

アンサンブル予測雨量を用いたダム流入量予測の研究

室蘭工業大学 ○学生員 渡辺 修 (Shu Watanabe)

室蘭工業大学 正 員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)

室蘭工業大学 非会員 小林洋介 (Yosuke Kobayashi)

室蘭工業大学 学生員 若狭谷昇真 (Shoma Wakasaya)

1. はじめに

近年、全国で集中豪雨が頻発しており、北海道においても2016年8月に4つの台風が連続して上陸及び接近し、広域にわたって甚大な被害をもたらした。その際、札内川ダムでは流入量が増大し、非常用洪水吐からの放流が行われた。近年、このような事態への対応を念頭に、被害の軽減につながるようなダムの操作に生かすため、流入量の予測精度向上が求められている。

そのため、近年は流入量と関係する情報を機械学習法で処理することで、ダムの流入予測を試みる手法が注目されている。本研究では、少ない情報から実態を再現するスパースモデリング手法の一手法である Elastic Net を使用し、学習する流入量予測モデルの入力変数（説明変数）に、不確実性を考慮した予測雨量としてメソアンサンブル予報（Meso-scale Ensemble Prediction System, 以下、MEPS）を使用し、複数の予測結果を複合させて幅を持たせたダムの流入量予測を行うことを目的としている。

2. 研究方法

2.1 対象地点と対象事例

本研究では、国土交通省北海道開発局が直轄管理する多目的ダムである札内川ダムを対象に、流入量の予測を行った。札内川ダムの流域形状を図-1に、その諸元を表-1に示す。また、札内川ダムの2006年以降の過去の大きな出水事例を表-2に示す。2006年から2022年までの水文情報を収集し、MEPSの運用が始まった2019年6月以降で最大の流入量が観測された2022年8月洪水事例を検証事例とした。学習事例には予測対象事例を除いた上位5位事例を用いることで、未経験事例予測とした。

2.2 目的変数とその予測に用いる説明変数

本研究では、目的変数と説明変数の次元を統一することを図り、積算流入量を流域面積及び予測先行時間（リードタイム、以下LT）で除して時間平均した6時間平均流出高（mm/h）、24時間平均流出高（mm/h）を目的変数とした。また、モデルの説明変数（モデルへ入力する変数）としたものを表-3に示す。ダム上流部の観測データである「流入量」は、国土交通省所管のデータを水文・水質データベースより取得し使用した。「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、「24時間平均流域平均雨量」は、24時間前から現在時刻までの流域平均雨量の積算値の時間平均値

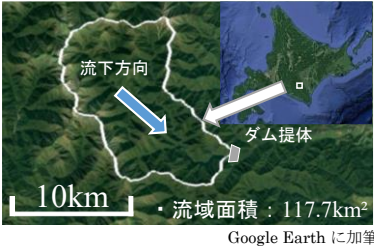


図-1 札内川ダムの流域

表-1 札内川ダムの諸元

型式		重力式コンクリートダム	
水系河川		十勝川水系札内川	
堤高	m	114.0	
堤頂長	m	300.0	
流域面積	km²	117.7	
総貯水容量	m³	54,000,000	
有効貯水容量	m³	42,000,000	
サーチャージ水位	m	484.0	
平常時最高貯水位	m	474.0	
洪水貯留準備水位	m	466.0	
最低水位	m	447.5	

表-2 札内川ダムの主な洪水事例と最大流入量

順位	事例	最大流入量 (m³/s)	3日雨量 (mm/3days)
1	2016/08/31 00:00	707	320
2	2022/08/16 11:00	674	212
3	2011/09/03 12:00	621	326
4	2014/08/11 08:00	532	193
5	2013/09/05 05:00	477	122
6	2017/09/18 13:00	350	175

※着色部分は予測対象事例 ※3日雨量は事例発生時刻の前後36時間の降水量

表-3 説明変数の諸元

項目	単位	データ概要
流出高	mm/h	時刻tの実測値
流域平均雨量	mm/h	時刻tの実測値
720時間平均実効雨量	mm/h	時刻tの計算値の時間平均値
24時間平均流域平均雨量	mm/h	時刻t-24~tの雨量積算値の時間平均値
予測雨量	mm/h	時刻t+1,t+2...t+LTの予測値
720時間平均予測実効雨量	mm/h	時刻t+1,t+2...t+LTの計算値の時間平均値
LT時間平均予測雨量	mm/h	時刻t~t+LTの予測雨量積算値の時間平均値

※tは現在時刻を表す。
※予測雨量は学習データに誤差分散及びMSM、テストデータにMEPSを使用。

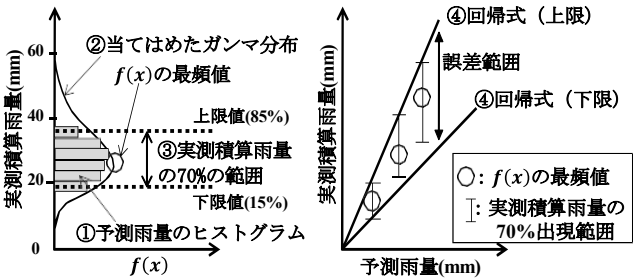


図-2 説明変数予測雨量の誤差範囲の推定方法

キーワード アンサンブル予測雨量 ダム流入量予測 未経験事例予測 機械学習法 Elastic Net iRIC-SRM

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

である。「予測雨量」は、学習データにはメソ数値予報モデル (MesoScale Model, 以下, MSM) による予測雨量及び MSM に誤差分散¹⁾を考慮したものの2通りの予測モデルを作成した。誤差分散の推定手順のイメージを図-2に示す。また、テストデータには「アンサンブル予測雨量」の日本気象株式会社より購入した MEPS を使用した。「平均予測雨量」は現在時刻から LT までの予測雨量の積算値を LT で除したものを使用している。

「720 時間平均実効雨量」, 「720 時間平均予測実効雨量」は、雨量の長期履歴を反映した土壌湿潤状態を表す指標の時間平均値である。実効雨量は次式で与えられる。

$$R_w = \sum 0.5^{\frac{i}{T}} \times R_i \quad (1)$$

ここで、 R_w は実効雨量 (mm/720h), R_i は*i*時間前の 1 時間雨量 (mm/h), T は半減期で長期的な土壌湿潤度を十分に考慮できるように 720 時間としている。

2.3 機械学習手法による予測

スパースモデリングの代表的手法である Elastic Net²⁾を用いる。この手法は正則化を用いた重回帰分析手法の一つである。Elastic Net のコスト関数 (損失関数) である $J(w)$ を次式に示す。

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

ここで、 n は学習データの数、 m は説明変数の数、 $y^{(i)}$ は時刻*i*における実測値、 $\hat{y}^{(i)}$ は回帰式から求められる時刻*i*における予測値、 w_j は説明変数*j*の重みである。第1項は二乗誤差、第2項が L1 ペナルティと呼ばれる Lasso 回帰で、説明変数の削除を意図した制約条件、第3項は 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。Elastic Net は、この2つのペナルティ重み α と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し、スパースな観測値からより良い回帰式を求める手法である。

2.4 貯留関数法による予測

本研究では、貯留関数法による流出計算が可能なソルバー iRIC-SRM として実装されている 2 段タンク型貯留関数法により流出計算を行った。また、既往最大の 2016 年 8 月洪水を対象にパラメータの最適化 (流出解析) を行い、得られたパラメータを予測対象事例の流出計算に適用した。

3. 結果と考察

3.1 MSM を学習させた予測

Elastic Net で MSM を入力として学習した流出高モデルの予測結果を図-3の左上に示す。LT=6h の場合、予測が過小評価されている。一方、LT=24h の場合、ピーク付近で安全側に評価しており、予測幅が実測を包含した結果を得られた。

3.2 誤差分散を考慮した MSM を学習させた予測

Elastic Net で誤差分散の上限値, 下限値を入力して学習した流出高モデルの予測結果を図-3の下側に示す。上限式を学習した場合、LT=6h だと、MSM を学習した結果と同程度の過小評価となっている。一方、LT=24h だと、MSM を用いた予測より過小評価されている。

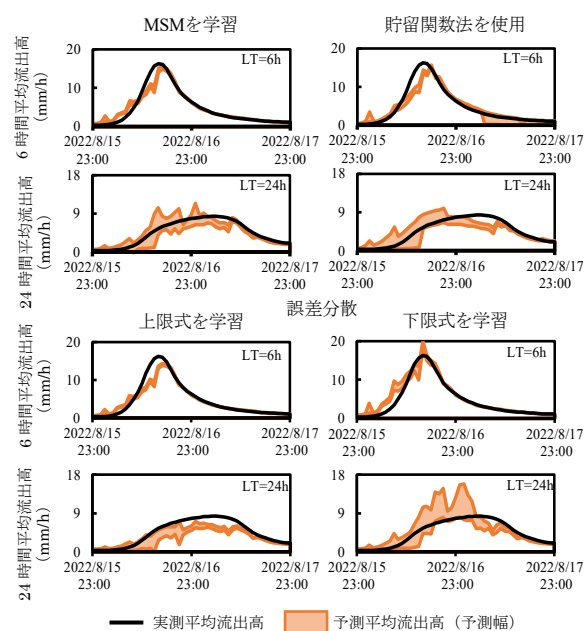


図-3 各 LT の平均流出高の予測結果

下限式を学習した場合、LT=6h で予測幅が実測を包含し、かつ安全側での予測が得られた。また、LT=24h だと、予測幅が実測を包含した結果となったが、予測幅が著しく広がっており、信頼度の観点から課題があると考えられる。

3.3 貯留関数法と Elastic Net の予測の比較

MEPS を入力値とした貯留関数法を使用した平均流出高の予測結果を図-3の右上に示す。貯留関数法の予測結果と Elastic Net で誤差分散の下限式を入力した場合の予測結果と比較すると、LT=6h の短時間予測の場合は誤差分散の下限式を用いた Elastic Net の予測結果が優れていることが分かった。また LT=24h の長時間予測の場合には、どちらも実測を予測幅が包含した結果となった。

4. 結論

本研究において得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 予測雨量の不確実性を考慮した Elastic Net によるダムの流出高予測は、最大 24h 先まで実測を包含した予測が可能である。
- 2) Elastic Net と貯留関数法による予測を比較すると、6h 先は Elastic Net の方が優れている一方、24h 先は両者が同程度となった。

今後は検証事例を増やし、適切な方法を見出したい。

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。また、(一財) 日本気象協会の臼谷友秀氏からは有益な助言をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 沖ら：近年発生した極端豪雨に対する数値予報降雨の適用性について、土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.4, I_1297-I_1320, 2015.
- 2) Hui, Z. et al.: Regularization and variable selection via the elastic net, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B67*, pp.301-320, 2005.