

Elastic Net による洪水時のダム貯水位予測の研究

Research on prediction of dam inflow during Flood using Elastic Net

室蘭工業大学 ○学生員 山洞智弘 (Tomohiro Sando)
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 坂本莉子 (Riko Sakamoto)

1. 研究背景

2016 年 8 月，北海道において 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。金山ダム，札内川ダムではダムへの流入量が増大し，異常洪水時防災操作を実施した。また，2018 年 7 月，西日本豪雨の際には愛媛県肱川上流部に位置する野村ダム，鹿野川ダムにおいて異常洪水時防災操作が実施された。さらに 2019 年 10 月，台風 19 号による豪雨の際には山梨県・神奈川県を流れる相模川上流部に位置する城山ダムにおいて異常洪水時防災操作が実施された。近年ダムの異常洪水時防災操作を余儀なくされる大雨事例が相次いでおり，被害を最小限に抑えるための対応を行う上で，迅速かつ精度の良いダム流入量，貯水位の予測が望まれている。

現在，国土交通省北海道開発局の現業部門で主に用いられているダム流入量予測手法は予測雨量を入力し，貯留関数モデル¹⁾で流入量を算出する方法である。このような概念モデルあるいは物理モデルによる流入量予測は，精度の良い予測雨量や汎用性のあるパラメータの設定が難しいなどで十分な予測結果が得られにくいことが課題である。

一方，近年は多量の水文情報と機械学習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。機械学習手法の活用に関して，田村ら²⁾は深層型の全結合型ニューラルネットワークを用いたダム流入量予測を行い，予測雨量が正確なものであれば 42 h 先までの予測が可能であることを示している。また，坂本ら³⁾は様々な機械学習手法によるダム流入量，貯水位予測を比較し，Elastic Net を用いることで良好な予測結果を得た。しかしながら，異常洪水時防災操作開始水位の到達時刻に遅れがみられるという課題がある。本研究では，先行研究³⁾で提案された Elastic Net による予測において，積

算流入量の差分を利用した遅れの改善を提案し，他のダム事例にも適用できるかを検証した。

2. 研究方法

2. 1 対象地点と対象事例

本稿では，国土交通省北海道開発局が管理する金山ダム，札内川ダム，豊平峡ダム，漁川ダムの 4 ダムを対象とし貯水位の予測を検証した。各ダムの流域図を図-1，諸元及び対象事例を表-1 及び表-2 に示す。

2. 2 目的変数とその予測に用いる説明変数

本稿では，先行研究³⁾と同様に予測先行時間 (Lead Time，以下 LT) に合わせて 6 時間積算値及び 12 時間積算値の流入量を目的変数とした。その理由は，1 時間毎の予測とした場合，降雨予測の精度が低いことと，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。

表-3 に示す予測に用いる説明変数 (モデルへ入力する変数) は，「流入量」，「土壌雨量指数」を時間値で使用し，それ以外の雨量データは LT 分の積算値を使用した。また，「流入量」，「流域平均雨量」，「地点雨量」は，国土交通省所管のデータを水文・水質データベース⁴⁾より取得し，「レーダー解析雨量」は (一財) 気象業務支援センターから購入した。この中で「地点雨量」はダムサイトで観測された雨量を示す。「土壌雨量指数」

表-1 各ダムの諸元⁴⁾

	金山ダム	札内川ダム	豊平峡ダム	漁川ダム
型式	中空重力式ダム	重力式 コンクリートダム	アーチ式 コンクリートダム	ロックフィルダム
水系河川	石狩川水系空知川	十勝川水系札内川	石狩川水系豊平川	石狩川水系千歳川
堤高	m 57.3	114.0	102.5	45.5
堤頂長	m 288.5	300.0	305.0	270.0
流域面積	km ² 470.0	117.7	159.0	113.3
総貯水容量	m ³ 150,450,000	54,000,000	47,100,000	15,300,000
有効貯水容量	m ³ 130,420,000	42,000,000	37,100,000	14,100,000
サーチャージ水位	m 345.0	484.0	474.88	176.5
異常洪水時防災操作 開始水位	m 343.7	474.0	472.58	174.0
平常時最高貯水位	m 345.0	474.0	474.88	164.3
洪水貯留準備水位	m 338.5	466.0	458.78	161.0
最低水位	m 320.0	447.5	437.68	154.6

表-2 各事例の概要

	事例日時	最大流入量 [m ³ /s]
金山ダム	2016年8月31日午前3時	1,556
札内川ダム	2016年8月31日午前0時	707
豊平峡ダム	2011年9月6日午前5時	534
漁川ダム	2014年9月11日午前7時	687



図-1 対象地点概略図

本稿では、まず、金山ダム、札内川ダムより上記3手法を比較する。次にその中で結果が最も良い手法を、他のダムに展開可能かを検証するため、豊平峡ダム及び漁川ダムの予測を行なう。

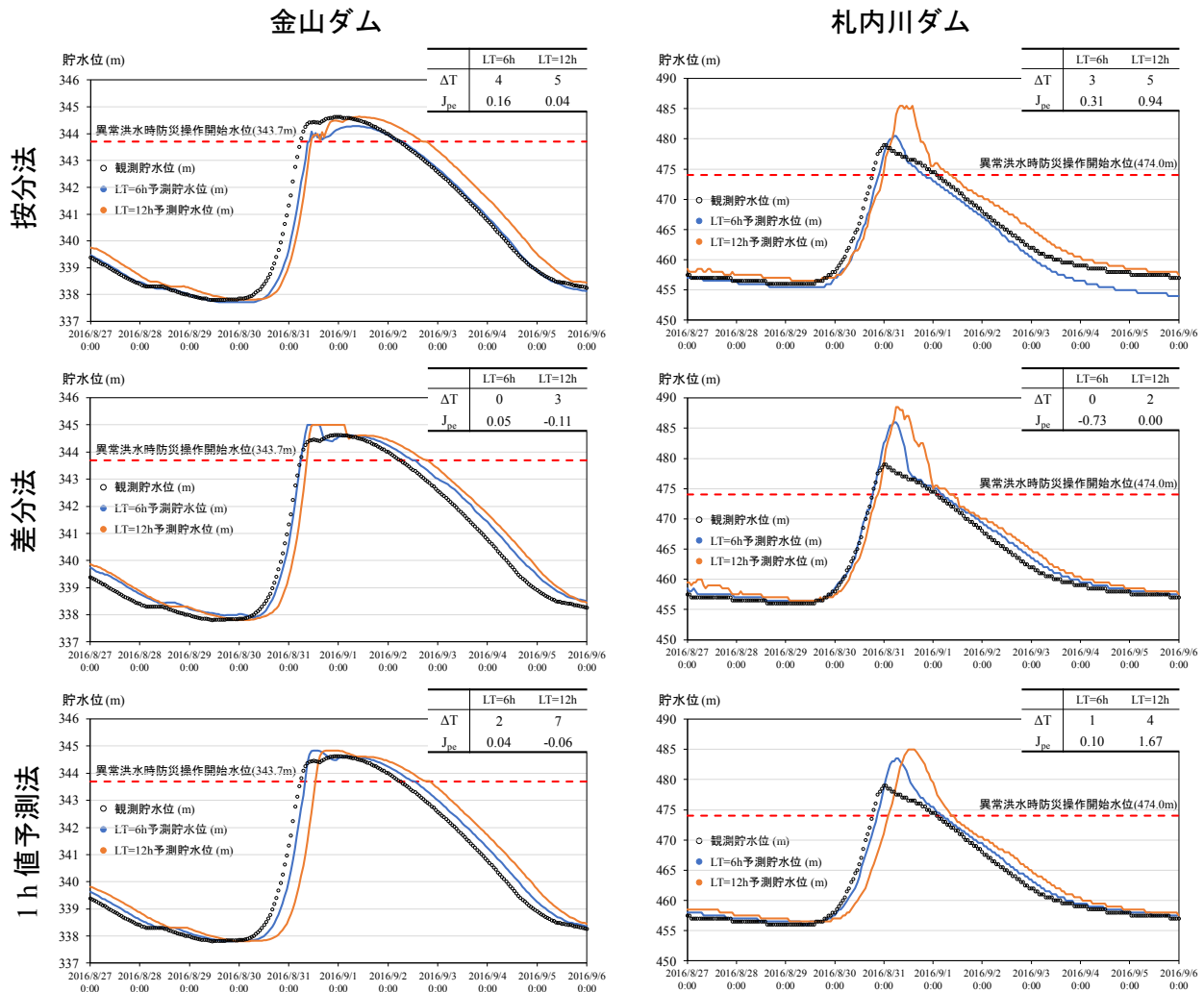


図-4 各手法における予測結果

3. 結果と考察

本稿で用いた精度指標は以下に示す評価水位到達時刻差 (h) (以下, ΔT), 観測ピーク相対誤差 (%) (以下, J_{pe}) を用いて行った.

$$\Delta T = T_o - T_c \quad (2)$$

$$J_{pe} = \frac{H_{op} - H_c}{H_{op}} \times 100 \quad (3)$$

ここで, T_o は観測値における評価水位到達時刻, T_c は予測値における評価水位到達時刻, H_{op} は観測ピーク貯水位 (m), H_c は H_{op} 同時刻の予測貯水位 (m) である. ΔT は金山ダム及び札幌川ダムでは異常洪水時防災操作開始水位到達時刻差, 豊平峡ダムでは洪水貯留準備水位到達時刻差, 漁川ダムでは平常時最高貯水位到達時刻差とする. なお, ΔT 及び J_{pe} の値が負になると安全側の予測であることを意味する.

3.1 金山, 札幌川ダムの貯水位予測手法比較結果

前章で示した各手法における金山ダム及び札幌川ダムの貯水位予測結果を図-4に示す.

結果より, 金山ダムでは LT=6 h では予測結果に大きな違いはみられないが, LT=12 h は ΔT が按分法, 1 h 値予測法それぞれで 5 h, 7 h の遅れが生じ, 差分法は 3 h の遅れにとどまった. 理由として, 時々刻々変化する流

入量を直線的に按分するのではなく, 算出された積算値の差分をとることにより 1 h 毎の流入量の変化を細かく再現できたためと考えられる. また, 1 h 値予測法では回帰式において目的変数と値の近い「流入量」以外のほぼ全ての説明変数の重みがゼロとなっていた. すなわち, 自己回帰 (AR) 式のような形となっており, 精度を高めるには新しい説明変数の追加や交互作用の利用も検討していく必要がある. この結果は札幌川ダムと金山ダムで同様であり, 差分法による貯水位予測が最も再現性が高かった.

以上の結果から, 差分法を用いることにより予測の遅れを改善でき, 観測ピーク時の貯水位も比較的安全側に予測出来ることが示された.

3.2 豊平峡ダム, 漁川ダムの貯水位予測結果

差分法による豊平峡ダム及び漁川ダムの貯水位予測結果を図-5 及び図-6 の上側に示す. 豊平峡ダムは金山ダム, 札幌川ダム事例と同様に ΔT の値が LT=6 h で-1 h, LT=12 h で 2 h と小さく, J_{pe} も良好に予測出来ている. しかしながら, 漁川ダムは ΔT が LT=6 h で 4 h, LT=12 h で 9 h と予測に大きな遅れが見られ, J_{pe} も 3 %以上となり十分な精度とはならなかった. 原因として, 2014 年 9 月事例は線状降水帯による短時間に集中する雨で急激な

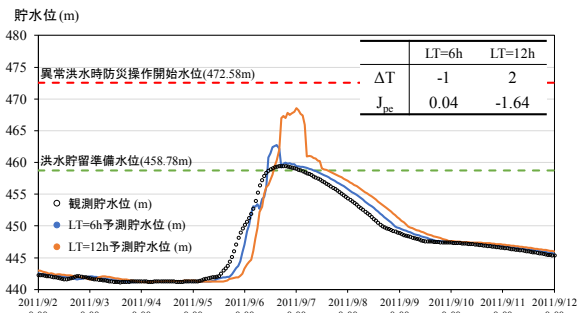


図-5 豊平峡ダム貯水位予測結果

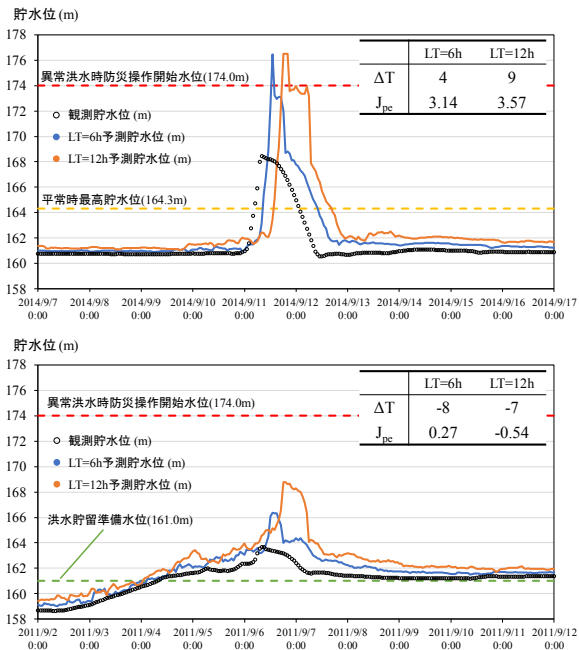


図-6 漁川ダム貯水位予測結果

2014年9月事例(上), 2011年9月事例(下)

流入量の変化があったことが挙げられる。

そこで、漁川ダムにおいて、テストデータと検証データを入れ替え、2011年9月事例の予測を行った。結果を図-6の下側に示す。また、この事例における ΔT は洪水貯留準備水位到達時刻差とした。2011年9月事例では ΔT がLT=6hで-8h、LT=12hで-7hと安全側に評価され、 J_{pe} も良好な予測となり、概ね予測出来ている。

以上より、急激な変化のある事例を予測することは現在の予測モデルの枠組みでは難しいことが確認された。これについて、現在は学習データを増やすために過去数年のデータを利用しているが、貯水位変化の大きい事例がない場合集中豪雨による急激な変化を表しきれないことが原因と考えられる。このため、説明変数への2乗項の導入など急激な変化の表現についてさらに検討する必要がある。

3.3 各説明変数の重みによる考察

Elastic Netにより算出された各説明変数の重み上位3位を表-5に示す。ここで、漁川ダムは2011年9月事例の予測による結果を記す。結果より、今回検証した4つのダムに共通して「流入量」、「土壌雨量指数」、「レーダー解析雨量」が上位にきている。従って、上記3つ

表-5 説明変数の重み上位3位一覧

順位	金山ダム		札内川ダム		豊平峡ダム		漁川ダム	
	LT=6h	LT=12h	LT=6h	LT=12h	LT=6h	LT=12h	LT=6h	LT=12h
1	流入量	土壌雨量指数	土壌雨量指数	土壌雨量指数	土壌雨量指数	土壌雨量指数	土壌雨量指数	土壌雨量指数
2	レーダー解析雨量	流入量	流入量	レーダー解析雨量	流入量	流入量	レーダー解析雨量	レーダー解析雨量
3	土壌雨量指数	レーダー解析雨量	レーダー解析雨量	流入量	レーダー解析雨量	レーダー解析雨量	流入量	流入量

の説明変数がダム流入量、貯水位予測に大きく影響することが示された。

4. まとめ

以上より本稿で得られた結果を以下に示す。

- 1) 差分法を用いることで、従来の按分法に比べ貯水位予測の遅れが改善された。
- 2) Elastic Netによる予測は、4つの検討事例の内3つのダムで既往第1位の事例への適用が可能であることを示した。
- 3) 漁川ダムの2014年9月事例のような急激な流入量の変化に関する予測は難しいが、その事例を学習させることでそれ以外の事例を安全側に予測することが可能であることが示された。
- 4) ダム流入量、貯水位予測には「流入量」、「土壌雨量指数」、「レーダー解析雨量」が大きく影響していることが説明変数の重みより考察された。
- 5) 4つの全てのダムにおいて予測雨量が無くても ΔT が3h、 J_{pe} が1%以下となり精度の高い予測結果を得られることが示された。

謝辞：本稿を進めるにあたり、北海道開発局札幌開発建設部及び帯広開発建設部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。

参考文献

- 1) (財)北海道河川防災研究センター・研究所：実践流出解析ゼミ 講義テキスト編、第10回、2006。
- 2) 田村 和則，加納 茂紀，三浦 心，山脇 正嗣，金子 拓史：ダム流入量長時間予測への深層学習の適用—ダム防災操作の効率化を目指して—，土木学会論文集B1（水工学），Vol.74，No.5，pp.I_1327-I_1332，2018。
- 3) 坂本莉子，小林洋介，中津川誠：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。
- 4) 北海道のダム事業 | 北海道開発局，https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/ud49g700000054b9.html（閲覧日：2019/12/02）
- 5) 国土交通省：水文・水質データベース，<http://www.l.river.go.jp/>（閲覧日：2019/12/02）
- 6) Hui, Z. and Trevor, H. : Regularization and variable selection via the elasticnet, Journal of the Royal Statistical Society, Series B67, pp.301-320, 2005。