

分布型水文モデルによる球磨川流域の長期流出解析

長岡技術科学大学 非会員 ○ 肥田野 敦
長岡技術科学大学 正会員 陸 旻皎
長岡工業高等専門学校 正会員 山本 隆広

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。こういった被害を最小限にするためには、未曾有の大洪水の流量を正確に予測し、大洪水に対して適切な対策が必要である。そのためには流出モデルによる既往洪水の流量波形の再現性を確認する必要がある。

日本では貯留関数法を用いた短期流出解析が最も一般的な流出解析手法のひとつである。R2 豪雨による球磨川の洪水流量の推定にも貯留関数法が用いられ、人吉地点の想定ピーク流量は $7900\text{m}^3/\text{s}$ と推定された¹⁾。この結果は人吉地点で定められている基本高水 $7000\text{m}^3/\text{s}$ を上回る値である²⁾。貯留関数法は国内において適用実績が豊富であるが、各洪水に対しパラメータを同定しなければならず、長期流出解析ができない。そこで本研究では、分布型水文モデルによる長期連続シミュレーションによってパラメータを同定し、そのパラメータを用いて R2 豪雨の再現計算を行い、貯留関数法による洪水波形と比較、検証し分布型水文モデルの大規模洪水に対する適用性の分析を行う。

2.対象流域と使用データ

対象流域は球磨川（流域面積 1880km^2 ）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、気温、日射量である。日射量の推定には島崎³⁾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。降水データは熊本県内の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。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。本研究では分布型水文モデルを用いるため、

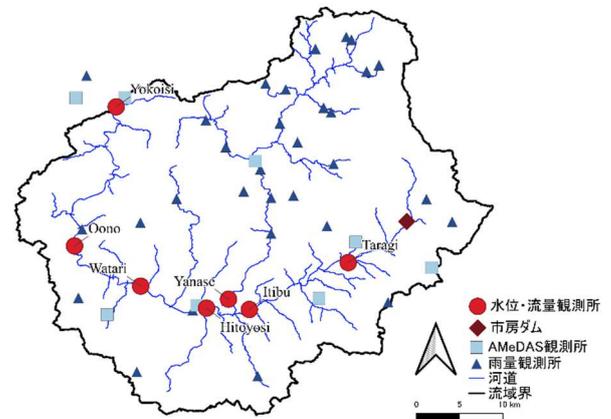


図1 球磨川流域図と水文気象観測所の配置

各気象データの水平分布は、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。計算流量と比較し、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に、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年までの観測流量データを用いる。河川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、図1にその配置を示している。

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⁴⁾⁵⁾⁶⁾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構築した。分布型水文モデルの計算フローチャートを図2に示す。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。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水が追跡計算される。

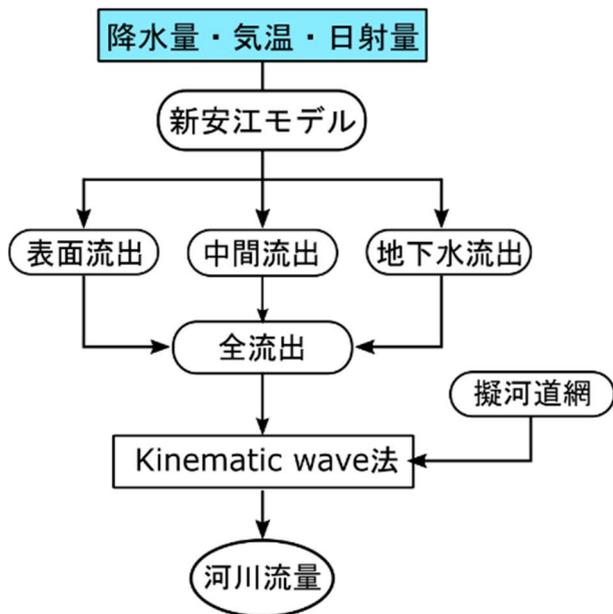


図 2 分布型水文モデルの計算フローチャート

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。河道の追跡モデルには 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される。

3.2. パラメータ同定

本研究では分布型水文モデルを用いて 1998 年から 2019 年まで連続シミュレーションを行い横石、大野、渡、人吉、柳瀬、一武および多良木で試行錯誤的にパラメータを同定した。また人吉のパラメータを全地点で適用した。パラメータ同定用の洪水イベントとして解析期間の各年の既往最大洪水(19 個)を用いた。そして、同定したパラメータで 2020 年の R2 豪雨の洪水流量を検証した。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 の効率係数(以降、 E と呼ぶ) E を用いた。

表 1 人吉のパラメータ

パラメータ		設定値
Cp	降雨量補正係数	1
Cep	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
WUM	流域平均最大点貯水容量	100
WUM	上層の最大土壌水分量	20
C	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

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

但し、 Q_{obs} は観測河川流量、 Q_{sim} は計算河川流量、 \bar{Q}_{obs} 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。

4. 結果と考察

同定した人吉のパラメータを表 1 に示す。図 3 は横石、大野、人吉および渡の各イベントのピーク流量と E の関係を示している。図 4 は横石、大野、人吉および渡において人吉のパラメータを一様に適用した場合の各イベントのピーク流量と E の関係を示している。図 5 は柳瀬、一武および多良木の各イベントのピーク流量と E の関係を示している。図 6 は柳瀬、一武および多良木において人吉のパラメータを一様に適用した場合の各イベントのピーク流量と E の関係を示している。全体的に E は高く洪水波形を再現性できていることが考えられる。特に大規模洪水に対して洪水波形の再現性が良好であることが言える。また、人吉のパラメータを全地点で一様に適用した結果、各イベントで E は同程度の値が得られた。

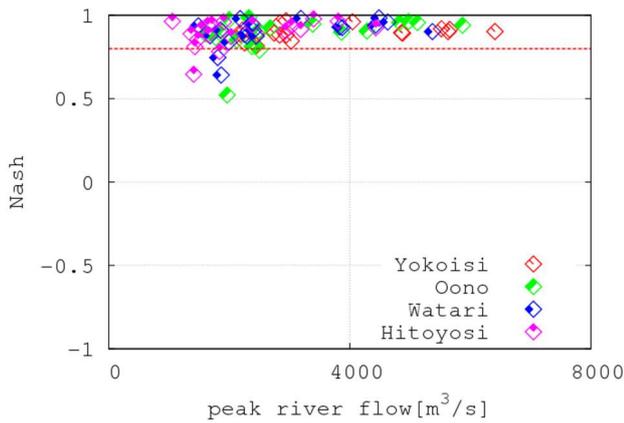


図 3 ピーク流量と E の関係

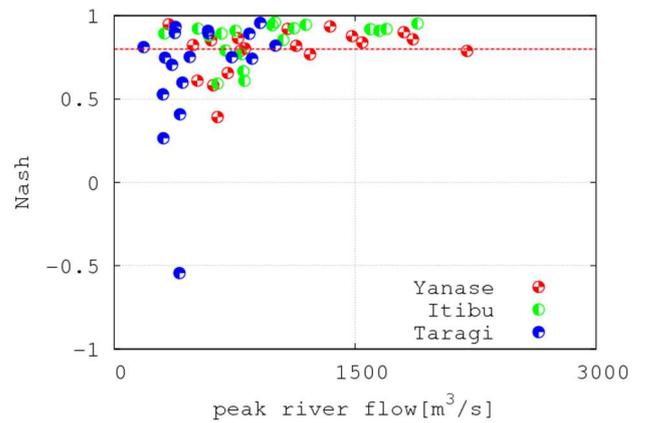


図 5 ピーク流量と E の関係

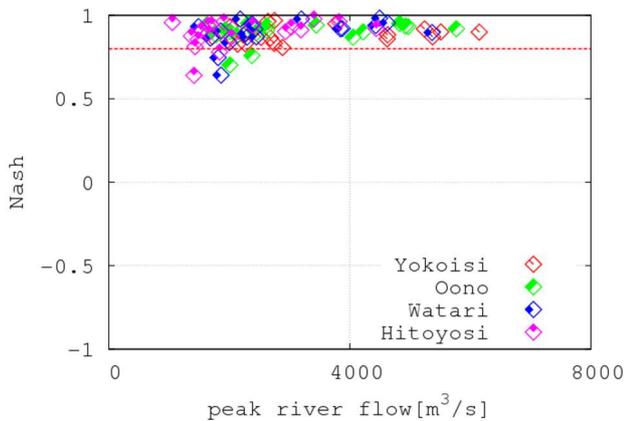


図 4 ピーク流量と E の関係
(パラメーター様)

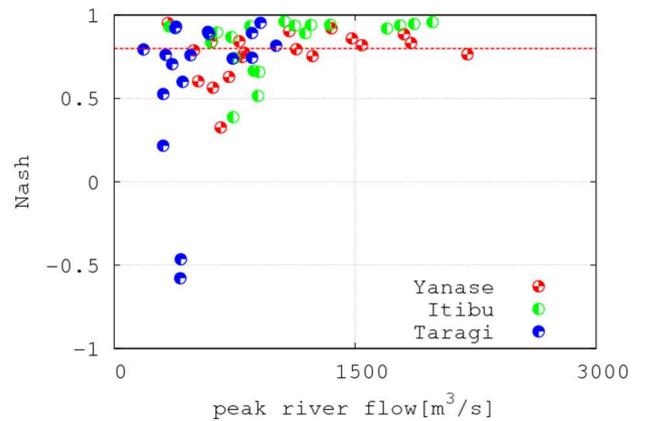


図 6 ピーク流量と E の関係
(パラメーター様)

同定したパラメータによって検証した R2 豪雨の河川流量波形を図 7 から図 12 に示す。但し大野地点に関しては貯留関数法による河川流量波形がないため省略する。分布型水文モデル (DHM)、貯留関数法 (SFM) による計算流量を比較すると、各地点で洪水の立ち上がり部分はほぼ同程度であるが、ピーク流量に関しては貯留関数法の値が大きい値であることが見て取れる。また洪水の減衰部分は分布型水文モデルの計算流量が貯留関数法の計算流量より緩やかに減衰していることが見て取れる。

5.まとめ

球磨川流域に分布型水文モデルを構築し、分布型水文モデルによる長期流出解析によって算出した河川流量波形と貯留関数モデルの河川流量波形を比較した。

大規模洪水に対しての河川流量波形の再現性が良好であることが言える。また、パラメータを全地点に一樣に適用しても大きな変化がないことを示した。

本研究ではおよそ 20 年という長期にわたり既往洪水の流量波形を再現し、良好な結果を得たため、分布型水文モデルの妥当性を高めた。

分布型水文モデルはダムのあるメッシュにおいて、基本的にそのダムの操作ルールに従って、シミュレーションが可能である。球磨川流域には上流域に市房ダムがあり、主として洪水調節を行う多目的ダムである。市房ダムによる治水安全度の変化を検討するため、現行のダム操作規定を可能な限り反映したダム操作のモデル化を試みたい。

ダム操作モデルを分布型水文モデルに組み込み、貯留関数法と比較しながらモデルの適用性について分析を進めたい。

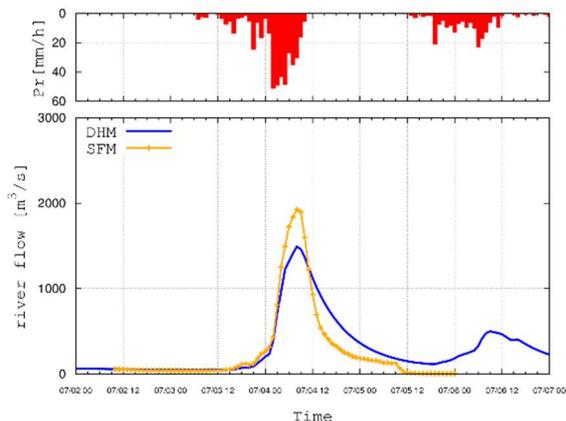


図 7 R2 年豪雨の流量波形 (多良木)

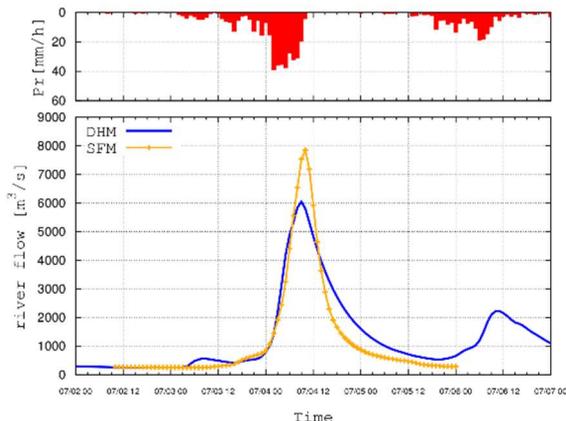


図 10 R2 年豪雨の流量波形 (人吉)

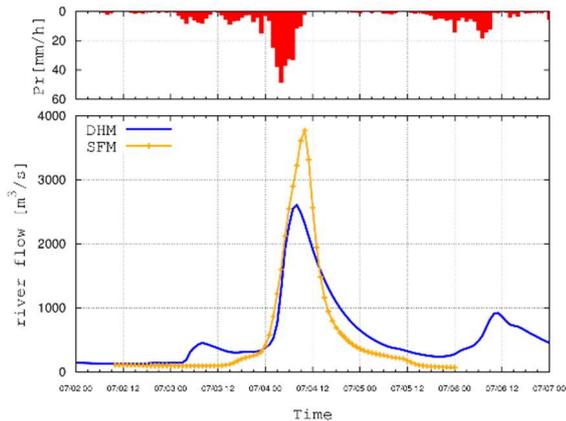


図 8 R2 年豪雨の流量波形 (一武)

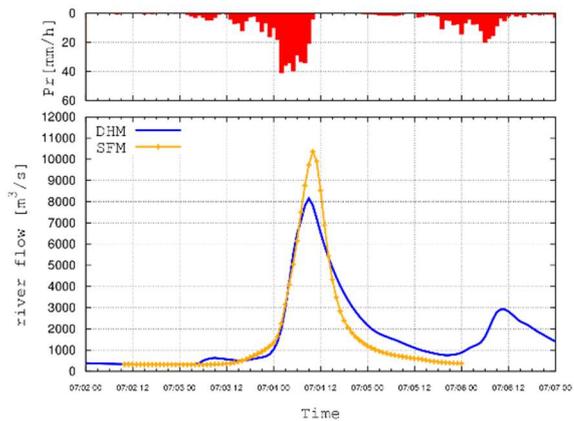


図 11 R2 年豪雨の流量波形 (渡)

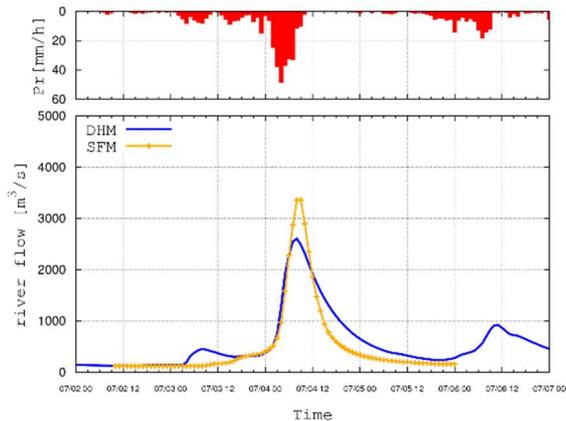


図 9 R2 年豪雨の流量波形 (柳瀬)

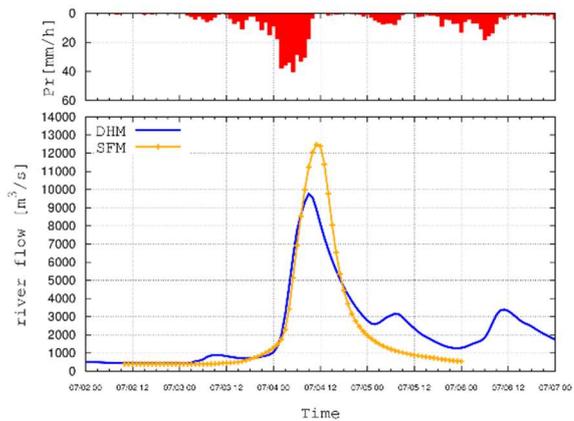


図 12 R2 年豪雨の流量波形 (横石)

6.参考文献

- 1) 国土交通省 水管理・国土保全局 第112回 河川整備基本方針検討小委員会：令和2年7月豪雨について，2021.
- 2) 国土交通省河川局：球磨川水系河川整備計画基本方針，2007.
- 3) 島崎彦人：AMeDAS データと衛星データを用いた時空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，104pp，1996.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 山本 高広・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.