

## 日本全国を対象にした分布型流出モデルのパラメータ地域統合化法

京都大学 学生会員 ○山北 文登  
 京都大学 正会員 佐山 敬洋  
 京都大学 正会員 山田 真史

### 1. はじめに

気候変動の影響が顕在化する中、近年、日本は複数の大規模な豪雨被害を経験している。2020年7月3日から7月31日にかけて熊本県を中心に九州や中部地方など日本各地で発生した令和2年7月豪雨や、阿武隈川や千曲川の堤防が決壊するなど河川の氾濫・決壊が相次いだ2019年の台風19号などは記憶に新しい。今後どのような豪雨被害が起きるかを予測して、有効な対策を立てることが重要である。

洪水を予測するうえで、流出計算は重要な役割をもっている。筆者らは、分布型モデルであるRRIモデルを全国に適用し、流域単位に限らず、地域単位・国単位で流出計算を行う研究を進めている。

水文モデルによるシミュレーションの精度を向上させるためには、パラメータの同定が重要となる。広域に適用した分布型モデルのパラメータ同定に関する課題として、個別の河川で最適化を行うことは計算コストがかかりすぎる。また、領域全体で単一の最適パラメータを仮定できないという問題もある。本研究では条件付確率の概念に基づいて計算量を制限しつつ、土壌等の空間分布に対応したパラメータを同定する方法を提案する。

同定の対象とするモデルは全国を対象に空間分解能150mで適用したRRIモデルである。RRIモデルは、流域に降った雨が河川に集まる現象、洪水が河川を流下する現象、河川を流れる水が氾濫原に溢れる現象を流域一体で予測するモデルである。流れの方向と流量が各地点の水位勾配によって変化するモデルを流域全体に展開することで、浸水の影響を考慮に入れた河川流量の推定も可能となっている。本研究では日本全国を14の領域に分けてモデルを適用し、山地一様ではなく土壌ごとにパラメータを設定する方が精度が向上するという仮説のもと、山地のパラメータの同定に土壌の空間分布情報を用いる。

### 2. 方法

マンニングの粗度係数、土壌の空隙率、不飽和部の空隙率、飽和透水係数、不飽和透水係数に関わる係数の計5つのパラメータを同定する。各パラメータについてそれぞれ6つの値を設定することにより、 $5^6$ 通りのパラメータセットを候補とする。このうち、ハイドログラフの形状に基づき、k-means法によって選択された40パラメータセットを使用する。

まず、国交省・水機構が管理する全国121のダムを対象にシミュレーションを行う。対象イベントは2002年6月から2018年12月までの間で、14に分割した各領域でそれぞれ選択された10出水期間(5~10日)である。前述の40パラメータセットを山地領域に適用する。シミュレーション結果において、各ダム流域、各出水の流域平均雨量を求めて、大きいものから7出水を選択して分析の対象とした。なお、当該期間にダム建設が完了していない、データが欠測しているなどの理由で7出水を選択できない21ダムについては、本研究の分析から対象外とし、計100のダムを分析対象とした。

まず、100ダムのうち40パラメータセットのいずれを用いても一定の精度が確認できないダムを除外する。具体的には同一のパラメータセットで「ピーク相対誤差が15%より小さく、相関係数が0.85より大きい」(基準\*)イベントが3つ以下のパラメータセットが存在しないダムを除外する。また、除外されなかった75ダムのうち基準\*を満たすイベント数が6以上のパラメータセットが存在すればAクラス、存在しなければB

キーワード RRIモデル, パラメータ, 土壌分布, 分布型モデル, 流出計算

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所 防災技術政策研究分野 TEL0774-38-4330

クラスに分ける。AクラスとBクラスの計75ダムについてダム $j$ において40パラメータセットのうちパラメータセット $k$ が「一定の再現性を有するパラメータセット」である条件付き確率 $p(q_k|d_j)$ を求める。ここで「一定の再現性を有するパラメータセット」とは基準\*を満たすイベント数とそのダムが属するクラスの基準を満たしているものとする。次に農研機構が提供している20万分の1の全国デジタル土壌図からダムごとの土壌割合を各流域で求める。この土壌割合を条件付き確率 $p(s_i|d_j)$ とする。紙面の都合上、導出過程は省略するが、ベイズの定理を用いた式変形により $p(q_k|s_i)$ を以下の式で求めることができる。

$$p(q_k|s_i) = \sum_{j=1}^n \frac{p(s_i|d_j)}{\sum_{j=1}^n p(s_i|d_j)} p(q_k|d_j) \tag{1}$$

ここで $n$ は集計対象のダム数(本研究では $n = 75$ )、 $p(q_k|s_i)$ は土壌 $s_i$ においてパラメータセット $q_k$ が「一定の再現性を有するパラメータセット」である確率である。 $p(q_k|s_i)$ が最大となるパラメータセットを土壌 $s_i$ に割り当てる。この対応関係を用いて土壌図をパラメータの空間分布に置換する。なお、山地以外の土地利用種別についてはそれぞれ統一のパラメータを割り当てる。

### 3. 結果

作成されたパラメータの空間分布を用いてダム流域と水文水質データベース上の観測点の流量についてそれぞれ検証する。ともに対象イベントはパラメータの同定に用いたイベントと同じである。

図1はAクラスとBクラスのダム流域における検証結果であるNash指標の箱ひげ図である。イベントごとに最適化された結果ほどよい値ではないが、対象イベントすべてを通したピーク相対誤差の平均が0に近いパラメータを流域一様に設定したパラメータよりも土壌分布を反映したパラメータの方がNash指標の値が高かった。また、不飽和側方流の流出過程を無視したデフォルトパラメータと比較すると大幅な改善が見られた。

図2に水文水質データベース上の観測点の結果を示す。ピーク流量が集水面積をもとに設定した閾値(日本全国の平均年最大流量相当)以下であるような小さなイベントについては集計の対象外としている。また、観測点ごとの条件を満たすイベント数の大小は考慮しない。サンプル数の小さい流域面積10000 km<sup>2</sup>以上の流域では指標の値が小さいが、その他の流域では概ね良好な結果が得られた。ピーク相対誤差については全体では若干過小評価の傾向がみられるものの、イベント規模によってその傾向が異なることを確認した。

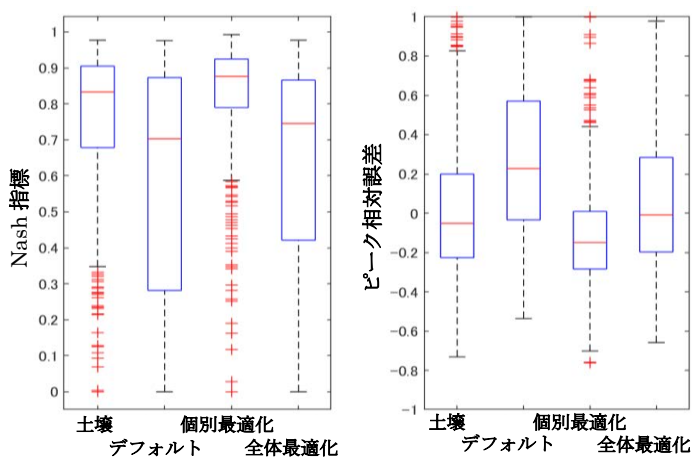


図1 AクラスとBクラスのダムについて対象となるイベントをすべて集計した箱ひげ図( $n=525$ )。「土壌」は土壌を反映したパラメータ、「デフォルト」は不飽和側方流の流出過程を無視したパラメータ、「個別最適化」はイベントごとにKGEで最適化した結果、「全体最適化」は全イベントのピーク相対誤差の中央値が最も0に近いパラメータを山地一様に適用した結果である。

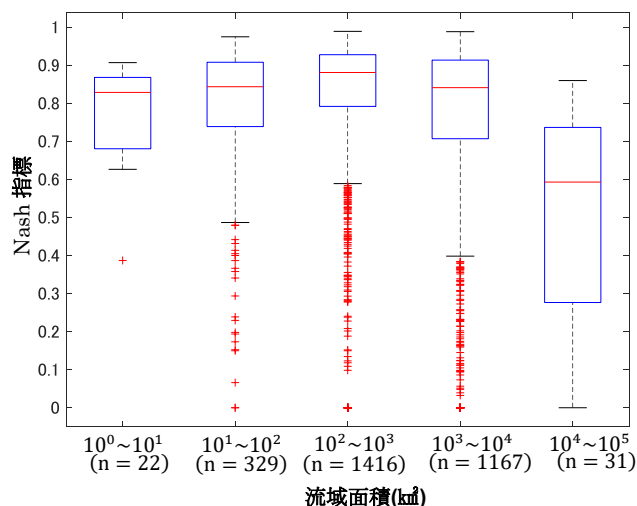


図2 水文水質データベース上の観測点のシミュレーション結果を流域面積の区分ごとに集計した箱ひげ図。日本全国の平均年最大流量規模以上のピーク流量をもつイベントを対象としている。