖化が CL 超過回数に与える影響を定量化するため、2010までの解析雨量データとd4PDFにおける新たな非温暖化試験シナリオを活用した。さらに、時間雨量に基づく確率降雨量により CL 超過回数、すなわち再現期間別の土砂災害発生リスクの将来変化を評価した。その結果は、土砂災害警戒情報が発令されるような降雨は、再現期間1年以上の降雨事例が最も多いことが明らかとなった。各シナリオにおける CL 超過頻度の増加比率も解明した。

河川砂防技術研究開発 【成果概要】

氏 名 (ふりがな)		所 属		役 職
①研究代表者		呉 映昕 (ウ インシン)		京都大学
特定准教授				
① 研究テーマ	名称	F S型【気候変動に伴う地域性を考慮した土砂災害の将来変化の評価手法の開発】		
③研究経費 (単位: 万円)		令和4年度	令和5年度	令和6年度
※端数切り捨て。		211万円	204万円	204万円
		総 合 計		
		619万円		
④研究者氏名 (研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)				
氏 名		所属機関・役職 (※令和4年3月31日現在)		
中北 英一		京都大学防災研究所・所長・教授		
仲 ゆかり (旧姓: 小坂田)		京都大学防災研究所・助教		
山口 弘誠		京都大学防災研究所・准教授		
⑤技術研究開発の目的・目標 (様式地砂-1、地砂-2に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)				
六甲山地における気候変動に伴う降雨特性の将来変化を定量的に解明するとともに、CL、スネークラインのパターン解析、ID (降雨強度、継続時間) 関係に基づき、土砂災害発生状況の将来予測を行う。加えて力学的な数値モデルをも適用しながら、気候変動に伴う花崗岩山地の土砂災害発生将来変化を評価することを目的とする。 【1年目 (またはF S研究)】 現地観測データと気候モデルデータを用いて降雨とスネークラインの将来変化を解明する。現地観測 (地上雨量計とXRAIN) データをベースに、現在気候のIDF関係 (降水強度、継続時間、発生頻度の関係) を解明するとともに、領域気候モデルの現在気候と将来気候の降雨データのIDF関係を比較して、将来変化を明らかにする。気候変動データを用いてスネークラインが各メッシュでCLを超過する事例数を分析し、土砂災害警戒情報の将来の発令頻度と時空間分布を明らかにする。 【2年目】 六甲山地の斜面崩壊を対象としてその発生の将来変化を2種類の方法で解析する。過去災害 (六甲山と全国の地質地形の類似する場所) 事例を用いて、花崗岩山地で災害が起こった時の降雨とスネークラインパターンの特徴を明らかにする。さらに、どのような降雨条件で風化した花崗岩山地表層土壌は崩壊するのか、その物理的な崩壊メカニズムを高解像度力学的モデルにより解明する。モデルのチューニングにあたっては現地事務所との連携により収集した地域の土壌・地質情報を活用するとともに助言をいただく。 【3年目】 六甲山地における斜面崩壊の将来変化の解析を継続する。前年度に再現性を検証した斜面崩壊モデルで、気候変動データを用いて六甲山地の斜面崩壊の発生状況の将来予測を行う。さらに、別の手法で行った将来予測の結果とともに六甲山地における気候変動による土砂災害の将来変化について総合的な評価を行う。				

⑥研究成果

1. はじめに

近年極端降雨が頻発し、全国の多くの地域で降水量の既往最大値が更新された。気候変動に伴いさらに強い極端降雨の発生の恐れがあり、特に急傾斜の山地の周辺地区では、将来の土砂災害発生状況を把握することが重要である。土砂災害の予防及び軽減するため、関西地区において人口が稠密する六甲山地を対象として、気候変動による土砂災害発生の将来変化を評価できる手法を開発することを本研究の主要な目的としている。六甲山の南側斜面の多くは急傾斜で河川長も短く、地質は風化した脆い花崗岩となっているため、土砂災害が発生しやすい地域である。さらに近年では地球温暖化の影響もあり短時間強雨の発生頻度が上がっており、土砂災害の発生危険度が増している現状にある。本研究では、六甲山地における気候変動に伴う降雨特性の将来変化を定量的に解明するとともに、土砂災害危険度基準線（CL）、スネークラインのパターン解析、降雨の降雨強度と継続時間の関係に基づき、土砂災害発生状況の将来予測を行う。加えて力学的な数値モデルをも適用しながら、気候変動に伴う花崗岩の六甲山地や他の地域性を考慮した土砂災害発生の将来変化を定量的に評価する手法の開発を目指す。図-1に本研究全体の3年計画と研究フローを示し、表-1に本研究で使用するデータセットと関連する情報を示す。本年度の目標は、過去災害事例（六甲山と全国の地質地形の類似する場所）を用いて、花崗岩山地で災害が起こった時の降雨とスネークラインパターンの特徴を明らかにする。さらに、どのような降雨条件で風化した花崗岩山地表層土壌が崩壊するのか、その物理的な崩壊メカニズムを高解像度力学的モデルにより解明することを予定した。モデルのチューニングにあたっては、現地事務所との連携により収集した地域の土壌・地質情報を活用するとともに助言を頂く。また、当初の目標に加えて、大量のアンサンブルメンバーを有する5kmメッシュのd4PDFデータを活用し、

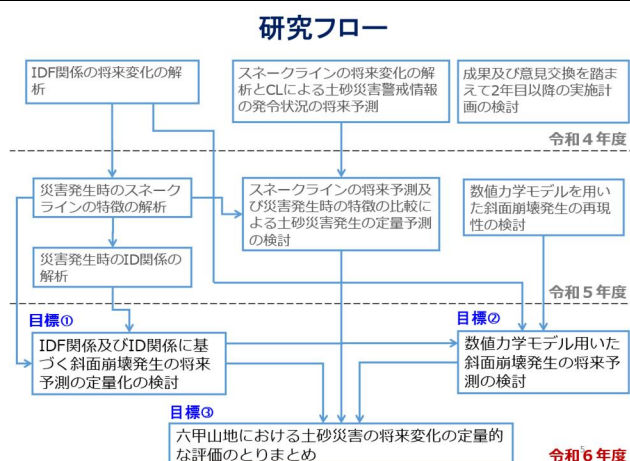


図-1 本研究の3年間計画と研究フロー



図-2 研究領域：3次メッシュ(合計200箇所)と河川流域範囲(23水系)

表-1に本研究で使用するデータセットと関連する情報を示す。本年度の目標は、過去災害事例（六甲山と全国の地質地形の類似する場所）を用いて、花崗岩山地で災害が起こった時の降雨とスネークラインパターンの特徴を明らかにする。さらに、どのような降雨条件で風化した花崗岩山地表層土壌が崩壊するのか、その物理的な崩壊メカニズムを高解像度力学的モデルにより解明することを予定した。モデルのチューニングにあたっては、現地事務所との連携により収集した地域の土壌・地質情報を活用するとともに助言を頂く。また、当初の目標に加えて、大量のアンサンブルメンバーを有する5kmメッシュのd4PDFデータを活用し、

表-1 本研究に用いたデータセット一覧表

種類	データ名	空間解像度	時間解像度	解析する変数	データ期間	メンバーとシナリオ
観測データ	地上観測【神戸気象台】	—	1時間	降雨強度 地上気温	30年 【1990～2019】	—
	解析雨量	1km 2.5km 2.5km 5km	30分 30分 1時間 1時間	降雨強度	2006～2024【19年】 2003/06～2005/12 2001/04～2003/05 1998～2001/03	—
	メソモデル【MSM】	5km	1時間	地上気温	2006～2022【17年】	—
領域気候モデル	NHRCM05	5km	30分	降雨強度 地上気温	20年 現在気候：1980～1999 2度上昇：2076～2095 4度上昇：2076～2095	現在気候：1メンバー 2度上昇シナリオ：4メンバー 4度上昇シナリオ：4メンバー
	NHRCM02	2km	1時間	降雨強度 地上気温	20年 現在気候：1980～1999 2度上昇：2076～2095 4度上昇：2076～2095	現在気候：1メンバー 2度上昇シナリオ：4メンバー 4度上昇シナリオ：4メンバー
	d4PDF 5-km	5km	1時間	降雨強度	61年 現在気候：1950～2010 非温暖化試験：1950～2010 2度上昇：2030～2090 4度上昇：2050～2110	現在気候：12メンバー 非温暖化試験：12メンバー 2度上昇シナリオ：12メンバー 4度上昇シナリオ：12メンバー

統計的に有意な水文頻度解析およびCL超過回数の時空間的な増加傾向の定量的評価も実施した。以下に、これまでに得られた各成果の概要をまとめて述べる

2. 各河川流域の降雨強度I、継続時間D、再現期間Fの将来変化

六甲山地には 23 水系があり、関連する 3 次メッシュは 200 箇所である。図-2 に全体の分布を示す。気候変動による各水系の降水量の将来変化を理解するため、各水系を対象として降雨強度と継続時間及び再現期間の関連性（IDF 関係）を調べた。降水データの定常性とガンベル（タイプI）分布を仮定して確率統計的な水文頻度解析を行った。大量のアンサンブルメンバー有する 5km の d4PDF を使用して、各水系の IDF カーブを解析した。解析結果の一部である再現期間 50 年、100 年及び 200 年の時間降水量を表-2 に示す。2 度上昇シナリオの時間降水量は現在気候より 1.11 倍から 1.20 倍に増加し、4 度上昇シナリオの場合は 1.23 倍から 1.33 倍に増加し、再現期間が長いほど大きく増加することが明らかとなった。同じ空間解像度の 5km の NHRCM における増加倍率は 1.3 倍から 1.83 倍であり、d4PDF の方が増加倍率がやや減少した。

3. スネークラインの特徴と地上気温との関連性の考察

気候変動によるスネークラインの将来変化を定量的に把握するため、Clausius-Clapeyron スケーリングを参考にして、降水事例の地上気温において時間降水量 P と土壌雨量指数 SWI の最大値、すなわちスネークラインの範囲分布を算定した（Wu et al., 2022）。本提案した解析では、国土交通省の定義に基づき一連の降雨事例を抽出し、各事例の最高地上気温 T 〔°C〕、最大時間降水量 P 〔mm〕及び最大土壌雨量指数 SWI 〔mm〕の三つ変数を抽出した。そして全降雨事例を気温の低い順に 10 個のグループに分類（各グループの事例数を同一にとる）し、グループ毎に地上気温の中央値と、時間降水量 P 及び土壌雨量指数 SWI の四分位数の 25、50、75、と 99 パーセンタイル値を算出した。その後、各パーセンタイル値において以下の 2 式を仮定して、最小二乗法を用いて係数を決定する。

$$P_j \approx e^{\alpha_i T_j}, SWI_j \approx e^{\gamma_i T_j} \quad (\text{式 1a, 1b})$$

ここに、変数の添字 i =パーセンタイル、 j =分類グループ、 e は指数関数、 α は地上気温と時間降水量のスケーリング比率、 γ は土壌雨量指数のスケーリング比率。本手法は、地上気温 T によるパーセンタイル毎に時間降水量 P と土壌雨量指数 SWI の最大範囲を算定できるものである。

4. 気候変動による土砂災害情報の状況の将来変化

本成果は、CL超過回数の解析に関するものである。使用したデータは、解析雨量データ（1988年～2010年の23年間）および5kmメッシュのd4PDFデータ（シナリオごとに12メンバー、各メンバー61年間）である。得られた年間平均発生数の空間分布および月別累積発生数を図3に示す。観測値である解析雨量データに基づくCL超過事例の空間分布には大きな偏りは見られず、発生時期は主に7月および8月に集中していた。この結果から、六甲山地の西側（裏側）でCL超過事例数が多く、将来において増加傾向にあることが明

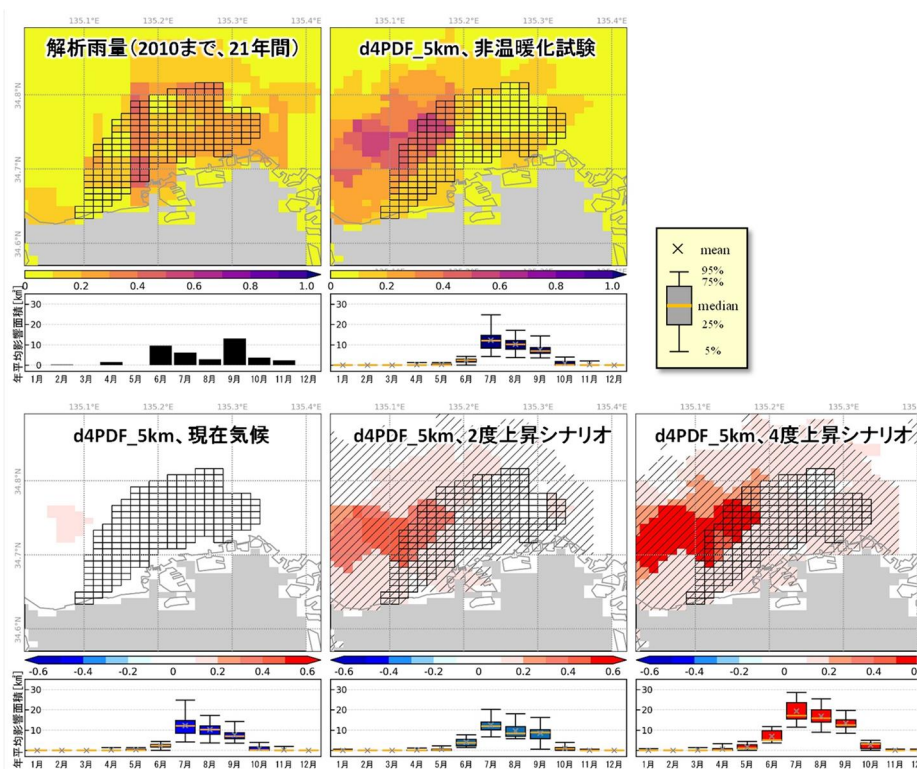


図-3 解析雨量（2010年までの21年間）および5kmのd4PDFデータを用いてCLを用いた土砂災害情報の発令頻度と時空間分布の将来予測

らかとなった。月別の発生累積数については、解析雨量との比較で若干の偏差が見られたものの、7月、8月、9月の夏季に集中する傾向は共通していた。さらに、非温暖化試験の結果により、六甲山地におけるCL超過回数には温暖化の影響が見られないことも明らかとなった。なお、これらの傾向は、前年度に解析した5kmメッシュのNHRCMデータの結果とも一致していることが確認された。

5. 気候変動によるスネークライン範囲の将来変化の定量化

ここでは、各気候再現シナリオにおけるスネークライン分布の定量化のため、CLを決定するために使用されるRBFN手法を採用した。RBFN等値線は降雨データの発生頻度に依存しており、数値が小さいほど極端な豪雨を示す。本分析で対象とする3次メッシュ(図-2)における2kmと5kmのNHRCMの現在気候と将来気候シナリオにおいて、0.1のRBFN等値線がヤコビ変換行列を用いて幾何学的にどのように伸縮するかを定量化した(Wu et al., 2024)。結果は、2度上昇シナリオでは土壌雨量指数が20%以上増加し、時間降水量が5kmの場合は約5~10%増加した。これは5kmのd4PDFの結果よりやや小さい値である(表-1参照)。4度上昇シナリオでは、5kmの場合は土壌雨量指数が20~30%増加する傾向が見られ、時間降水量が10~20%増加しているが、これも5kmのd4PDFの結果より小さい値である。しかし、2kmの場合は4度上昇シナリオでは表六甲山側で土壌雨量指数が増加せず、むしろ若干減少しており、時間降水量は20~30%増加した。この2kmと5kmの傾向の違いを解明するため、以下で降雨成因について詳細に分析した。

6. CLを超えた降雨事例の降雨成因の分析によるメッシュサイズの影響の解明

ここでは、NHRCMのメッシュサイズの影響を解明するため、CLを超えた降雨事例を対象として、台風、梅雨前線、局所的な豪雨等の降雨成因を判別した(図-4)。それぞれの成因における降雨事例のスネークライン形状、降雨強度、継続時間、及び積算降水量等の変数を考察した。現在気候と将来気候を比べた結果を図-5に示す。台風や前線のような大規模な現象は5kmと2kmでも概ね同様に表現されるが、層状性の雲(広範囲に広がる弱雨)では2kmでは表現されにくく、梅雨前線のように弱雨・長雨型の豪雨も表現されにくい。また、2kmでは局所的な強雨が表現されやすい傾向にあるため、局所豪雨の数が増えている。2kmでは降雨強度が強く表現され、短時間で土砂災害が発生する傾向にあるため、複合災害の回数がやや減少傾向である。将来変化についてみると、温暖化で台風の頻度は減少すると予測されており、今回の解析での台風イベントの減少や台風が絡む複合イベントの減少と整合した。一方で、梅雨前線による豪雨や局所的な豪雨は温暖化で増加傾向にあることが既往研究で示されており、今回の解析とも整合した。

ただし、2kmと5kmの解像度の違いで表現される現象の違いが存在するため、将来変化を考える際には注意が必要である。5kmのNHRCMに関しては、大量のアンサンブルメンバーを有する5kmのd4PDFを解析することで統計的な有意性の向上が期待できる。

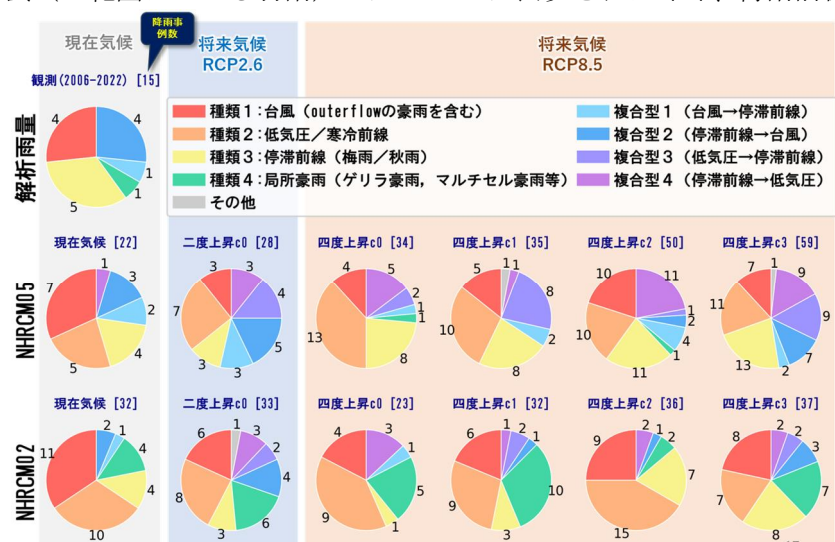


図-4 CLを超えた降雨事例の降雨成因の判別結果。【降雨イベント単位】

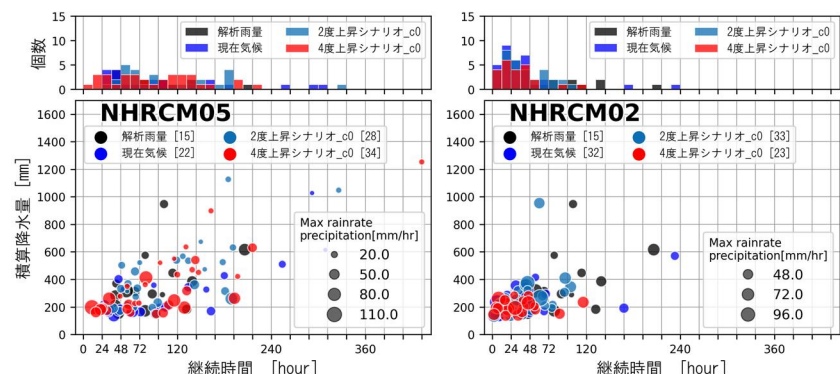


図-5 CL超過事例において積算降水量、継続時間、降雨強度の比較。分析メンバー：現在気候、2度上昇シナリオ(c0)、4度上昇シナリオ(c0)

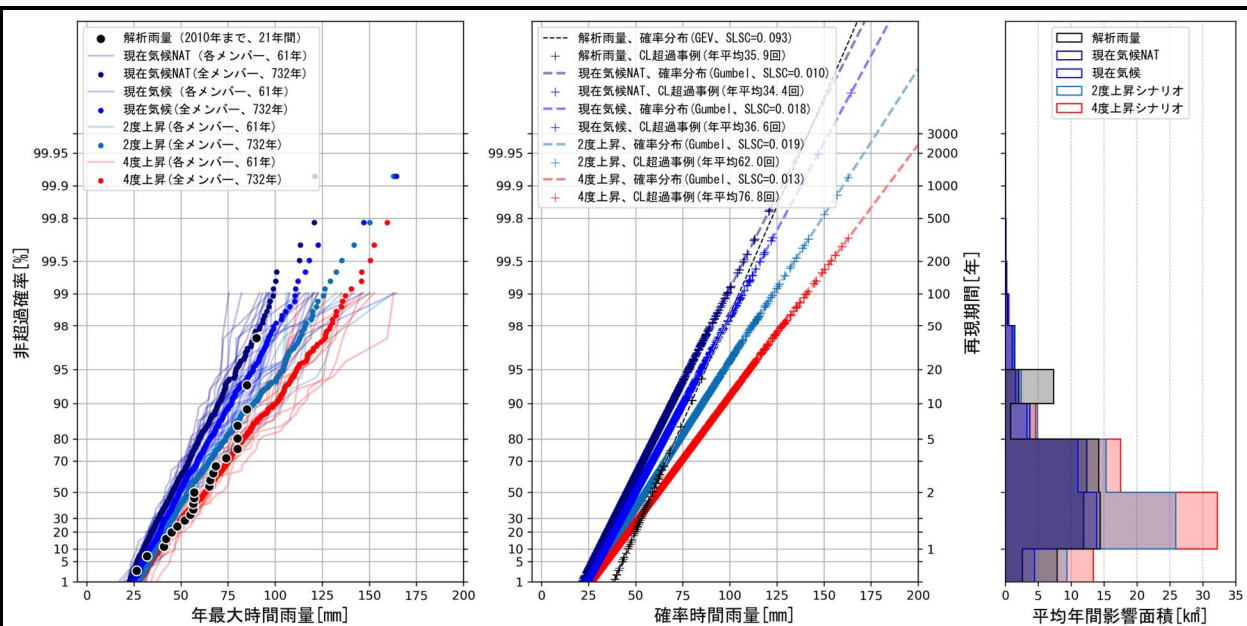


図-6 対象とする200個の3次メッシュにおける年最大時間雨量の観測値と確率降雨量のカナンプロット、および影響面積の頻度分布（影響面積 km^2 ：CLを超過した面積が1平方キロである3次メッシュの個数）

7. 年最大時間雨量に基づく確率降雨量によるCL超過回数の検討について

これまで、土砂災害に関わるスネークラインに着目し、土壌雨量指数および時間雨量の特徴、ならびにCL超過回数の時空間分布について解析を行ってきた。また、再現期間ごとの降雨強度と継続時間の関係性についても明らかにした。これら2つの方向性を繋げるために、再現期間とCL超過回数との関連性を解析することを目的とし、大量のアンサンブルメンバーを有する5kmのd4PDFの利点を活かして、時間雨量に基づく確率降雨量によるCL超過回数、すなわち再現期間別の土砂災害発生リスクの将来変化を評価した。図6に示す結果から、六甲山地において土砂災害警戒情報が発令されるような降雨は、再現期間1年以上の降雨事例が最も多いことが明らかとなった。さらに、非温暖化試験では現在気候と類似した傾向が見られ、第4節の結果とも一致している。2度上昇シナリオでは約2倍、4度上昇シナリオでは約2.5倍の頻度でCL超過が増加することが確認された。これらの成果は、再現期間に基づく土砂災害の将来リスクを定量的に評価できる新たな手法として考えられる。

8. 表層崩壊モデルの開発について

これまで、土砂災害の発生を判別するためにCLを使用してきた。CLは過去の降雨事例によって決定されている手法であり、将来の土砂災害の発生を予測するには、CLだけでは不十分である。本研究の目的は気候変動の影響を考慮した六甲山地における土砂災害リスク（特に表層崩壊）の将来変化を分析することであり、風化した花崗岩地表面層土壌の崩壊特性を反映できる力学的崩壊モデルの開発を目指している。このモデルには、準3次元地下水位モデルと3次元の土壌応力解析モデルの二つの力学的モデルが含まれており、入力された降雨分布の時系列データに基づいて土砂の生成量と位置分布をより精密的に予測することを目的としている。地下水位モデルを構築し、水平方向の地下水位挙動を対象としたモデルの開発は完了している（Wu and Nakakita, 2024）、現在は非飽和帯における土壌水分量の変化に着目し、新たな計算手法の開発を進めている。

9. まとめ

本研究では、過去の災害事例および気候再現実験に基づく降雨事例について、スネークラインの特徴を解析した。また、大量のアンサンブルメンバーを有する5kmのd4PDFデータを活用し、降雨に関する水文極値頻度の再解析を実施した。さらに、CL超過事例については降雨の成因別に降雨特性を分析し、気候モデルのメッシュサイズの違いが降雨タイプの再現性および災害発生に与える影響についても明らかにした。再現期間ごとに、確率降雨量とCL超過回数との関連性を定量的に評価し、水文学的手法を活かして、現行の観測値と領域気候モデルデータを用いた土砂災害の時空間的および統計的な将来傾向を解明してきた。加えて、本研究のもう1つの目的として、物理的な予測手法の高度化を図るため、高分解能の力学的な表層崩壊モデルの開発も進めている。今後は、気候モデルデータをこの崩壊モデルに適用することで、気候変動による土砂災害の将来リスク評価の精度向上が期待される。

⑦研究成果の発表状況・予定

・これまでに発表した代表的な論文

1. Wu, Y.-H., & Nakakita, E. (2024). Numerical modeling of transient water table in shallow unconfined aquifers: A hyperbolic theory and well-balanced finite volume scheme, *Advances in Water Resources*, 193, 104820. doi: 10.1016/j.advwatres.2024.104820
2. Uchida, T., ..., Naka, Y., Wu, Y.-H., et al. (2024) Effects of Climate Change on Sediment Disasters in Japan, Proceedings of INTERPRAEVENT 2024, 57-61.
3. Wu, Y.-H., Yamaji, A., & Nakakita, E. (2024). Application of radial-basis function network to characterize future rainfall prone to sediment hazards in a change climate, *Journal of JSCE*, 12(2), 23-16153
4. Kawase, H., ..., Naka, Y., Wu, Y.-H., et al. (2023) Identifying robust changes of extreme precipitation in Japan from large ensemble 5-km-grid regional experiments for 4K warming scenario, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 128(8), e2023JD038513.
5. Wu, Y.-H., Yamaji, A., & Nakakita, E. (2023) Characterization of Future Rainfall Prone to Sediment Hazards in a Changing Climate Using Radial-Basis Function Network: A Case Study of Rokko Mountain Area. 京都大学防災研究所年報, 66(B), 238-246.
6. Wu, Y.-H., Nakakita, E., & Yamaji, A. (2022). Scaling of snake line change based on Clausius-Clapeyron Relation. 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 78(2), pp.I_97-I_102.
7. Wu, Y.-H., Nakakita, E., & Yamaji, A. (2022). Preliminary investigation of change of snake line pattern based on Clausius-Clapeyron Relation. 京都大学防災研究所年報, Vol. 65(B), pp.204-213.
8. Lee, S.-Y., Wu, Y.-H., & Takemi, T. (2025). Scale correction, verification, and warming attribution of summer rainfall extremes over Japan for the d4PDF climate ensemble, *Hydrological Research Letters*. 【査読中】
9. 呉映昕・中北英一等 (2025) : 気候変動に伴う土砂災害警戒発令の時空間頻度の将来変化に関する考察【投稿予定】
10. Wu, Y.-H., Nakakita, E., et al. (2025). Assessing future landslide risk in Japan from large ensemble 5-km-grid regional climate model experiments 【国際雑誌、投稿予定】

・国際会議、学会等における発表状況

11. Wu, Y.-H., (2025) Assessing future landslide risk in Japan from large ensemble 5-km-grid regional climate model experiments, *AOGS2025* 【国際会議、発表予定】
12. Wu, Y.-H., & Nakakita, E. (2025) Assessing future landslide risk in Japan from large ensemble 5-km-grid regional climate model experiments, 令和7年度砂防学会研究発表会「長野大会」【発表予定】
13. Wu, Y.-H., & Nakakita, E. (2025) Assessing future landslide risk in Japan from large ensemble 5-km-grid regional climate model experiments, 令和6年度京都大学防災研究所・研究発表講演会.
14. 呉映昕 (2024) : 気候変動に伴う土砂災害リスクの将来変化に関する研究, 防災研究所一般研究集会(2024WS-04)【招待講演】
15. Wu, Y.-H., & Nakakita, E. (2024) Assessing future landslide risk in Japan from large ensemble 5-km-grid regional climate model experiments, *AGU Fall Meeting 2024*, US 【国際会議】
16. Wu, Y.-H., Naka, Y., & Nakakita, E. (2024). Characterizing types of rainfall prone to sediment disasters and their future change in the Rokko Mountain in Hyogo, 2024 Annual Conference, 水文・水資源学会／日本水文科学会 2024年度研究発表会.
17. Wu, Y.-H., Naka, Y., & Nakakita, E. (2024). Characterizing Types of Rainfall Prone to Sediment Disasters and Their Future Change in the Rokko Mountain, 令和5年度京都大学防災研究所・研究発表講演会.
18. Uchida, T., ..., Naka, Y., Wu, Y.-H., et al. (2024) Effects of Climate Change on Sediment Disasters in Japan, INTERPRAEVENT 2024. 【国際会議】
19. Wu, Y.-H., Hung, C.-Y., & Nakakita, E. (2023) A Numerical Approach to Model Hillslope Soil Moisture for Predicting Shallow Landslides, *2023 AGU Fall Meeting*, U.S. 【国際会議】
20. Wu, Y.-H., Yamaji, A., Naka, Y., & Nakakita, E. (2023) Assessing Landslide Hazards in a Changing Climate Considering Atmospheric Influences: A Case Study of Rokko Mountain, *AOGS2023* 【国際会議】
21. Wu, Y.-H., Yamaji, A., & Nakakita, E. (2023). Application of radial-basis function network to characterize future rainfall prone to sediment hazards in a change climate, 第68回土木学会水工学講演会.
22. Wu, Y.-H., Yamaji, A., Naka, Y., & Nakakita, E. (2023) Assessing Landslide Hazards in a Changing Climate Considering Atmospheric Influences: A Case Study of Rokko Mountain, 水文・水資源学会／日本水文科学会 2023年度研究発表会.
23. Wu, Y.-H., Naka, Y., Yamaji, A., & Nakakita, E. (2023) Assessment of Sediment Hazards in a Changing Climate Considering Atmospheric Influences: A Case Study of Rokko Mountain, 令和4年度京都大学防

災研究所・研究発表講演会.

24. Wu, Y.-H., Nakakita, E., & Yamaji, A. (2022). Investigating atmospheric temperature influences on landslide hazards in Japan, 2022 AGU Fall Meeting, U.S. 【国際会議】
25. Wu, Y.-H., Nakakita, E., & Yamaji, A. (2022). Scaling of snake line change based on Clausius-Clapeyron Relation. 第67回土木学会水工学講演会.
26. Wu, Y.-H., Nakakita, E., & Yamaji, A. (2022) Preliminary Investigation of Influences of Atmospheric Condition on Occurrence of Sediment Hazard in a Changing Climate, 水文・水資源学会／日本水文学会 2022年度研究発表会.

・主要雑誌・新聞等への研究成果発表

27. 呉映昕・中北英一・仲ゆかり (2024) : 気候変動による土砂災害頻度の増加, 河川, 令和6年6月号 (935号), 第12-14頁

⑧研究成果の社会への情報発信

掲載された情報はない。

2025年5月現在、研究成果について読売新聞から取材のお問合せを受けている。

⑨表彰、受賞歴

該当なし。

⑩技術研究開発の今後の課題・展望等

- ① 本研究の1年目の成果では、新たな提案として、スネークラインの最大範囲（時間降水量及び土壌雨量指数）と、地上気温との関連性を解析した。ここで得られた地上気温との関係式は、リアルタイムの土砂災害早期警戒への応用の可能性があり、予測の高度化にも貢献できるものと期待される。
- ② 2年目の成果では、2023年末に公開された大量のアンサンブルメンバーを持つ5kmのd4PDFデータセットを使用して、IDFを再解析した。このデータを用いることで極値データを確率論的に評価することが可能になった。今後の課題として、各シナリオにおける732年分のデータを対象として個々の降雨イベントの詳細な分析を実施する。さらに、5kmのd4PDFの降雨データを用いて力学的な表層崩壊モデルによる崩壊を予測する予定である。
- ③ 現時点に公開されている領域気候モデルのデータを適用して、土砂災害警戒情報の発令頻度の将来変化と、再現期間による確率降雨量の増加傾向が明らかにした。これにより、水文学の観点から、土砂災害の発生に関わる将来の降雨傾向を示す科学的な根拠を得ることができた。今後は、CL法以外の物理モデルを適用することで、再現期間による土砂災害発生の時空間分布を予測することが可能になると考えられる。
- ④ 本研究で開発した手法は、世界において環境の類似する地域、例えば、台湾や東南アジア諸国に適用することが期待される。

⑪研究成果の河川砂防行政への反映

- ① 本研究の1年目の成果として、六甲山地における気候変動に伴う土砂災害発生状況の将来変化を3次メッシュ単位（1km）で評価することができた。この評価結果を活用することで、六甲山地における土砂災害対策の計画策定にあたり、大いに参考になるものとする。さらに、本評価手法は3次メッシュを対象として一般化されたものであり、全国の他地域においても容易に適用できるものとする。
- ② 本研究では、5kmのd4PDFデータを用いて将来の土砂災害の発生頻度を明らかにした。また、これまでに解析してきた具体的な再現期間による確率降雨量とCL超過頻度の将来変化の傾向は、砂防防災計画の立案においても科学的な証拠になり得ると思われる。