

Elastic Net を用いた幌別ダムの流入量と貯水位の予測に関する研究

室蘭工業大学 ○学生員 小嶋侑 (Yu Ojima)
 室蘭工業大学 正員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)
 (株)日水コン 正員 山洞智弘 (Tomohiro Sando)
 室蘭工業大学 非会員 小林洋介 (Yosuke Kobayashi)

1. はじめに

近年、全国的に大雨によるダムの異常洪水時防災操作を行う事例が頻発している。このような洪水災害が相次いでいる現状を踏まえ、政府は全国的な治水能力の向上を図るため、洪水調節機能の無い利水ダムにおいても事前放流等の洪水対策を行う方針を表明した。

一方、近年は多くの水文情報と機械学習手法を用いた統計処理によりダム流入量予測を試みる手法が注目されている。坂本ら¹⁾は様々な機械学習手法でダム流入量と貯水位予測を比較し、スパースモデリングの一手法である Elastic Net を用いることで良好な予測結果を得た。しかし、機械学習手法に必要な多くの観測データが必ずしも得られない利水ダムの流入量予測が次の課題である。本研究では、過去に洪水時の流入量推定や予測が検証されてこなかった利水ダムにおいてダム流入量と貯水位の予測を試みた。

2. 研究方法

2.1 対象地点と対象事例

本稿では、北海道企業局が管理する利水ダムである幌別ダムを対象とし、ダム流入量と貯水位の予測を検証した。幌別ダムの流域図を図-1 に示す。予測対象事例は2000年以降の最大洪水事例である2017年9月事例とした。また、2000年以降の洪水事例で第2位以下の事例を学習情報として収集した。データはピーク流入量の観測日から前後3日分を使用した。

2.2 目的変数とその予測に用いる説明変数

本稿では、予測先行時間 (Lead Time, 以下 LT) をダム操作や避難に要する時間として6時間、夜間時の避難に要する時間として12時間の2ケースで検証した。それに伴い、モデルの目的変数をLT分の積算流入量とした。その理由は、1時間毎の予測とした場合、現業における事前放流などのダム操作判断にあたり、単位時間の流入量ではなく積算流入量に相当する貯水位が必要となるためである。

また、説明変数 (モデルへ入力する変数) には、ダム上流部の観測データである「流入量」、「流域平均雨量」、「積算流域平均雨量」、「予測雨量」、「積算予測雨量」、「実効雨量」、「予測実効雨量」を用いた。「流域平均雨量」は(一財)気象業務支援センターから購入したレーダー解析雨量を算術平均法により求めた値を使用し、「積算流域平均雨量」はLT前から現在時刻までの流域平均雨量の積算値とした。「予測雨量」はメソ数値予報モデル

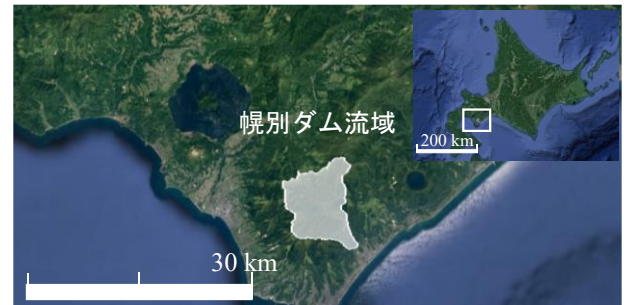


図-1 対象ダムの位置と流域図

(MesoScale Model, 以下 MSM)³⁾の予測雨量を使用し、「実効雨量」、「予測実効雨量」は降雨履歴を反映した土壌湿潤状態を表す指標である。

2.3 Elastic Net²⁾による統計モデル

Elastic Net はスパースモデリングの代表的手法で、正則化を用いた重回帰分析手法である。通常重回帰式と異なり、不要な説明変数の重み (係数) がゼロになる特徴を持つ。Elastic Net のコスト関数である $J(w)$ は重回帰式の重み w を用いた以下の式で表せる。

$$J(w) = \sum_{i=1}^n (y^{(i)} - \hat{y}^{(i)})^2 + (1 - \alpha)\lambda_1 \sum_{j=1}^m w_j^2 + \alpha\lambda_2 \sum_{j=1}^m |w_j| \quad (1)$$

ここで、 $y^{(i)}$ は実測値、 $\hat{y}^{(i)}$ は重回帰式から求められる予測値であり、第1項は二乗誤差である。第2項が L2 ペナルティと呼ばれる Ridge 回帰で、選択する変数の個数に影響を与える制約条件である。第3項は L1 ペナルティと呼ばれる Lasso 回帰で用いられる 0 以外の重みを持つ変数を少なくしようとする説明変数の削除を意図した制約条件である。Elastic Net はこの二つのペナルティ重み α と二つのペナルティの大きさを制御する λ_1 , λ_2 をハイパーパラメータとして最適化することで、少数のスパースな観測値からより良い重回帰式を求める手法である。また、ニューラルネット等の手法と異なりモデル内のパラメータ数が少なく、最終的なモデルも説明変数の線形結合であるため、解釈性が高いのが特徴である。

2.4 流入量予測値からの貯水位算出方法

本稿では以下に示す方法を用いて、貯水位を算出した。図-2 のように算出された積算流入量と現在時刻 t に観測された流入量を用いて積算値が保存されるように台形近似によって1h毎に按分し、流入量の予測値を仮定する。貯水位は以下の手順で算出する。

- a) 最初に時刻 t の流入量と貯水位により、操作規則に基づき今後1h ($t-t+1$) の放流量を設定する。

キーワード ダム水位予測 未経験洪水事例 機械学習法 Elastic Net

連絡先 〒050-8585 北海道室蘭市水元町 27-1 国立大学法人室蘭工業大学 TEL 0143-46-5276

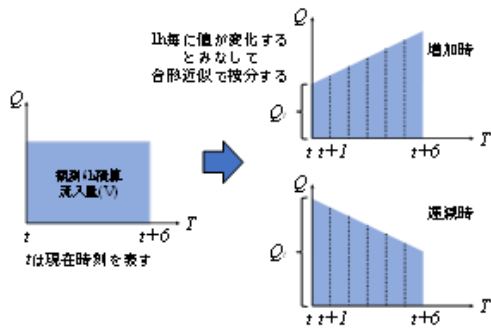


図-2 按分法イメージ図

例) LT=6h の場合 (tは現在時刻を表す)

放流量はその間一定とする。

- b) $t-t+1$ の流入量予測値と上記放流量から水収支計算により、時刻 $t+1$ の貯水量増減値 ΔV (m^3) を求める。
- c) $V_{t+1} = V_t + \Delta V$ で時刻 $t+1$ の貯水量を求め、貯水位-貯水量 ($H-V$) 関係より、時刻 $t+1$ の貯水位予測値 H_{t+1} (m) を求める。
- d) 上記手順を 1h 毎に繰り返し、所定の LT までの貯水位を予測する。

3. 結果と考察

3.1 積算流入量予測結果

6h 積算流入量, 12h 積算流入量の予測結果を図-3, 説明変数の重み上位3位を表-1に示す。結果より、予測では過小評価が見られた。これは図-4に示す通り、実測雨量と比較してMSMが過小評価しているためと考えられる。表-1の重み一覧から、流入量と予測雨量の重みが上位に来ており、積算流入量予測において流域面積の小さなダムでは現在時刻の流入量と予測雨量が大きな影響を与えたと考えられる。

3.2 貯水位, 放流量予測結果

次に、LT=6h, LT=12hにおける貯水位・放流量の予測結果を図-5に示す。貯水位予測は、LT=6h, LT=12hでピーク遅れもほとんどなく、貯水位上昇部では安全側の予測となった。

また、放流量予測ではLT=6hは概ね良い結果となったが、LT=12hでは違いもみられる。実際には今後の予測雨量や下流河川への影響等を総合的に勘案しながら放流を行う。そのような人為的な要因もあり予測精度は悪くなったと推察できるが、LT=6h, LT=12hにおいて全体的な傾向や結果としての貯水位は再現できているため、利水ダムにおいても異常洪水時の対応や事前放流などの判断材料になり得ると考える。

4. 結論

Elastic Netを用いることで、利水ダムである幌別ダムでも予測先行時間が最大12hまで流入量と貯水位の予測を行うことが可能である。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費（課題番号 JP20K04698, FY2020~2022）の支援を受けたものである。北海道企業局には、ダム諸量の資料を提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

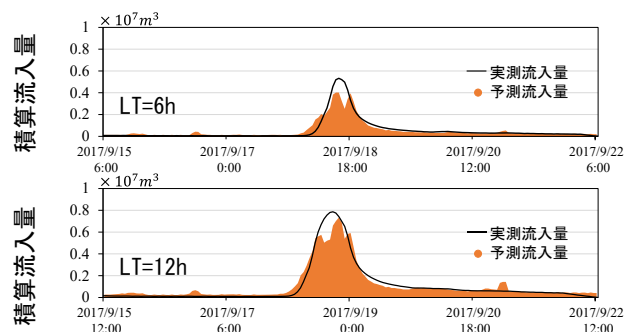


図-3 積算流入量予測結果

表-1 積算流入量予測結果重み上位3位

| | LT=6h | | LT=12h | |
|---|----------|-------|------------|-------|
| 1 | 現時刻の流入量 | 0.563 | 現時刻の流入量 | 0.389 |
| 2 | 1時間後予測雨量 | 0.188 | 12時間積算予測雨量 | 0.184 |
| 3 | 2時間後予測雨量 | 0.166 | 2時間後予測雨量 | 0.107 |

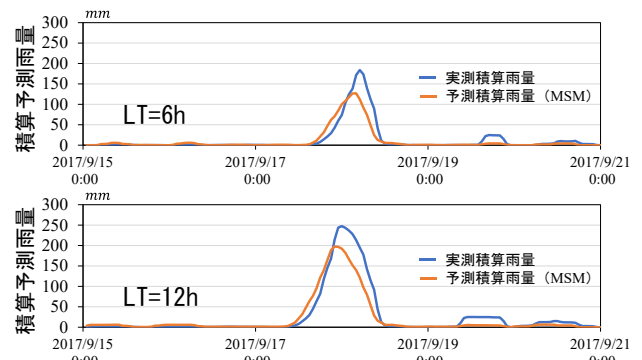


図-4 実測雨量とMSM雨量比較

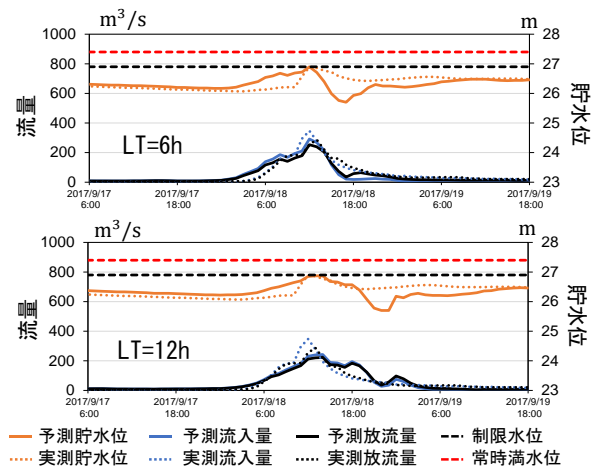


図-5 貯水位・放流量予測結果

参考文献

- 1) 坂本ら：異常洪水時のダム貯水位予測に用いる機械学習手法の比較，土木学会論文集 B1 (水工学) Vol.75, No.2, I_85-I_90, 2019.
- 2) Hui,Z. and Trevor,H. :Regularization and variable selection via the elastic net, Journal of the Royal Statistical Society, Series B67, pp.301-320, 2005.
- 3) 地球流体電脳倶楽部， <http://dennou-h.gfd-dennou.org/> (閲覧日 :2021/12/05)