

急峻で比較的規模の大きい山地流域の洪水流出に関するデータ収集と分析

株式会社気象工学研究所 ○友村光秀、佐藤悠
国土技術政策総合研究所 内田太郎、松本直樹、蒲原潤一

1. はじめに

山地流域の流出特性を把握することは、砂防計画の立案、総合土砂管理、天然ダム等の危機管理などの上で、きわめて重要である(千葉・水山、2013)。しかしながら、山地流域の流出機構は様々な流出経路、流出機構が影響を及ぼすため、各種の流出モデル、流出解析法が提案・構築されているにもかかわらず、山地流域の流量を降雨量から精度良く予測することは依然として難しい。山地流域の降雨流出応答の把握については、詳細な斜面、小流域観測に加えて(内田、2004)、比較水文学的なアプローチが用いられてきた(例えば、虫明ら、1981)。しかし、これまでの比較水文学的な研究の多くは、流況、水収支に着目したものが多く、降雨時の応答について比較検討したものは必ずしも多くない。

著者らは、全国の山地流域の雨量・流量データを収集し、豪雨時の降雨に対する流出率に着目し、山地流域の流出率をコントロールする要因について分析を行ってきた(内田ら、2013)。さらに、天然ダム形成時など十分な観測データがない場合であっても、ある程度の精度で流出率等の予測が可能になるよう、タンクモデルや千葉・水山(2013)で示された手法を用いて、パラメータの範囲やパラメータと地形量、地質の関係に関する検討を行った(内田ら、2014)。

しかし、急峻で比較的規模の大きい(数 km^2 ~ 数 10km^2) 山地上流域で、面的に多数の観測箇所での流量観測されている流域は限られており、同じ降雨イベントに対して、流域特性の違う流域からの流量を直接比較したり、流出モデルによる流域内部の流量の再現性を検討した事例は少ない。そのため、流域の代表地点で同定されたパラメータにより、流域内部や周辺流域の流出特性をどの程度評価できるかについては、十分な知見があるとは言い難い。すなわち、例えば、下流域の流量観測結果に基づき流出解析の係数を同定した場合に、上流域のハイドログラフが予測・推定できるか? 否かという問題に十分な回答が得られないのが現状である。

本研究では、山地流域内において、数少ない上・下流で流量観測がなされている流域を中心に雨量・流量データを収集し、貯留関数法による流出解析を行い、同定したパラメータと流域特性の関係を検討するとともに、分布型流出モデルを用いて流域内部の流量の再現性を検討した。

2. データと方法

2.1 対象流域と雨量・流量データ

水文水質 DB (データベース) および国土交通省の直轄砂防事務所で取得された流量データから、流域面積 100km^2 以下で(下流流域を除く)、上流ダム等の人為的な影響が少なく、上・下流に流量データがある流域を優先して 39 流域を選び、地形特性等を整理した。このうち、流量の精度等を考慮して 31 流域について流出解析を行った。対象降雨は、降雨規模の大きい(概ね 200mm 以上)ものを選び、貯留関数法では周辺の雨量観測所(水文水質 DB、アメダス)によるティーセン雨量、分布型流出モデルではレーダアメダス解析雨量を用いた。

2.2 流出解析手法とパラメータの同定

流出モデルは木村の貯留関数法(単流域)及び立川ら(2004)のモデルを構造的モデル化システム(OHyMoS)を使って構築した分布型流出モデルを用いた。分布型流出モデルの地形モデルは、 250m メッシュ標高を基に落水線を設定している(図-1)。

パラメータの同定は、貯留関数法では k, p 、一次流出率 f_1 、飽和雨量 R_{sa} 、遅滞時間 T_l 、分布型流出モデルでは森林域の斜面の粗度係数 n_2 、飽和透水係数 k_a 、大空隙量 d_a 、マトリクス空隙量 d_m 、マトリクス部と重力部の透水係数比 b について、SCE-UA 法を用いて同定した。評価指標は、観測値と計算値との二乗平均平方根誤差(RMSE)、同定の際の初期値は、貯留関数法では、 k, p, T_l は永井ら(1982)の式、 $f_1=0.1$ 、 $R_{sa}=50$ を用い、分布型流出モデルは、 $n_2=0.6$ 、 $k_a=0.03$ 、 $d_a=0.14$ 、 $d_m=0.13$ 、 $b=4$ を用いた。

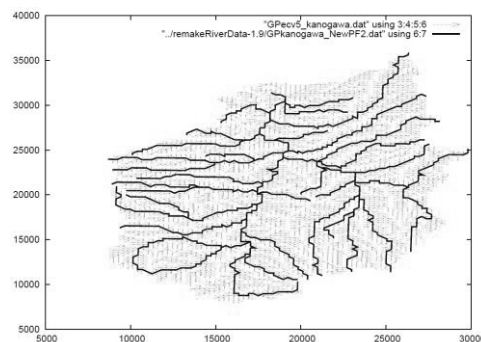


図-1 分布型流出モデルの
河道網と落水線(狩野川流域)

3. 結果と考察

3.1 上・下流域の流出特性

流出率やピークの遅れ時間、ピーク比流量などの流出特性は、降雨状況や地形特性等が総合的に反映されるので、明確な関係は見つけにくい。傾向としては、流域面積が大きくなると流出率が小さくなり、ピークの遅れ時間は長くなり、ピーク比流量が小さくなる。図-2 にピーク比流量と流域面積の関係を示す。逆の関係

を示す渡川、本明川の事例は、下流域の流域平均雨量強度が上流域よりも強かったことによる。

3.2 上・下流域の貯留関数法のパラメータ

上・下流のパラメータと流域面積との関係は、流域面積が大きくなるにつれて p 、 Tl が大きくなり、 $f1$ が小さくなる傾向が認められたが、例外も多い。図-3 に p と流域面積の関係を示す。狩野川、渡川、菊池川は上記の関係が認められない。

3.3 分布型流出モデルの再現性

図-4 に狩野川流域千歳橋 (390km²) の分布型流出モデル

による再現結果を示す。図には貯留関数法による再現結果も併せて示した。また、図-5 は千歳橋の上流、城川下流無名橋 (4.5km²) の再現結果とさまざまなパラメータによる比較図である。千歳橋で同定したパラメータでは、観測流量の半分程度のピーク流量であり、流域内の部分流域でも流出特性が異なることがわかる。

4. まとめと今後の課題

本研究で得られた成果は、以下の通りである。

①貯留関数法のパラメータは降雨状況の影響も受け、地形等の流域特性との関係はあまり明らかでないが、同じ流域内であっても上・下流で観測された流量を再現するためには異なる係数を用いる必要があるとともに、上・下流での係数の違いは当該流域と他の流域の係数の違いに匹敵するほど大きい場合もあった。さらには、流域面積と係数の関係は一様ではなかった。

②分布型流出モデルを用いた流出解析では、下流端で同定した流域一様のパラメータでは再現できない内部流域があり、分布型流出モデルでも流域内の特性を表現するパラメータの分布が必要であることがわかった。

以上のように山地流域内の流出特性には相当程度ばらつきがあり、下流の流量観測データから上流を精度良く予測することが困難である可能性が示唆された。より定量的な評価を行い、不確実性の評価も含めて流量の予測精度の向上手法を検討する必要があると考えられる。

また、本研究では、災害を引き起こすような非常に大きな降雨時のデータを収集するには至らなかった。近年、監視カメラ画像を活用した流量推定も一定精度で行えることが報告されつつある。今後は、ビデオ画像等を利用するなどし、豪雨時の流出特性についても検討していきたい。

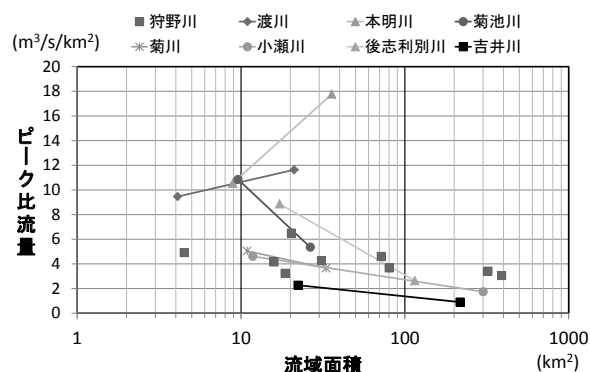


図-2 ピーク比流量と流域面積の関係

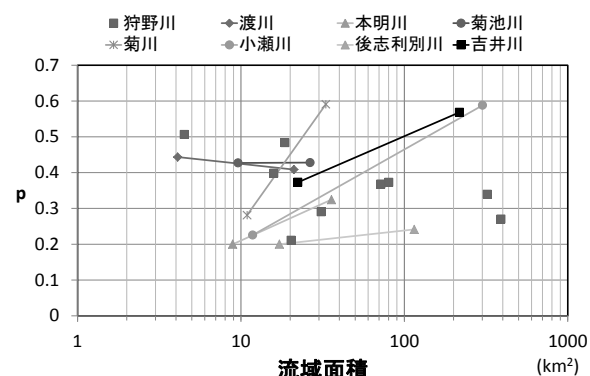


図-3 p と流域面積の関係

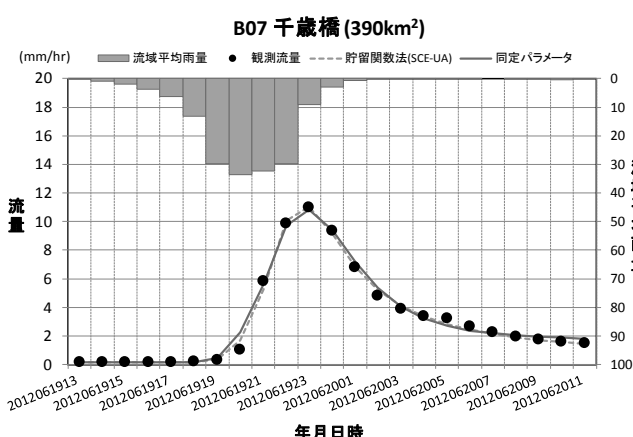


図-4 分布型流出モデルによる再現結果(下流域)

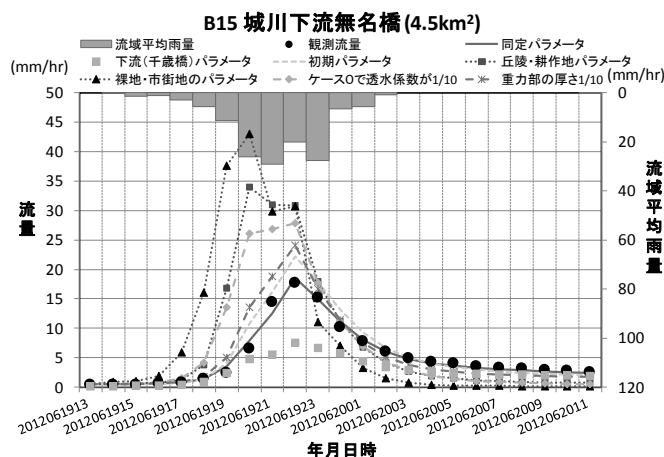


図-5 分布型流出モデルによる再現結果(上流域)とパラメータの比較

参考文献

- 1) 千葉・水山 (2013) : 砂防学会誌, Vol.65, No.5, pp.50-55、
- 2) 内田 (2004) : 砂防学会誌, Vol.57, No.2, pp.58-64、
- 3) 虫明ら (1981) : 土木学会論文集, Vol.309, pp.51-62、
- 4) 内田ら (2013) : 砂防学会概要集、
- 5) 内田ら (2014) : 砂防学会概要集、
- 6) 立川ら (2004) : 水工学論文集, Vol.48, pp.7-12、
- 7) 京大大学院工学研究科社会基盤工学専攻水文・水資源学分野: 水文モデル構築システム OHyMoS、<http://hywr.kuciv.kyoto-u.ac.jp/ohymos/index.html>、
- 8) 田中丸 (2000) : 河川流出、土木工学における逆問題入門、土木学会、pp.105-117、
- 9) 永井ら (1982) : 京大防災研年報、第 25 号 B-2、pp.207-220