

大起伏の中規模流域における出水イベントへの貯留関数法の適用性

筑波大学生命環境系 ○山川陽祐・内田太郎
国土交通省 北本 楽

1. はじめに

近年、長大な降雨イベントの増加に伴う土砂・洪水氾濫の発生リスクが高まっている。その対策を進める上で、数～数十 km²の中規模の山地流域における豪雨時の流出予測技術の開発が重要となる。しかしながら、この規模の流域ではアクセスの悪さや激しい水・土砂流出のために、基礎データとなる豪雨時の流量すらデータ蓄積が乏しい現状にあり、とりわけ大起伏の条件下ではデータが限られる。栗原ら (2022a, b) は、流域面積 87 km²の福島県・内川流域を対象として、2019年の台風 19 号によって実際に土砂・洪水氾濫が発生した大規模な出水について、流量データ取得に成功し、過去の中～大規模の出水（未発災時）イベントを用いて貯留関数法のパラメータ同定を行うことによって、一定程度の精度で流量を再現できる可能性を示した。ここでは、貯留関数法が鉛直浸透仮定を踏まえた物理的根拠を有するとの谷 (2015) や Tani *et al.* (2020) などの指摘に基づき、「山地流域において降雨規模が大きく、流域全体が湿潤になって流出寄与域が流域全体に拡大するなど一定以上の降雨時には、貯留量と流量の関係は流域の場の条件で決まる固有の関係を有している」との仮定のもとに検討がなされた。貯留関数法は、集中型の流出解析モデルであるが故に、流域面積が一定程度大きくなった場合に降雨分布の取り扱いについては考慮が要るものの、上記の知見を踏まえ、特に大規模な出水を対象とした高精度な流出予測に向けて、その適用性について改めて検討が重要になりつつあると考えられる。

以上を踏まえ、本研究では、典型的な大起伏山地を対象として、特に洪水時の流量データの蓄積を行うと共に、豪雨時の高精度な流出解析手法の検討として、貯留関数法の適用性を検証した。

2. 手法

静岡県・大井川水系上流に位置する東河内沢における 9.03 km²の流域を検討対象とした。当該流域の起伏率は 0.4、年間平均降水量は 3,117 mm (2017 年～2020 年の平均値) であり、そのほとんどが降雨によるものである。基岩が露出した狭窄地形の流域末端において超音波距離計 (QT50ULB, Banner 社製) を用いた非接触での水位観測 (5 分間隔) を行い、既取得の水位-流量曲線に基づき流量を求めた。なお、本検討では、観測期間の出水イベントのうちピーク流量が 2.0 mm/h 以上の規模の出水を対象とした。

貯留関数法は、木村 (1962) によって提唱された以下の式 (1) および式 (2) が基本となっている。式 (1) は流出-貯留関係、式 (2) は水収支を表す。

$$S = kq^p \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$dS/dt = r - e - q \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 S : 単位面積あたりの貯留高 (mm), r : 降雨強度 (mm/h), e : 蒸発散強度 (mm/h), q : 単位面積当たりの流出高 (mm/h), t : 時間 (h), k および p : 定数である。降雨直後の減衰過程を対象とし、蒸発散が無視できると仮定すると、水収支式は式 (3) のように簡単になる。

$$dS/dt = -q \quad \dots \dots \dots (3)$$

一般的に貯留関数法の適用においては、式 (1) 中の p および k に加えて初期貯留高を同定する必要がある。しかしながら、そもそも初期貯留高の評価は困難であり、またその同定は、 p および k の同定ならびに流出高の計算結果に影響することが指摘されている。そこで、小島・谷 (2018) および栗原ら (2022a) に倣い、初期貯留高を設定せず、流出量の変化から貯留量の変化を求める手法を適用した。具体的には、式 (1) および式 (3) から導かれた式 (4) に基づき、ここで $a = 1/(kp)$, $b = 2-p$ であることから、 q と dq/dt のデータプロットへの式 (4) のフィッティングにより k および p を求めた。

$$-dq/dt = aq^b \quad \dots \dots \dots (4)$$

なお、本解析を行う上で、低流量のデータ数が相対的に多いことが本解析に影響することが考えられる。そこで、各逓減期間の流量データについて、一律の方法でデータ間引き処理を行った。上記の方法で同

定した貯留関数法のパラメータを用いて、降雨および流量高の規模の異なる計6期間（期間 (i), (ii) : 小規模 ; 期間 (iii), (iv) : 中規模 ; 期間 (v), (vi) : 大規模）の出水を対象として、貯留関数法による流出量の再現計算を行った。計算時間間隔は10分とし、初期流量高は各イベント期間の降水開始前の流量高を与えた。遅れ時間については考慮しなかった。

3. 結果と考察

観測期間中のピーク流量が 2.0 mm/h 以上の観測イベント数は 23 回, 最大規模のイベントは 2019 年 10 月の台風 19 号による累積雨量 433 mm (降雨継続時間: 約 20 時間), 最大ピーク流量 34.5 mm/h であった。

パラメータの同定結果は、 $p=0.34$, $k=59.37$ となり、 p は山地河川で一般的とされる 0.3 に近い値となった。期間 (i) ~ (vi) について、それぞれ、これらの同定パラメータにより貯留関数法で算出した流出量および観測流量を図 1 に示す。大規模の期間 (v) および期間 (vi) については、概して比較的良好に観測値が再現された。特に最大ピーク流出高の値と時刻については、極めて良好に再現された。ただし、最大ピーク後 1 日後以降については過小評価の傾向となった。一方で、それ以外のイベント期間事例では、大規模イベントの期間に比べて、全体的に再現精度が低い結果が確認された。特にピーク流出高については時刻の再現精度は良好なもの、流量については過大評価が顕著であった。連続的な降雨イベントであった期間 (iii) については、最初のピークの再現精度は高かったものの、後続ピークについては過大評価となった。すなわち、中規模以下のイベントに対しては、精度向上のため降雨規模に応じたパラメタリゼーションが必要と考えられる。この結果から、大起伏である当該流域を対象とした場合でも、栗原ら (2022a, b) の「山地流域において降雨規模が大きく、流域全体が湿潤になって流出寄与域が流域全体に拡大するなど一定以上の降雨時には、貯留量と流量の関係は流域の場の条件で決まる固有の関係を有している」という仮定に基づく貯留関数法の有効性が支持されると考えられる。

引用文献

木村, 1962, 土木技術資料, Vol.4, No.1, p.41-51 ; 小島・谷, 2018, 水文・水資源学会誌, Vol.31, No.2, p.95-106 ; 栗原ら, 2022 a, 砂防学会誌, Vol.74, No.6, p.20-31 ; 栗原ら, 2022 b, 砂防学会誌, Vol.75, No.2, p.3-10 ; 谷, 2015, 水文・水資源学会 2015 年度研究発表会要旨集, p. 100033- ; Tani *et al.*, 2020, Journal of Hydrology, 588, 124982.

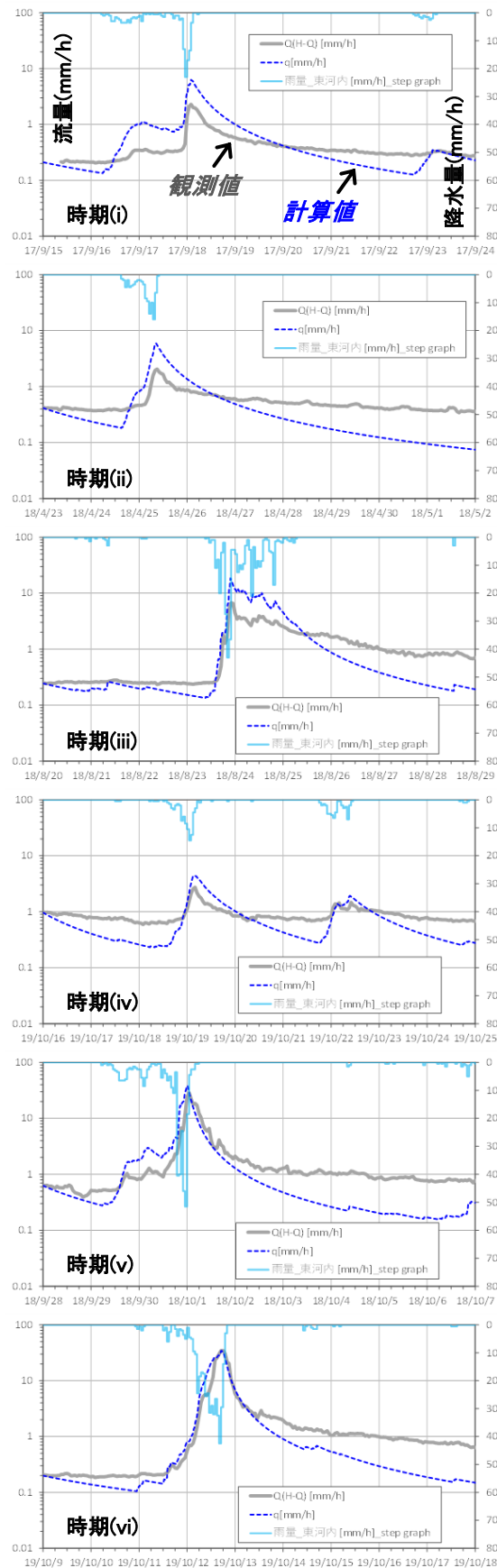


図-1 観測流量と計算流量