

分散不均一性を考慮した時系列モデルに基づく 河川水位の短時間予測精度に関する検討

中央大学大学院

学生会員 ○阪井 瑞季

中央大学

正会員 小山 直紀

中央大学 フェロー会員 山田 正

1. はじめに

近年、我が国は、毎年の様に洪水災害に見舞われており、これらの水害は人命や経済に大きな影響を与えている。水文データが不足している流域では、物理的な背景に基づいた流出モデルによる水位予測が難しい現状があり、我が国の中小河川や新興国等では水文データが十分に蓄積されていない。また、洪水被害を軽減させる方法として、ハード対策による洪水防御も進めているが時間がかかる。そのため、ハード対策に併せてソフト対策も充実させていくことが必要である。そこで、小山・山田¹⁾は、水位データのみを入力情報とし、降雨データの精度に関わらず構築可能な時系列解析モデルに基づく洪水予測手法を提案した。しかし、この提案手法では、過去のデータを用いて洪水予測を行っているため、ハイドログラフの立ち上がりにおいて予測値と観測値のずれが大きくなることが問題点として挙げられている。そこで、本研究では、そのずれについて分析し、修正することで予測精度を向上させる手法について検討を行った。

2. 対象流域と水位の予測手法

(1) 対象流域と対象降雨

本研究では、図-1に示す利根川上流域を対象として予測計算を行う。同図において、使用する観測所は赤点で示しており、利根川水系の基準点である八斗島地点の水位の再現・予測について検討を行う。また、パラメータ推定に用いたイベントを図-2に示す。

(2) 既往研究での水位予測手法

統計モデルのうち、現象を過去のデータと関連付け、現象の予測や制御のために用いられているものが時系列解析モデルである。まず、最も基本的な時系列解析に用いられている自己回帰モデル式を(1)式に示す。

$$h_n = \sum_{i=1}^N a_i h_{n-i} + \varepsilon_n \quad (1)$$

(1)式は水位時系列 h_n を過去の水位時系列 h_{n-i} にパラメータ a_i を掛けたものとホワイトノイズ ε_n の線形和で表したものである。 N は次数であり、考慮する過去のデータである。

河川の流量は様々な支川より上流から下流に集っており、それぞれの地点における流量は相互に関係してい

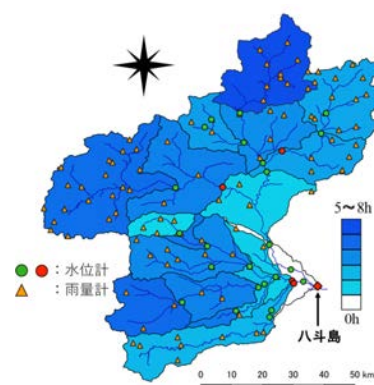


図-1 利根川上流域

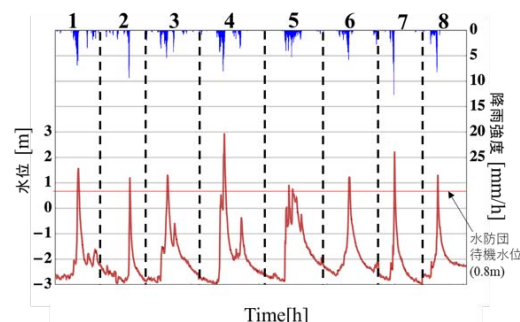


図-2 2002年から2018年までの八斗島地点における水防団待機水位を超えた洪水(全8イベント)と考えられる。そこで、自己回帰モデルを拡張し、それぞれの支川の影響を含めたものを表現した式が(2)式である。これは、(1)式を一般化したものである。

$$\mathbf{h}_n^p = \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^P \mathbf{a}_{pl}^i \mathbf{h}_{n-i}^l + \varepsilon_n^p \quad (2)$$

ここで、 N :モデルの次数、 P :使用する水位の数、 $\mathbf{h}_n^p$: n 時刻における p 地点水位、 $\mathbf{a}_{pl}^i$: i 時刻前における p 地点水位に対する l 地点水位の影響である。

(2)式は、現在の水位を過去のデータから求めているため、この式に現在のデータを含めることで1つ先の予測を行うことができる。その予測した結果を再帰的に次ステップの予測に使い、 x 時間後までの予測を行うとすると(2)式は(3)式で表すことができる。

$$\hat{\mathbf{h}}_{n+x}^p = \sum_{j=1}^{x-1} \sum_{l=1}^P \mathbf{a}_{pl}^j \hat{\mathbf{h}}_{n+x-j}^l + \sum_{i=1}^N \sum_{l=1}^P \mathbf{a}_{pl}^i \mathbf{h}_{n+1-i}^l + \varepsilon_n^p \quad (3)$$

ただし、 $\hat{\mathbf{h}}$ は予測水位を表す。また、パラメータの推定は、最小二乗法によって行った。次数 N は、赤池によって考案された赤池情報量規準AIC(Akaike

キーワード 水位予測, 分散不均一性, 予測精度

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学 TEL: 03-3817-1621 E-mail: a17.tmxp@g.chuo-u.ac.jp

Information Criterion)を用いた適合度評価の結果より、12としている。

(3) 本研究での予測値のずれの計算手法

既往研究では、観測値とのずれの部分ホワイトノイズで表現しているが、図-3より、観測値と既往研究での計算手法による予測値の差は分散不均一性を持つことがわかる。そこで、本論文では、分散不均一性を考慮することによって、水位の予測値と観測値の差を再現・推定できるか検証する。観測値と予測値のずれは、以下のように(4)式、(5)式で表す。

$$\varepsilon_t = v_t \sqrt{\sigma_t} \quad (4)$$

$$\sigma_t = \omega + \sum_{i=1}^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j h_{t-j} \quad (5)$$

v_t :相互に独立なホワイトノイズ、パラメータは、 $\omega > 0$, $\alpha_i \geq 0$, $\beta_j \geq 0$, $\sum \alpha_i + \beta_j < 1$ を満たす。また、パラメータの推定は、最尤法にて行い、AIC 及び BIC により評価を行い、 $p=1$, $q=1$ とした。(4)式、(5)式の α , β , ω は、図-2の8イベントの観測値と予測値のずれから、予測時間ごとに推定する。それを踏まえて、それぞれの予測時間について、それら8つの平均値をパラメータとする。そして、予測時点で既知である、既往研究での計算手法による再現値と観測値のずれを入力データとし、予測値のずれを再現できるかの検証を行った。

3. 結果

図-4に、観測値と予測値のずれと、(4)式、(5)式を用いたそのずれの推定値を示す。1時間先の予測値のずれは精度よく再現できていることがわかる。また、2時間先の予測値の最大約0.8mあったずれを、最大約0.5mの差で推定できたことがわかる。そして、図-5に、分散不均一性を考慮する前後のハイドログラフを示す。3~4時間先の予測値は精度が向上しなかったが、1~2時間先の予測値は精度が向上していることがわかる。

4. まとめ

水位データのみを入力情報とし、降雨データの精度に関わらず構築可能な多変量自己回帰モデルに基づく水位の予測値と観測値のずれは、分散不均一性を持つことがわかった。そこで、その分散不均一性を考慮することによる水位の予測精度の変化を検討した。その結果、分散不均一性を考慮すると、水位の短時間予測精度が向上することがわかった。

今後は、予測精度のさらなる向上を目指し、観測値と予測値のずれを表す式を見直し検討していきたい。

参考文献

- 1) 小山直紀, 山田正: 水位及び降雨の観測データを用いた多変量自己回帰モデルによる水位予測の精度検証, 河川技術論文集, Vol26, pp.223-228, 2020.

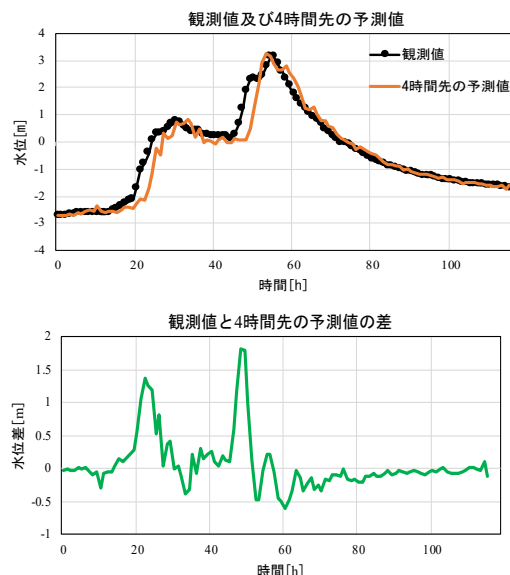


図-3 観測値と4時間先の予測値の差

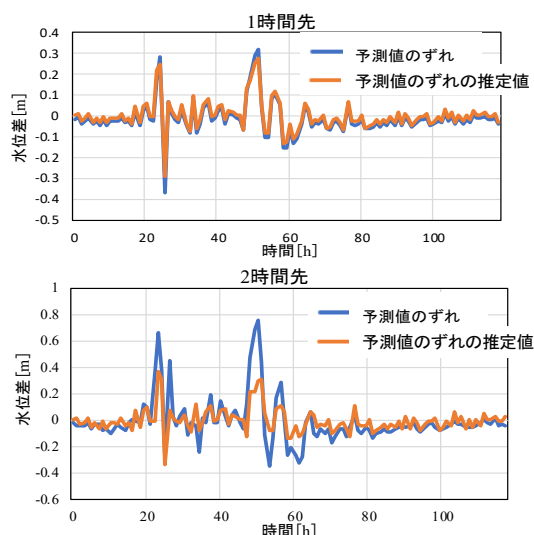


図-4 観測値と予測値のずれ及びずれの推定値

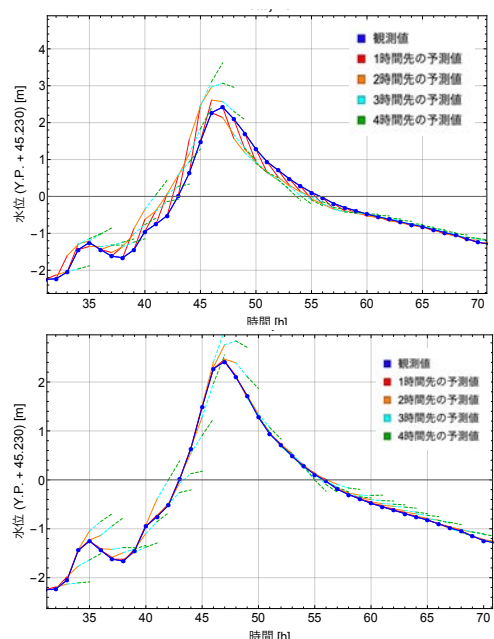


図-5 分散不均一性を考慮する前のハイドログラフ(上図)と、考慮した後のハイドログラフ(下図)