

グレンジャー因果性検定を用いたバングラデシュの水文時系列データ解析

山口大学大学院 学生会員 ○村岡 和満

山口大学大学院 正会員 朝位 孝二

1. はじめに

降水量や河川水位を始めとする様々な水文時系列データは、その現象の理解や予測に不可欠である。これまで、時系列データ同士の相関関係を分析し、河川の水位予測において、物理モデルや統計モデルの精度向上が研究されてきた。しかし、バングラデシュのような非常に平坦な流域での水位予測はどの観測所が影響を与えているか非常に分かりにくい。仮に時系列データのみで観測所同士の因果関係が明らかになれば、水位予測の精度向上が期待できる。

本研究では、経済学の分野で用いられてきたベクトル自己回帰モデル (VAR モデル) を用いてバングラデシュの水位観測所同士の因果関係を分析した。

2. 解析手法

2.1 解析フロー

図-1 に解析フローを示す。解析にあたり、まずは佐波川の 2009, 2010, 2016, 2018 年の洪水時の時間水位データを用いて VAR モデルが適用可能であることを検証し、その後にバングラデシュの河川水位データに適用した。バングラデシュでは、洪水の多かった 1998 年の 6~11 月までの日水位データを用いて解析を行った。図-2 にバングラデシュの河川、図-3 に水位観測所の位置を示す。

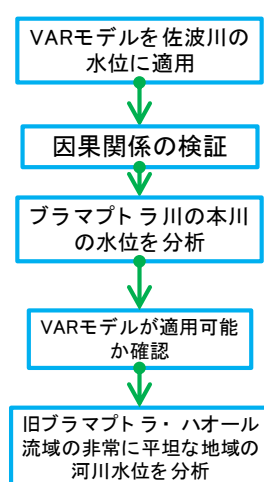


図-1 解析フロー

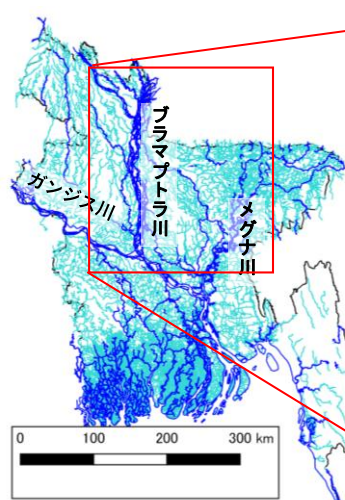


図-2 バングラデシュの河川

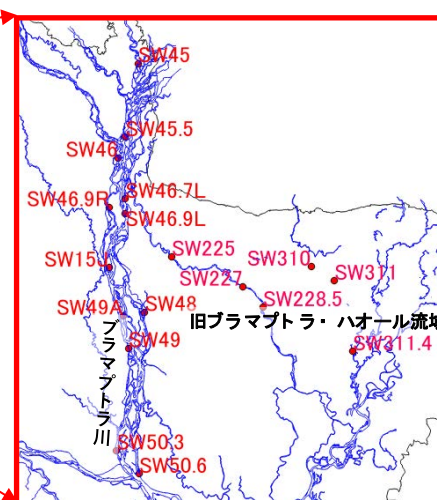


図-3 水位観測所位置図

2.2 VAR モデル

自己回帰モデル (AR モデル) を多変量に拡張したものであり以下の式で示される。

$$\mathbf{y}_t = \mathbf{c} + \Phi_1 \mathbf{y}_{t-1} + \cdots + \Phi_p \mathbf{y}_{t-p} + \boldsymbol{\varepsilon}_t \quad (1)$$

ここで $\mathbf{y}_t$ は t 時刻の水文量 (n 行のベクトル), $\mathbf{c}$ は定数項, $\Phi_1 \sim \Phi_p$ は係数行列 ($n \times n$), $\boldsymbol{\varepsilon}_t$ は乱項である。VAR モデルを用いた因果関係を求める手法の一つに Granger 因果性検定がある。

2.3 Granger 因果性検定

ある時系列データ A の未来の変動の予測精度が他の時系列データ B によって改善すれば $B \rightarrow A$ という因果関係があるとみなすものである。簡単のため $n=2$, $p=2$ の VAR モデルで説明する。帰無仮説を $y_{2,t}$ から $y_{1,t}$ の Granger 因果性がないとする。 $y_{1,t}$ モデルは

$$y_{1,t} = c_1 + \Phi_{11,1} y_{1,t-1} + \Phi_{12,1} y_{2,t-1} + \Phi_{11,2} y_{1,t-2} + \Phi_{12,2} y_{2,t-2} + \varepsilon_{1t} \quad (2)$$

となる。最小 2 乗法で $\mathbf{c}$ と Φ を推定し、その残差平方和を SSR_1 とし、制約を課した $y_{1,t}$ モデルは $y_{2,t}$ から $y_{1,t}$ の Granger 因果性がないと仮定すると $\Phi_{12,1} = \Phi_{12,2} = 0$ となり、次式を得る。

$$y_{1,t} = c_1 + \Phi_{11,1} y_{1,t-1} + \Phi_{11,2} y_{1,t-2} + \varepsilon_{1t} \quad (3)$$

その残差平方和を SSR_0 とする。F 統計量を

キーワード バングラデシュ, 水文データ, ベクトル自己回帰モデル, グレンジャー因果性検定

連絡先 〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1 TEL: 0836-85-9318 E-mail: t008wc@yamaguchi-u.ac.jp

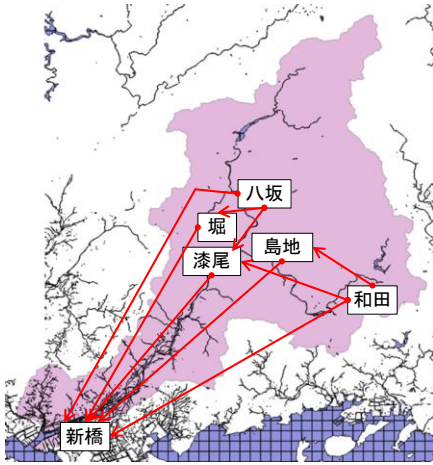


図-4 佐波川の Granger 因果性

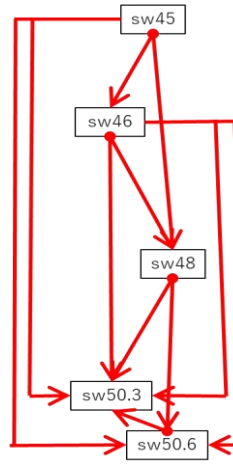


図-5 ブラマプトラ川の Granger 因果性

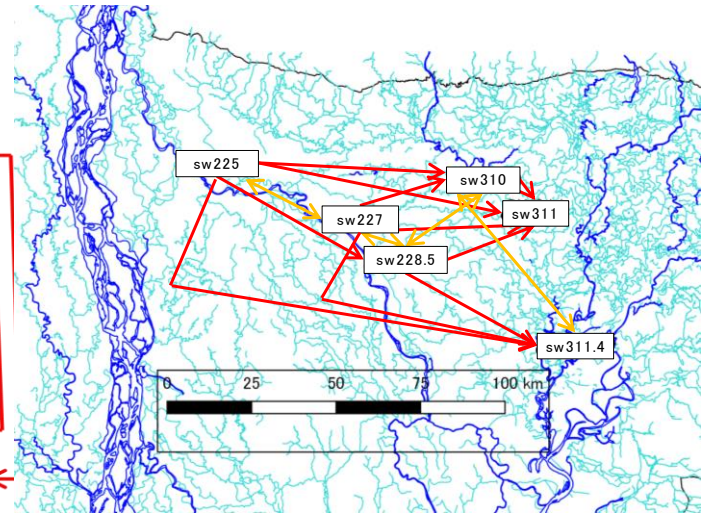


図-6 旧ブラマプトラ・パオール流域の Granger 因果性

$$F \equiv \frac{(SSR_0 - SSR_1)/r}{SSR_1/(T - np - 1)} \quad (4)$$

で計算する．自由度 r ，95%有意水準でカイ二乗検定を行い，帰無仮説が棄却されると $y_{2,t}$ から $y_{1,t}$ の Granger 因果性は存在するといえる．

3. 解析結果と考察

3.1 佐波川における Granger 因果性検定

図-4 に解析結果を示す．堀から漆尾，島地から漆尾以外で，上流から下流の向きに因果関係があることが確認できた．つまり上流の観測所が下流の観測所の水位に影響を与えているといえる．堀から漆尾，島地から漆尾は，距離が短く，島地川と佐波川の合流の影響，すなわちバックウォーターの影響を受けているためと考えられる．これらのことから，Granger 因果性検定は洪水時の水位時系列データに適用可能であることが示された．

3.2 ブラマプトラ川における Granger 因果性検定

図-5 に解析結果を示す．SW50.3 から SW50.6 以外で，上流から下流の向きに因果関係があることが確認できた．SW50.3 から SW50.6 は，1998 年はガンジス川の流量も大きかったためバックウォーターの影響で逆向きの因果関係が出たと考えられる．バングラデシュでは日水位でも Granger 因果性検定が適用できる．これは，佐波川と比べて用いた流域が広く，平坦なためであると考えられる．バングラデシュの河川では佐波川よりデータの時間間隔が長い洪水時間も長いいため Granger 因果性検定を適用しやすいと考えられる．

図-6 に解析結果を示す．赤色の矢印は一方方向への因果関係，橙色の矢印は両方向への因果関係を示す．

旧ブラマプトラ川上流の SW225 から下流の観測所へ，さらに流域外の SW310，SW311，SW311.4 へも因果関係が示された．また，ハオール流域からは両方向への因果関係も示された．SW225 と SW310 から SW311.4 へは SW311 を通らないルートで水位の変化が伝わっていると考えられる．当該流域はバングラデシュの中でも特に低平地域であり，雨季には流域全体の 8,600km³ が浸水する．つまり当該流域は，非常に複雑な流れになっていると考えられるが，Granger 因果性検定を用いて因果関係を概ね捉えることが可能であることが示された．

4. まとめ

VAR モデルを佐波川とバングラデシュの河川の水文データに適用し，観測所間の因果関係を解析できることがわかった．因果関係のあった観測所のデータで水位予測精度向上が期待できる．今後は VAR モデルのもう一つの手法である予測誤差分散分解の適用性の検討が必要である．

謝辞

バングラデシュ水開発庁と国交省山口河川国道事務所から貴重な水文データを提供いただきました．また，山口大学朝位研の神野真理子秘書，卒論生吉水建史氏には，その膨大なデータの編集，解析作業に多大なご協力を頂きました，ここに厚くお礼申し上げます．

参考文献

- 1) 沖本竜義：経済・ファイナンスデータの計量時系列分析(統計ライブラリー)，朝倉書店．
- 2) Bangladesh Water Development Board: Hydro-Met Data from 1987-2016, FFWC. Dhaka, Bangladesh.