

分布型水文モデルによる球磨川流域の長期流出解析

地球環境工学研究室 肥田野 敦
指導教員 陸 旻皎

1. はじめに

令和2年7月豪雨(以降、R2 豪雨と呼ぶ)によって、球磨川流域に甚大な被害が発生したことは記憶に新しい。洪水被害を最小限にするためには、計測できなかった大洪水の流量を正確に再現し、大洪水に対して適切な対策が必要である。

我が国の治水計画策定において、長期の記録が存在する雨量を確率処理し流出モデルを介して想定の変率規模に相当する洪水流量(確率流量)を算出するという手順をとっている。ここで算出した確率流量と実績の洪水流量から基本高水流量が算定される。しかし、気候変動による豪雨の更なる頻発化・激甚化によって、雨量自体の定常性が崩れつつあると考えられる。その場合に、多くの国で採用されている流量データを用いて直接的に確率流量を算出する手法も検討しておく必要がある。

本研究では、陸ら¹⁾の分布型水文モデルが治水計画に応用できるか検討することが目的である。具体的には以下に示す2つである。

1. 分布型水文モデルの既往の洪水流量波形の再現性を確認し、R2 豪雨の洪水を再現計算する。
2. 分布型水文モデルによる計算流量から流量データを作成し、確率流量を流量データから直接算定する手法の適用性を検討する。

2. 対象流域と使用データ

対象流域は球磨川流域(流域面積 1,880 km²)である。分布型水文モデルに必要なモデル入力データは降水量、気温、日射量である。日射量の推定には島崎¹⁾の方法を用いて気象庁が運用するアメダスの日照時間より推定する。降水量データは10地点のアメダス及び国土交通省河川局が管轄する水文水質データベースから32地点のデータを用いる。

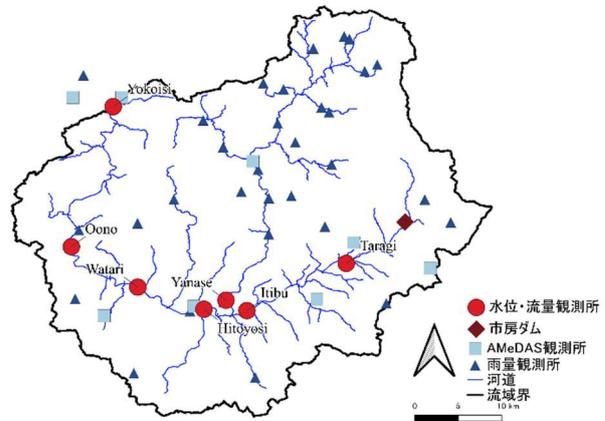


図1 球磨川流域図と水文気象観測所の配置

気温および日照時間のデータは上述した10地点のアメダスを用いる。流域界及び河道、アメダス観測所、雨量観測所の配置を図1に示す。データ期間は1998年から2020年7月のおよそ22年間とし、1時間ごとのデータを用いる。本研究では分布型モデルを用いるため、各気象データの時空間分布は、地点データを用いて最近隣法により作成される。気温については気温減率も考慮した。分布型水文モデルの河川流量波形の再現性を評価するため、国土交通省の水文水質データベースに収録されている2001年から2019年までの観測された流量データを用いる。水位・流量観測所は下流から横石、大野、渡、人吉、柳瀬、一武および多良木の7地点でありその配置も図1に示している。

3. 解析方法

3.1. 分布型水文モデル

本研究で使用する分布型水文モデルは、陸ら²⁾³⁾⁴⁾によって開発されたモデルであり、そのモデリングシステムを用いて球磨川流域に構築した。このモデルは対象流域を250mメッシュで分割し、各メッシュに水文モデルを用いて入力データより、流出量、蒸発量などを計算している。

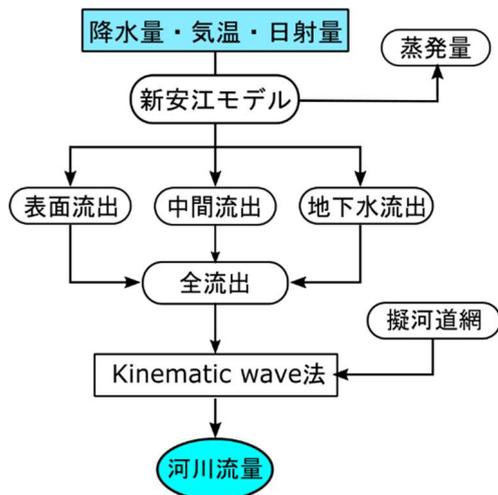


図 2 分布型水文モデルの計算フローチャート

分布型水文モデルの計算フローチャートを図 2 に示す。各メッシュにおいて毎時間算出される流出量は線形貯水池モデルにより時間遅れを伴ってメッシュ中心点に流入する。メッシュ中心点間は、実河川あるいは仮想的な流路で結ばれ、流れの方向は周囲 8 方向のうち、最大の標高勾配となる方向に形成された擬河道網において河川流量が追跡計算される。

擬河道網の作成において、国土地理院 1/25000 地形地図、数値地図 50m (標高) をもとに河川をデジタル化し、実際の河川の位置を反映させた。流出モデルには、流出 3 成分を考慮した新安江モデルにより、各メッシュからの表面流出量、中間流出、地下水流出量を求める。また、蒸発量については Makkink 法より蒸発散能を求めたのちに推定する。新安江モデルは中国の長江・黄河等の大規模河川流域レベルでの適用実績があり、特に湿潤・半湿潤域において良好な適合性を示している。河道追跡モデルには Kinematic wave 法を用いて追跡計算し、仮想流路を広幅矩形断面で結ばれていると仮定して計算する。

3.2. パラメータ同定

1999 年から 2019 年までを同定期間とし、分布型水文モデルを用いて連続シミュレーションを

行った。人吉地点において試行錯誤的にパラメータを同定し、全地点にて適用した。同定したパラメータを表 1 に示す。

表 1 同定したパラメータ

パラメータ		設定値
C_p	降雨量補正係数	1
C_{φ}	蒸発能補正係数	0.3
B	点貯水量の分布関数の形状パラメータ	0.2
C	深層の蒸発効率	0.1
WM	流域平均最大点貯水容量	100
WUM	上層の最大土壌水分量	20
WLM	下層の最大土壌水分量	40
imp	不浸透域面積率	0.01
CS	表面流出減衰係数パラメータ	0.07
SM	重力貯水容量	55
EX	自由水点貯水容量の分布関数の形状パラメータ	0.5
KI	中間流出分離パラメータ	0.6
KG	地下水流出分離パラメータ	0.1
CI	中間流出減衰係数パラメータ	0.8
CG	地下水流出減衰係数パラメータ	0.98
$Manning$	マンニングの粗度係数	0.04
$Wide$	河川幅	180

パラメータ同定用の洪水イベントとして同定期間各年の既往最大洪水(19 個)を用いた。洪水波形の再現性は分布型水文モデルの一度の連続シミュレーションにおいて評価される。河川流量波形の再現性を評価するために、Nash and Sutcliffe(1970)の効率係数(以降、 E と呼ぶ) E を用いた。

$$E = 1 - \frac{\sum_n (Q_{sim} - Q_{obs})^2}{\sum_n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (1)$$

但し、 $Q_{obs}[\text{m}^3/\text{s}]$ は観測河川流量、 $Q_{sim}[\text{m}^3/\text{s}]$ は計算河川流量、 $\bar{Q}_{obs}[\text{m}^3/\text{s}]$ は n 個の観測河川流量の平均値である。一般に E は 1 に近いほど良いとされており、0.8 以上あれば河川流量波形の再現性が良いとされている。本研究では河道を広幅長方形断面と仮定して計算しており、河道特性としてマンニングの粗度係数、河道幅をすべてのグリッドにわたって推定する。同定したパラメータで R2 豪雨の洪水流量を検証(再現計算)した。

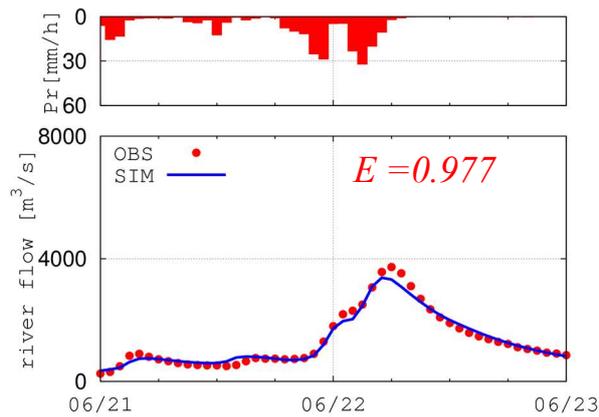


図 3 洪水ハイドログラフの一例(人吉)

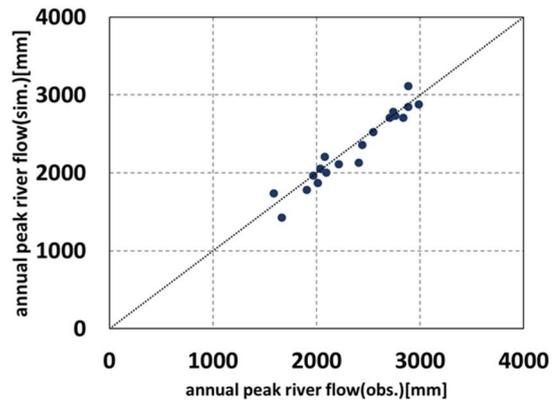


図 4 年間水収支の再現精度(人吉)

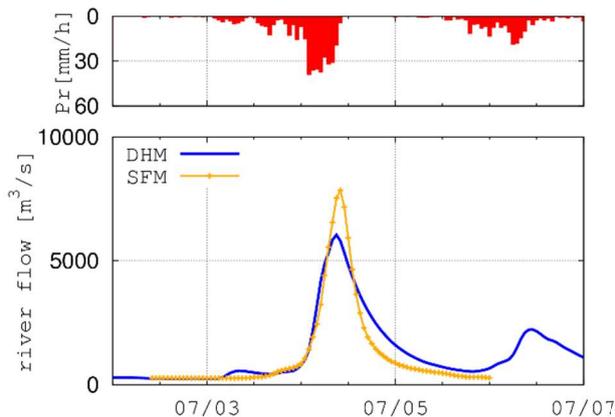


図 5 R2 年豪雨のハイドログラフ(人吉)

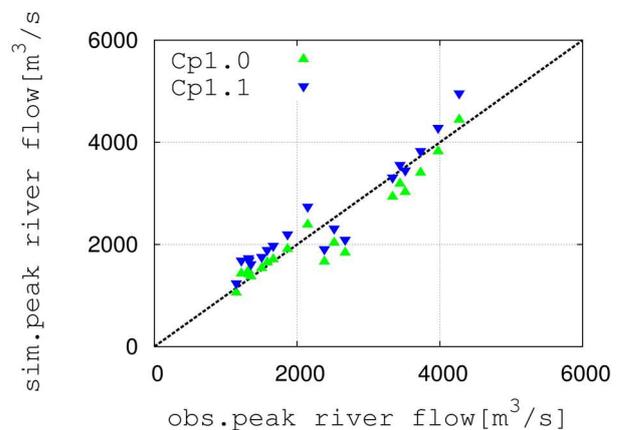


図 6 洪水ピーク流量の収集(人吉)

4. R2 豪雨の再現計算結果

図 3 に同定期間の洪水ハイドログラフを示す。既往洪水ハイドログラフの再現精度を評価した結果、全地点で、 E が 0.8 以上のイベントが多く良好な再現性を示した。洪水イベントのピーク流量の生起時間に関して観測流量より平均して 1 時間程度早い。長期にわたり既往洪水の流量波形を再現できたため、分布型水文モデルの適合度の高い結果を得ることができた。図 4 に同定期間の年間水収支の再現精度を示す。45 度線上に散布しており、精度良く再現できていることが分かる。

同定したパラメータで R2 豪雨の再現計算をした結果を図 5 に示す。国土交通省の貯留関数法による R2 豪雨の再現計算結果³⁾も併せて示している。分布型水文モデル(DHM)と貯留関数法(SFM)の計算流量を比較すると、全地点で貯留関数法の

ピーク流量の値が大きい傾向がみられた。また洪水の減衰部分は分布型水文モデルが貯留関数法より緩やかに減衰していることが見て取れる。双方のモデルでハイドログラフの傾向が大きく異なるため、さらに検討・分析が必要であることが分かった。

5. 確率流量の推定

5.1. 確率分布モデルの決定

長期流出解析によって得られた年最大流量を用いて水文統計解析を行い、確率流量を算定する。本研究では気候変動の影響を考慮するため、降雨量変化倍率(以下 C_p と呼ぶ)を 1.1 倍に設定した計算流量を用いる。確率流量を算定するうえで、多くの確率分布モデルや母数推定法が利用されている。これらのうち何が最適であるか判定するた

めに本研究では、宝ら⁵⁾により提案されたSLSC(標準最小二乗規準)を用いてデータと確率分布モデルの適合度を検討した。SLSCの基準は0.04としている。また、適合度を満足する確率分布モデルに、リサンプリング法を用いて確率分布モデルのバイアスを補正するとともにその安定性を評価した。このときにbootstrap法を用いた。

5.2. 確率流量の推定結果

確率流量の推定結果を表2に示す。水文統計解析において複数の確率分布モデルの中で最適なモデルを判定した結果、Gev分布モデルとした。R2豪雨を母集団に含めない解析とR2豪雨を母集団に含めた解析、2通りで1/80確率流量を推定した。計算確率流量 $C_p = 1.0$ 、 $C_p = 1.1$ でそれぞれ7,164 m³/s、7,886 m³/sとなった。およそ700 m³/sの差である。人吉地点の河川整備計画変更後の基本高水流量は8,200 m³/sである。本研究において気候変動を踏まえた球磨川流域の人吉地点における基本高水流量は本解析で算出した確率流量を真値とするならば、7,886 m³/s以上とする必要があるといえる。

6. おわりに

本研究において分布型水文モデルを構築し、球磨川流域で長期流出解析を行った。分布型水文モデルの適合度の高い解析結果を得ることができた。そのため、本モデルは今後の我が国の治水計画における洪水流量の再現計算に適用できる可能性が高く検討に十分値することが言える。しかし、貯留関数法と分布型水文モデルのR2豪雨の再現計算を比較すると双方で流量の傾向が大きく異なるため、さらに検討・分析を進める必要がある。

分布型水文モデルによる年最大流量から直接的に確率流量(基本高水流量)を算定する手法について分析したが、この算定手法には今後さらに慎重な検討が必要である。

表2 1/80 確率流量の推定とその適合度

人吉		Gev
$C_p = 1.0$	SLSC	0.034
	確率水流量	7,696
	Bootstrap 推定値	7,160
	Bootstrap 推定誤差	1,543
$C_p = 1.1$	SLSC	0.035
	確率水流量	8,559
	Bootstrap 推定値	7,886
	Bootstrap 推定誤差	1,686

5. 参考文献

- 1) 島崎 彦人：AMeDAS データと衛星データを用いた時空間間的に連続な日射量推定手法の検討，長岡技術科学大学修士論文，1996.
- 2) 陸 旻皎，小池 俊雄，早川 典生：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発，土木学会論文集，411/II-12，pp.135-142，1989.
- 3) 陸 旻皎：分布型水文情報に対応する流出モデルの開発，長岡技術科学大学博士論文，1991.
- 4) 山本 隆広，陸 旻皎：分布型水文モデルによる長期流出計算とその河川計画の応用可能性，水文・水資源学会誌，22(3)，pp.198-208，2009.
- 5) 宝 馨，高棹 琢馬：水文頻度解析における確率分布モデルの評価規準，土木学会論文集，第393号/II-9，pp.151-160，1988.
- 6) 国土交通省：流量の推定について，2020，
http://www.qsr.mlit.go.jp/yatusiro/site_files/file/bousai/gouukensho/sankousryou/sankousiryou-ryuryou2.pdf