

大起伏山地における連続水文観測に基づく降雨流出特性の把握

筑波大学 生命地球科学研究群 ○中村 美結

筑波大学 生命環境系 内田 太郎、山川 陽祐、Suneth Neranjan

1 はじめに

流域の洪水発生機構に関しては、降水が溪流に到達するまでに貯留される場所（１）、たどる経路（２）、要する時間（３）の３点に注目し多くの知見が蓄積されてきた¹⁾。しかし、急峻な山地河川は形状が複雑で地形変化も著しく、降雨時の観測が困難であり、流域面積 0.1~10 km² の災害リスクの高い流域での観測データが特に少ない²⁾。本研究では、観測データの少ない大起伏山地における連続観測を実施し、課題（１）の解明に資する流出特性の把握を試みた結果を報告する。

2 対象流域、調査・解析手法の概要

大井川水系東河内川流域を対象とした（図１）。地質は付加体堆積岩でほぼ均質、流域面積は 0.16~5.5 km²、比高は 683~1,222 m である。流域面積の大きい順に A~G と名付けた 7 つのサブ流域の末端にて、水位と EC を 1 分、5 分間隔で観測した。10 分間雨量は東河内川流域のおよそ中央で観測した。

大起伏山地における多地点での連続観測を実現するため、連続データの取得が比較的容易な水位と電気伝導率（以下 EC と表記）を観測した。従来、流出源を推定するためのトレーサーとしてはシリカ、塩化物イオンなど溶存成分の濃度が用いられることが多いが、現地で連続的な採水が必要となる。これに対し、EC は溶存イオンの総量であり、融雪地帯や地すべり危険区域など厳しい現場における高い時間分解能での連続観測に多く用いられてきた³⁾。一般に地下水が流動する過程で岩石から溶出するイオンを取り込むことから、滞留時間が長い地下水ほど EC の値が大きい傾向にある⁴⁾。そこで、本研究では渓流水の EC は、基底流出時には各流域の流出起源の深浅を、降雨時には全河川流出に占める event water の割合（以下 EWR と表記）を示す指標であると考え、検討を行った。

EWR の導出には、河川流出は pre-event water と event water の 2 成分の混合によって形成されるという仮定のもと、Cano-Paoli *et. al.*, (2019)³⁾の方法に準じた。event water の EC には、一年を通して概ね一定であると仮定し、雨量観測点で貯留採水した林外雨の EC を使用した。また、pre-event water の EC には降雨発生直近の 12 時間に各流域で観測された EC の平均値を降雨イベントごとに使用した。EWR は同地点で観測を実施した水位のピーク時を対象に算出した。

3 基底流出時における流出起源の深浅には空間分布がある

冬季を除き 2022/04/11~2023/12/15 まで約 17 か月間観測した水位データから基底流出期間抽出した（図 2）。基底流出時の EC は A、D、G で比較的高く、B、C、E、F で低い傾向で、EC と流域面積の関係は明瞭ではなかった。さらに、同程度の流域面積を持ち、同じ岸に位置する隣接流域 DE や FG でもそれぞれ中央値で 42 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 、127 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の大きな差が生じた。すなわち、先行研究で示された、同様の地形や地質でも、土壌や岩盤中の水流出プロセスの違いにより水流出量や水質形成が異なる⁵⁾ことに一致する結果となった。

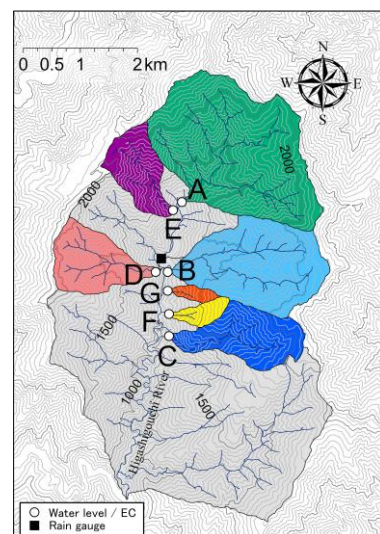


図 1 対象流域図

等高線の間隔は 50 m。

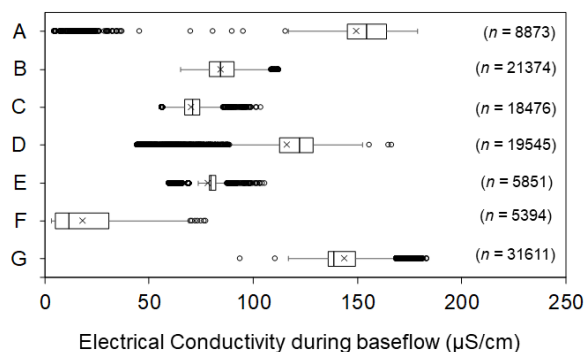


図 2 基底流出期間の EC の箱ひげ図

×プロットは平均値。○プロットは外れ値。四分位範囲を IQR、第 1 四分位数を Q1、第 3 四分位数を Q3 として、外れ値は $Q1 - 1.5 \times IQR$ より小さい値と、 $Q3 + 1.5 \times IQR$ より大きい値とした。

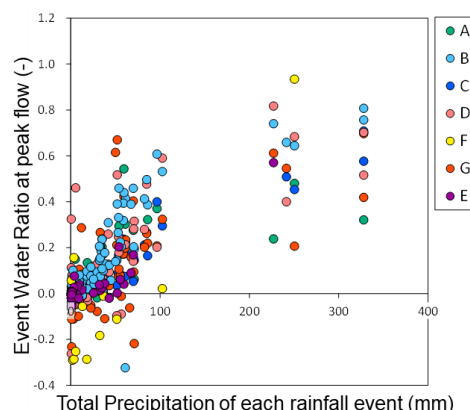


図 3 総雨量に対する EWR の分布

4 総雨量の増加に伴って水位ピーク時 EWR は上昇

イベント期間の水位ピーク時の EWR と各降雨イベントの総雨量を比較した (図 3)。総雨量 100 mm 程度までは総雨量の増加に伴い EWR は上昇したが、100 mm を超えると上昇幅は小さくなった。同じイベントでも流域間のばらつきが大きく、降雨イベントによらず流域 B で大きく、流域 A、G で小さい場合が多かった。

5 EWR 変動の決定要因は総雨量のみか？

外力特性である総雨量の影響を除き、場の特性の違いが EWR の変動にどう影響するかを検討した。

5.1 流出源の深度方向の違いの影響

基底流出時の EC を流出起源の深浅の指標として、EWR との関係进行分析した (図 4)。総雨量が同程度の各グループにおいて、流域ごとの EWR の平均値は基底流出時の流出起源の深浅とあまり相関がみられなかった。ただし、比較的浅い層からの流出が卓越していた流域 B、C、E は総雨量の増加に伴う EWR の上昇幅が大きく、大雨時には event water が渓流水にすばやく寄与すると推測できた。一方で、比較的深い層に流出起源をもつ流域 A の EWR は大きく上昇せず、大雨時にも深い層で貯留された成分の流出が卓越すると考えられた。

5.2 流域の平面方向の広がりの影響

流域面積と EWR の関係を整理した (図 5)。総雨量が同程度の各グループにおいて、流域ごとの EWR の平均値は流域面積ともあまり相関がみられなかった。ただし、流域面積が 0.30、0.16 km² の小流域 F、G では総雨量の増加に伴う EWR の上昇幅が小さく、大雨時にも貯留されていた水が押し出されるように流出している可能性が示唆された。さらに調査対象で最大の流域面積 5.5 km² を持つ A では、大雨時の EWR は流域面積が小さい F、G より小さく、岩盤地下水など深い層の地下水の寄与の可能性が考えられた。一方、流域面積が 1.1~3.1 km² の B、C、D、E の EWR は大雨時には比較的大きく上昇したことから、event water のうち直接河道に流入した成分の渓流水への寄与割合が大きいく、もしくは斜面の浅い層を通して素早く流出するプロセスが卓越している可能性が示唆された。

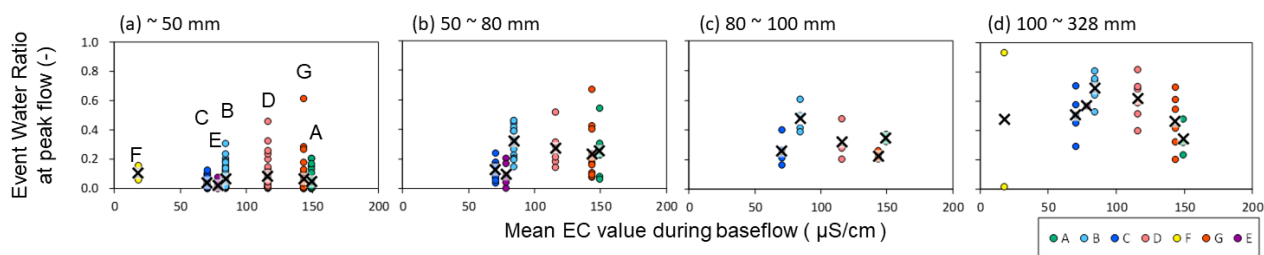


図 4 基底流出時の流出起源の深浅に対する水位ピーク時 EWR の分布 (×プロットは平均値)

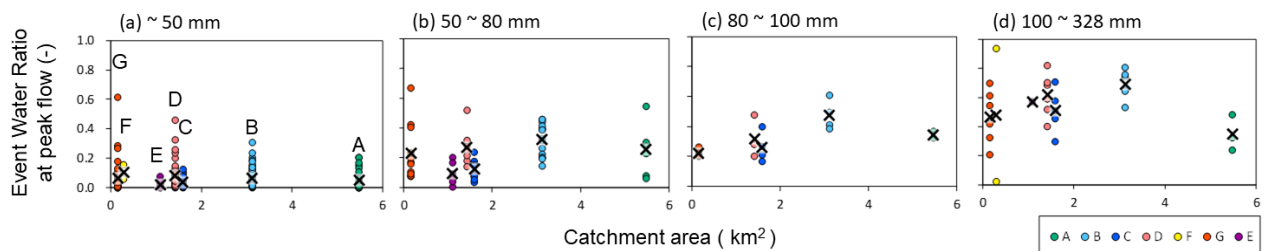


図 5 流域面積に対する水位ピーク時 EWR の分布 (×プロットは平均値)

6 おわりに

本研究では大起伏な山地における現地水文観測データを比較簡便な手法を用いることで蓄積し、隣接する複数流域の基底流出時と降雨時の両者における流出源の把握を試みた。水位ピーク時の EWR は総雨量の増大によって上昇したが、同程度の総雨量の時の EWR は基底流出時の流出起源の深浅とも平面方向の広がり (流域面積) とあまり相関がみられなかった。一方で、総雨量の増加に伴う EWR の変動の仕方は流域ごとにばらつきがあったため、流域間の流出特性の違いの決定要因を検討することは今後も課題である。

7 参考文献

- 1) 浅野 友子・内田 太郎・ジェフリー マクドネル: Variable Source Area Concept の次なる斜面水文過程の概念構築に向けた近年の試み: 斜面に降った雨はどこへ行くか?, 水文・水資源学会誌, 18 巻 4 号, p.459-468, 2005
- 2) 浅野 友子: 日本の山地流域の降雨流出データ, 水文・水資源学会誌, 27 巻 1 号, p.14-282, 2014
- 3) Karina Cano-Paoli・Gabriele Chiogna・Alberto Bellin, Convenient use of electrical conductivity measurements to investigate hydrological processes in Alpine headwaters, Science of The Total Environment, Volume 685, p.37-49, 2019
- 4) 地頭蘭 隆, 渓流水の電気伝導度を用いた深層崩壊発生場の予測, 砂防学会誌, 66 巻 6 号, p.56-59, 2014
- 5) 五味 高志, これまでの森林水文観測と今後, 水文・水資源学会誌, 31 巻 6 号, p.560-567, 2018