

都市中小河川降雨流出ベンチマークデータセットへの汎用都市貯留関数モデルの適用

東京都立大学 都市環境科学研究科 学生員 ○村井 雅姿
 東京都立大学 都市環境科学研究科 正会員 河村 明
 東京都立大学 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄
 東京都 建設局 正会員 高崎 忠勝

1. はじめに

近年、都市域を流れる中小河川では、局地的な集中豪雨により河川の氾濫や内水による浸水被害が頻発している。そのため、精度良く都市域の降雨流出を再現すべく様々なモデルが開発され、その精度が検討されてきている¹⁾。しかし、各モデルが対象とする河川や洪水がそれぞれ異なるため、モデル間の優劣を適切に判定することは困難であった。そこで、著者らは降雨流出モデルの性能向上を図るための共通データとして、降雨流出ベンチマークテストに向けた都市中小河川実流域データセットを作成した²⁾。本研究ではその都市中小河川降雨流出ベンチマークデータセットを用いて、既に都市中小河川流域に対しその有用性が確認されている汎用都市貯留関数(Generalized Urban Storage Function, 以下 GUSF と記す)モデル³⁾を適用し、ハイドログラフの再現性およびその特性を評価した。

2. ベンチマークデータおよび汎用都市貯留関数(GUSF)モデル

本研究で用いるデータセットは、図-1に示す佃橋上流域の神田川(流域面積 5.2km²)を対象としている。データセットには佃橋地点の1分間水位(m)およびそれを HQ 式で換算した流量(m³/s)、佃橋周辺 6 地点の1分間雨量(mm/min)およびそれらのティーセン分割流域平均雨量(mm/min)などが含まれている。データセットの洪水イベントは 1999 年 4 月から 2010 年 12 月の期間で抽出した上位 100 イベントである。なお、洪水イベントの抽出においては、6 地点の雨量観測所全てが 180 分連続で無降雨となった場合を別イベントとしている。100 個の洪水イベントは時系列順に Ev1~Ev100 と表す。本研究では Ev1~Ev80 をキャリブレーション用、Ev81~Ev100 をバリデーション用イベントとして扱った。次に、このデータセットに対して GUSF モデルを適用する。GUSF モデルは都市流域特有の複雑な流出機構および降雨の空間的なばらつきを考慮した集中型概念モデルの貯留関数モデルである。その詳細については参考文献 3)を参照されたい。GUSF モデルの未知パラメータは 8 つ(k_1 , k_2 , k_3 , p_1 , p_2 , z , α , γ)である。そのため、Ev1~Ev80 のそれぞれの洪水イベントに対して RMSE(平方根平均二乗誤差)を最小とする 80 組の最適パラメータおよび Ev1~Ev80 の全洪水イベントに対して RMSE を最小とする 1 組の最適パラメータを大域的探索法の一つである SCE-UA 法⁴⁾を用いて求めた。探索範囲としてはそれぞれ以下のように設定した。 k_1 (0~500), k_2 (0~5000), k_3 (0~1), p_1 (0~1), p_2 (0~1), z (0~300), α (0~1), γ (0~10)³⁾。また、GUSF モデルによるハイドログラフの再現性の指標としては、RMSE に加え、PEP(ピーク流出高誤差率) = $(Q_{po} - Q_{pc}) / Q_{po}$, PEV(総流出高誤差率) = $(Q_{to} - Q_{tc}) / Q_{to}$ を用いた。ここに、 Q_{po} : 観測ピーク流出高(mm/min), Q_{pc} : 計算ピーク流出高(mm/min), Q_{to} : 観測総流出高(mm), Q_{tc} : 計算総流出高(mm)。

3. 適用結果

図-2に Ev1~Ev80 の洪水イベント毎に求められた 80 組の最適パラメータの分布を箱髭図(最小値, 下位四分位数, 中央値, 上位四分位数, 最大値を表す)で示す。同図には Ev1~Ev80 の全洪水イベントに対する 1 組の最適パラメータを赤丸印で併記している。また図-3には、100 洪水イベントに対する GUSF モデルによるハイドログラフの a) RMSE, b) PEP, c) PEV を示す。この場合、Ev1~Ev80 はそれぞれの洪水イベントの最適パラメータを用いたキャリブレーション結果、Ev81~Ev100 は図-2の赤丸印のパラメータを用いたバリデーション結果である。さらに図-4, 図-5にはそれぞれキャリブレーションイベント(Ev36, Ev46)およびバリデーションイベント

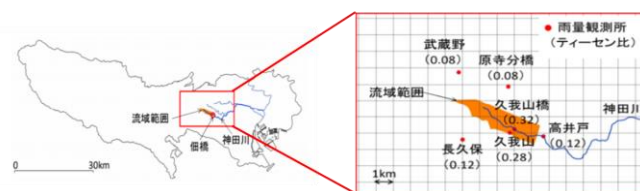


図-1 対象流域および水位・雨量観測所

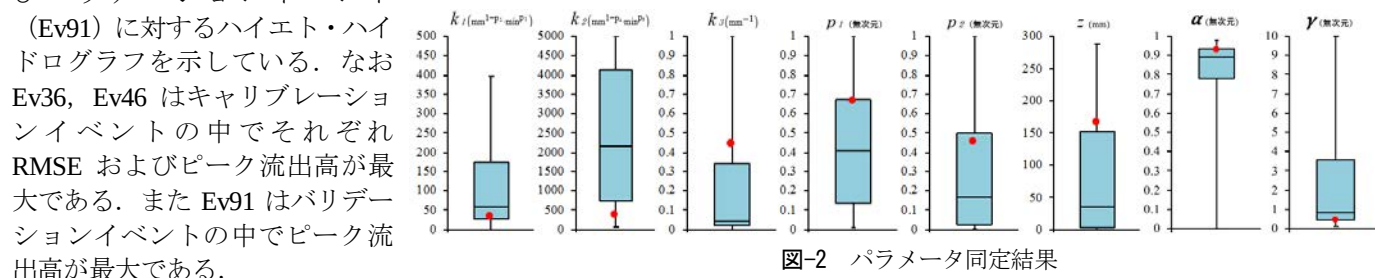


図-2 パラメータ同定結果

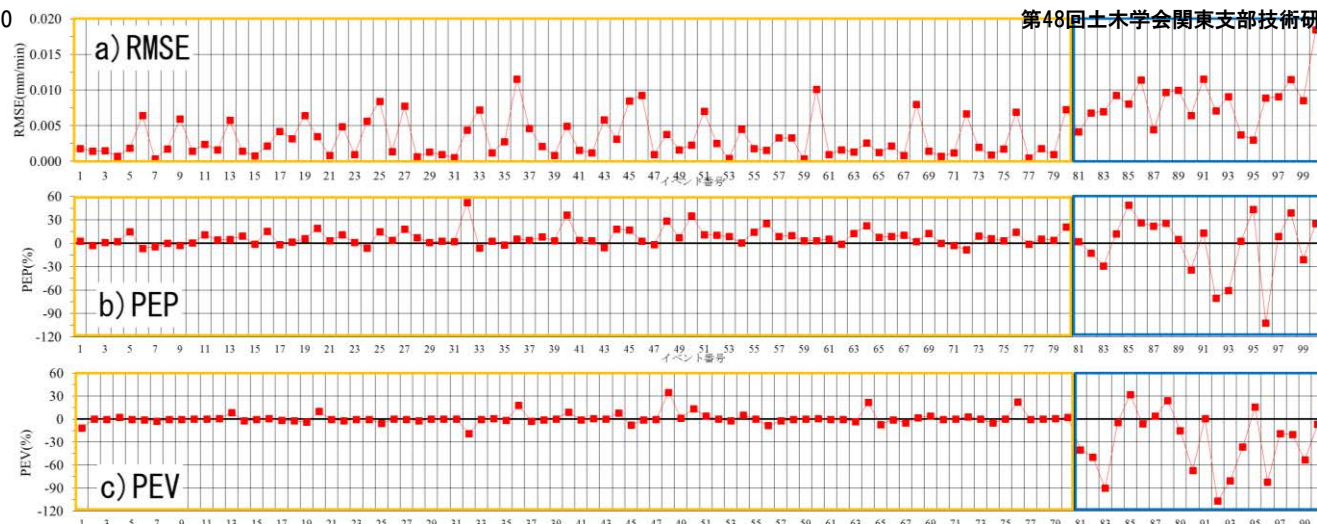


図-3 各イベントの RMSE, PEP, PEV

4. 考察

図-2 より、洪水イベントによってどのパラメータに対しても最適パラメータの範囲(箱ひげ図の特にひげの範囲)はかなり広がっており、また Ev1~Ev80 の全洪水イベントに対する 1 組の最適パラメータ(図-2 の赤丸印)は各パラメータの箱部の上端もしくは下端付近の値となっていることが分かる。次に、図-3 のキャリブレーション結果より、RMSE はほとんどが 0.01mm/min 以下、大半は 0.005mm/min 以下と非常に精度良くハイドログラフを再現している。また、PEP および PEV のキャリブレーション結果はほとんど 0% に近い値ではあるが僅かに正の値となっているものが多く、全体的にピーク流出高および総流出高をやや過小評価する傾向が見られる。一方、図-3 のバリデーション結果より、RMSE は大半が 0.01mm/min 以下となっており、バリデーションに対しても概ね精度よくハイドログラフを再現しているが、PEP および PEV は洪水イベントにより大きく変動しており、ピーク流出高および総流出高をキャリブレーション結果とは逆に過大評価する傾向であった。

上記のことは、図-4 のキャリブレーションによるハイドログラフからも確認できる。すなわち、RMSE が大きい洪水イベントであるピークが複数ある洪水(図-4a)やピーク流出高が最も大きい洪水(図-4b)においても精度良くハイドログラフを再現している。さらに図-5 のバリデーションの中でピーク流出高が最も大きく且つ RMSE が 2 番目に大きい洪水イベント Ev91 に対するハイドログラフから、バリデーションに対しても概ね精度良くハイドログラフを再現していることが確認できる。

5. むすび

本研究では、都市中小河川降雨流出ベンチマークデータセットに対して、GUSF モデルを適用し、ハイドログラフの再現性およびその特性を評価した。その結果、キャリブレーション用イベントに対しては非常に精度良く、またバリデーション用イベントに対しても概ね精度良くハイドログラフを再現できることを確認した。今後 AI を活用した降雨流出モデル等の精度確認を行う場合、そのモデルを本ベンチマークデータセットに適用し、精度比較の参考データとして参照していただければ幸いである。なお、データセットは以下の URL(<http://www.comp.tmu.ac.jp/suimon/kanda/>)よりダウンロード可能である。

参考文献

- 1) 高崎忠勝, 河村 明, 天口英雄, 荒木千博: 都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案, 土木学会論文集 B, Vol.65 No.3, pp.217-230, 2009.
- 2) 高崎忠勝, 河村 明, 天口英雄, 村井雅姿, 石原成幸: 降雨流出ベンチマークテストに向けた都市中小河川実流域データセットの構築, 第 28 回土木学会地球環境シンポジウム講演集, pp.75-80, 2020.
- 3) Padiyath, S.G., Kawamura, A., Takasaki, T., Amaguchi, H. and Azhikodan, G.: A generalized urban storage function model considering spatial rainfall distribution. *Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser.B1(Hydraulic Engineering)*, Vol.75, No.2, pp.I_223-I_228, 2019.
- 4) 田中丸治哉: タンクモデル定数の大域的探索, 農業土木学会論文集, No.178, pp.103-112, 1995.

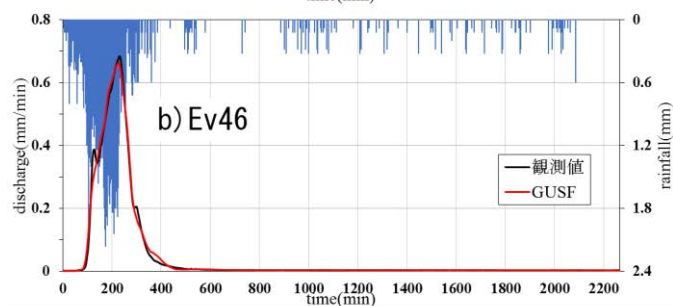
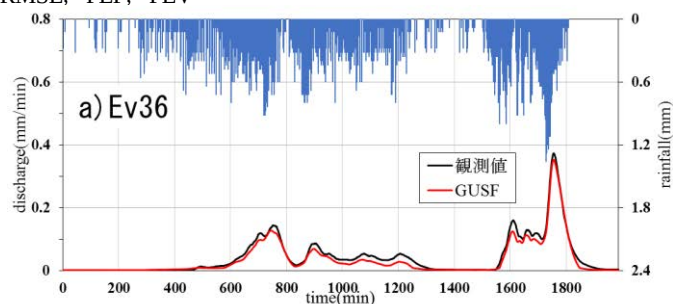


図-4 キャリブレーションのハイト・ハイドログラフ

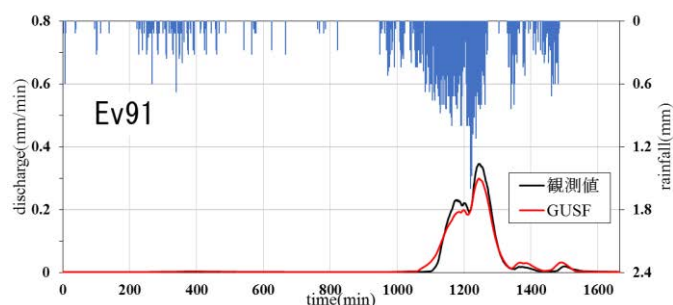


図-5 バリデーションのハイト・ハイドログラフ