

山地河川における洪水のタイミングは 地形によらず流域の大きさが強く規定する

観測が難しく河川流出データが乏しかった、起伏が大きい中規模な山地流域で、洪水時の水位変動データを多地点で取得することに成功しました。低起伏山地における既往研究との比較から、洪水の伝播は、地形の起伏に関わらず流域面積など流域の規模の影響を強く受けることが判明しました。

気候変動により激甚化している土砂災害の予測精度を向上させる上で、山地における雨水流出の実態把握は重要な課題です。このため、国内外の数多くの山地で洪水の観測が実施されてきました。しかし、起伏が大きい山地では、河川流量が少ない小規模流域（流域面積1 km²以下）にデータが限定されていました。急勾配かつ水・土砂の流出が激しい中規模流域（同1~10 km²程度）は観測が難しく、データがほとんど得られていません。

本研究では、国内の代表的な大起伏山地である中部山岳域にある筑波大学・井川演習林（静岡県）を対象に、流域面積が約0.2~9.0 km²の互いに隣接する7流域群において観測を実施しました。

流水に直接触れずに水位を計測する超音波水位計の導入で観測機器の流失リスクを下げ、観測精度に大きな影響を及ぼす河道地形の変動が起きにくいサイトを選定することで、大起伏山地における洪水時の河川水位データを集積することができました。得られたデータから、雨水の流出を特徴づけるピーク遅れ時間（降雨ピークと流出ピークの時間差）を解析した結果、流域面積が大きいほどピーク遅れ時間が長くなる傾向が認められました。解析結果を低起伏山地の既往研究と比較したところ、流域面積が同規模の流域間でピーク遅れ時間の特徴が類似しました。すなわち、ピーク遅れ時間は起伏の大小に関わらず流域規模の影響を強く受けており、斜面が長大な山地であっても、斜面が短い山地と同じくらい速く洪水が下流へ伝播することが示唆されました。

本研究結果は、これまで実態が把握されてこなかった大起伏で中規模な山地流域の雨水流出プロセスの解明につながり、土砂災害の発生予測精度の向上に寄与することが期待されます。

研究代表者

筑波大学大学院生命地球科学研究群環境科学学位プログラム

羽鹿 孝文

筑波大学生命環境系山岳科学センター

山川 陽祐 助教

研究の背景

近年、気候変動により豪雨や土砂災害の頻度・規模が増大しています。土砂流出は山地河川の流量に強く支配されるため、山地流域で生じる土砂災害の予測精度向上には、降雨と河川流出の応答関係について、流域における時空間分布も踏まえた実態を把握することが必要不可欠です。これを目的とした数多くの水文観測研究が国内外で実施されてきました。しかし、起伏が大きい山地では、河川流量が少ない、流域面積^{注1)}が1 km²以下の小規模な流域に限定されています。例えば国内でも、中部山岳域に代表される大起伏^{注2)}かつ中規模の流域^{注3)}においては水文観測が困難でした。水・土砂の流出が激しく観測機器が破壊・流失することがあるため、基礎的なデータが不足しているという課題がありました。

そこで本研究チームは、降雨と河川流出の関係性を特徴づける指標の一つである、ピーク遅れ時間^{注4)}に着目しました。流出（水位変動）のピーク時刻の観測は、流量の観測に比べて機材の設置やメンテナンスが容易でデータ欠測のリスクも小さいため、特に多地点で同時に洪水時のデータを得るには有効な手法であると考えられます。

研究内容と成果

本研究では、中部山岳域の南アルプス南部に位置し、典型的な大起伏山地に分類される静岡県大井川上流域の筑波大学井川演習林において試験流域を設定し、雨量観測と河川水位観測を実施しました（図1、図2）。当該地域は急峻な地形と脆弱な地盤が特徴で、年平均降水量が3000mm程度と多雨地域であることから、とりわけ水・土砂の流出が激しい環境にあります。

河川での水位観測の実施にあたっては、流水に直接触れずに水位を計測する超音波式水位計の採用（図1）などにより観測機器の流失リスクを下げ、また、観測精度に大きな影響を及ぼす河道地形の変動が起きにくいサイトを選定しました。これにより、これまで観測事例が少なかった大起伏かつ中規模にあたる5流域を含む流域面積0.16-9.01 km²の7流域で洪水時のデータ集積に成功しました。具体的には、最大時間雨量31 mm/時間、最大日雨量199.5 mm/日の比較的規模の大きな降雨を含む2年間の水位変動データが取得できました。観測データから各流域におけるピーク遅れ時間の頻度分布を解析した結果、流域面積が大きくなるほどピーク遅れ時間が長くなる傾向が認められました（図2）。加えて、流域面積1 km²以下の小規模流域ではピーク遅れ時間により大きなばらつきがあることが明らかになりました（図2）。

本研究で得られた結果を、本研究同様にピーク遅れ時間を適用したAsano *et al.* (2018)の研究結果と比較しました（図2）。Asano *et al.* (2018)は、比高^{注5)}が本対象地の約1/3と相対的に低起伏な静岡県伊豆半島の計16流域（0.14-4.54 km²）について、ピーク遅れ時間の実態を報告しています。

大井川上流域と伊豆半島で、同等スケールの流域毎にピーク遅れ時間を比較した結果、ピーク遅れ時間の頻度分布の傾向は伊豆半島でも概ね一致しました。このことから、洪水時のピーク遅れ時間に及ぼす起伏の大小の影響は小さく、流域面積など流域規模の影響が強いことが示されました。すなわち、洪水流出の下流への伝播において地形の影響は意外にも小さく、斜面が長大な山地であっても、斜面が短い山地と同じくらい速く洪水が伝わると考えられます。その上で、相対的に流域面積が小さい流域では、ピーク遅れ時間により大きなばらつきが生じ、大井川上流域と伊豆半島の比較におけるピーク遅れ時間の頻度分布傾向についても一定程度の相違が見られました。この要因として、小規模流域は地下水^{注6)}の流出の影響を大きく受けている可能性が示唆されました。

今後の展開

本研究では、これまで観測事例が乏しかった大起伏山地における洪水流出に関するデータが取得できました。今後、継続的にこのような水文データを蓄積するとともに、より詳細な地形指標を取り入れた解析を進めていきます。さらに、水質トレーサーや、特に岩盤内部の深い地下水を対象としたボーリング井戸などを用いた水挙動の調査も実施していきたいと考えています。そのような観測データの蓄積によって、降雨と水流出の関係性やそのメカニズムがより実証的に解明されることが期待されます。

参考図



図1 河川水位観測の様子（筑波大学井川演習林内）

本研究で観測対象とした流域面積 9.01 km^2 の観測点における超音波式水位計を用いた観測の状況。岩盤が露出した小さな滝状地形のため、堆積土砂による水位観測への影響が小さい。

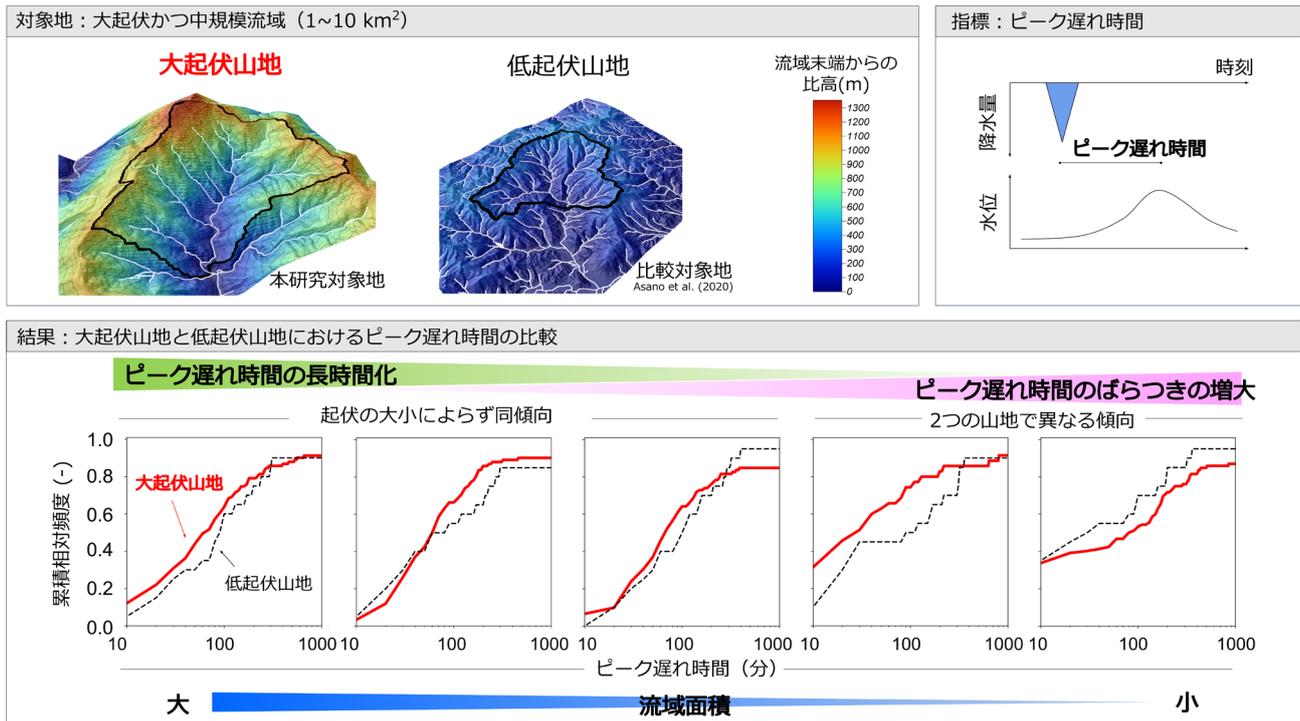


図2 本研究の概略図

本研究の対象地とした流域は、比高が1000 mを超える大起伏山地である（図2左上）。比較対象である低起伏山地は、比高が最大でも435 mで、本研究対象地に対して高々約1/3程度である。本研究では、降雨ピークと水位ピークの時間差であるピーク遅れ時間を降雨と河川流出の関係性を特徴づける指標として適用した（図2右上）。概ね起伏の大小によらず、流域面積が大きくなるほどピーク遅れ時間が長いイベントが多く、流域面積が小さくなるとピーク遅れ時間のばらつきが顕著になった（図2下）。

用語解説

注1) 流域面積

ある点について、降水が流れ込む範囲の面積。

注2) 大起伏山地

大起伏山地の定義は明確でないが、ここでは流域の最低標高点と最高標高点の標高差を、その2点間の距離で割った値を起伏率とし、起伏率がおおむね0.4以上の山地を大起伏山地とした。

注3) 中規模の流域

本研究においては、流域面積が1～10 km²の流域を指す。

注4) ピーク遅れ時間

降雨ピークと流出ピークの時間差で、降雨と水流出の関係性を特徴づける指標の一つ。

注5) 比高

流域の最低標高点と最高標高点の標高差。

注6) 地下水

広義には、地表面より下に存在する水。狭義には、地下水面より深く、土中の間隙が水で満たされている領域にある水。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト（JP19H02989、JP20H03019、JP23H02246）の一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 Spatial distribution of rainfall–runoff characteristics and peak lag time in high-relief meso-scale mountain catchments where observations are scarce.

（観測事例の乏しい中規模の大起伏山地における降雨流出特性とピーク遅れ時間の空間分布）

【著者名】 羽鹿孝文（筑波大学大学院生命地球科学研究群環境科学学位プログラム）、山川陽祐（筑波大学生命環境系山岳科学センター）、内田太郎（筑波大学生命環境系）

【掲載誌】 *Hydrological Processes*

【掲載日】 2024年6月2日

【DOI】 10.1002/hyp.15177

問合わせ先

【研究に関すること】

山川 陽祐（やまかわ ようすけ）

筑波大学生命環境系 助教

URL: <https://pen.envr.tsukuba.ac.jp/~ryuiki/ja/>

<https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000003468>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp