



京都大学防災研究所
Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

拠点研究(一般推進)

2024KG-01

斜面-河川モデルのカップリングによる流域デジタルツインの
構築と土砂・水流出ハザードの確率論的将来評価の試み

Developing a watershed digital twin by
coupling hillslope-channel models for
probabilistic assessment of future sediment
and water runoff disasters

令和 7 年 3 月

March, 2025

研究代表者 松四 雄騎

Coordinator Yuki Matsushi

拠点研究（一般推進）（課題番号：2024KG-01）

課題名： 斜面-河川モデルのカップリングによる流域デジタルツインの構築と土砂・水流出ハザードの確率論的将来評価の試み

研究代表者： 松四雄騎

研究期間： 令和6年4月1日～令和7年3月31日

共同研究参加者数： 12名（所外6名，所内6名）

研究及び教育への波及効果について

流域における土砂移動・水流出を統合的に説明すべく構築を試みた統合モデルは、実測データとの照合により、今後の研究指針に重要な示唆をもたらした。また、本研究の実施途上で発生した奥能登豪雨災害に関する多角的調査は、日本地球惑星科学連合 2025 年大会でのユニオンセッション「連鎖複合災害に対峙する人間圏：能登半島豪雨災害の総合科学」の主催に繋がった。各地への調査には大学院生を帯同し、現地での調査法指導や議論を通じて、確実な教育波及効果が得られた。

研究報告：

(1) 趣旨・目的

本研究では、申請者らによって開発が進められてきた斜面の表層崩壊による土砂生産モデル、降雨-流出-氾濫モデル、土石流の流下・堆積モデルを組み合わせることで、山地流域のデジタルツインを構築し、革新的な水・土砂複合災害ハザードの評価・可視化システムを開発する。このシステムでは、斜面から河道への土砂供給量と水の流出ハイドログラフを、それぞれ地形学的あるいは水文学的な物理則に基づいて評価し、それらを河川・砂防工学的な土砂と水の流動シミュレーションに対する入力として利用する。計算に使うパラメータは、実測に基づいて得るが、その値には実際の計測誤差や空間不均質性に由来する不確かさをゆらぎとして与え、多数回の試行計算に基づくアンサンブル解析を行う。これにより、土石流や土砂・洪水氾濫により被災する可能性のある領域を、地理情報システム上に確率密度分布として可視化することが期待できる。

(2) 研究経過の概要

斜面における風化帯発達に関するモデルと流域の降雨流出変換機能に関するモデルを組み合わせ、洪水流出の説明を試みた。また、風化帯・水文・森林モデルをカップリングさせることで、斜面からの土砂生産に関するアンサンブル解析を行った。土砂生産特性の地域性を説明するモデリングはできたものの、流出ハイドログラフを良好に再現できる統合モデル体系の構築に至らなかったため、将来気候を想定した流域外への土砂・流木流出のアンサンブル解析には到達せず、沖積錐上でのハザードの可視化には至らなかった。本研究の途上で 2024 年奥能登豪雨災害が発生したため、水文地形災害の実態を把握する契機と捉え、現地調査と災害要因解析を展開した。

(3) 研究成果の概要

まず、流域における水循環と土砂生産の場の条件をつくる岩盤風化帯の構造と物性の時空間変化を推定するモデルを構築した。このモデルは、斜面における土層の発達モデルとカップリングされ、流域内の任意斜面における風化岩盤と土層の厚みの空間分布を推定できるようになった。モデルは日本の複数地域における花崗

岩類を基盤とする山地流域に適用され、現地地質踏査や地盤調査によって妥当性を確認した。次に、モデルによって推定された地盤の構造と物性を場の条件として、地下水の貯留と流出に関するモデリングを行った。土層中での間隙水圧上昇による表層崩壊の発生については、現況をおおむね再現できる良好な結果を得たが、洪水流出ハイドログラフの波形を再現することは難しく、流域の降雨流出変換機能の完全度の高いモデル化には至らなかった。これは、地下水の貯留と流出における風化岩盤寄与の実相に未解明の部分が多く、地盤の濡れの状態に依存した土壌水と岩盤地下水の水理的接続における非線形性が十分に定式化できていないためと考えられた。そこで、ボーリングによる岩盤コアと孔内水位のデータが得られる流域について、降雨と水位および流出の対応関係を説明すべく解析を進めたが、水文モデルの構築は途上にある。

奥能登豪雨災害の実相調査の結果、2024 年能登半島地震による地盤変状の程度や様態が、地質条件に依って大きく異なり、それがのちの降水浸透に伴う斜面変動の発生場や規模に強く影響していることが判明した。これは斜面災害の予測において、岩盤風化帯の構造と性状に関する定量的モデリングの重要性を再認識させるものとなった。流域デジタルツイン構築は未だその途上にあるのが現状であるが、能登半島地震の数か月後に発生した豪雨災害は、土砂災害の素因をもつ山地流域に、誘因としての任意の降雨がもたらされた場合の水・土砂複合災害ハザードの時空間的拡がりを定量的かつ視覚的に提示できるような、研究者—行政機関—地域住民間のリスクコミュニケーションツールの必要性を改めて顕在化させた。本研究で組織したような分野横断的な研究者による学際的体制と複合融合的な研究アプローチに基づく流域デジタルツイン開発により、確度・精度の高い警戒・避難想定が可能となり、山麓居住域での土砂災害リスクの認知・共有が進むことで、対象地域の土砂災害レジリエンスを飛躍的に向上させることが望まれる。

(4) 研究成果の公表

松四雄騎（2024）2024 年能登半島地震による斜面変動と連鎖複合災害—予察と展望—。京都大学防災研究所年報 67A, 131-140.

松四雄騎（2024）豪雨による表層崩壊のハザード評価—地形・水文・森林の統合モデリング—。森林科学 102, 15-18.