

Elastic Net を用いた未経験洪水事例を対象とした河川水位予測

室蘭工業大学 ○学生員 若狭谷昇真 (Shoma Wakasaya)

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)

1. はじめに

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．このような水害を事前に予測し被害を軽減させるためには，防災・減災対策に要する予測先行時間（リードタイム，以下，LT と称す）の確保が望まれる．特に市街地に近い河川では洪水時における早めの適切な判断が住民の安全に影響するため，LT が長い水位予測が望まれる．

現在，国土交通省で導入が進められている水位予測手法は，対象流域をメッシュに分割して河道追跡と組み合わせた分布型流出モデルを基に，予測値と観測値の誤差修正を行うフィードバック手法が主流である．しかし，多くの不確実な誤差要因があり，満足な結果が得られない場合がある．そのため近年では，機械学習手法により水位そのものを使用し予測する方法が注目されている．坂本ら¹⁾は各説明変数の寄与度が算定できる機械学習手法の 1 つである Random Forest による水位予測手法を提案した．しかし，未経験事例への適用に課題がある．そこで，本研究では，近年注目されているスパースモデリング手法の一つである Elastic Net を使用し，未経験事例に対して，予測遅れの小さい水位予測を行った

2. 研究方法

2.1 対象地点と対象事例

本稿では，北海道を代表する大河川の十勝川，沙流川の最下流部を対象に水位予測を行った．各河川の概要と流域図を図-1，図-2 に示す．また，過去の洪水事例を表-1 に示す．予測対象とした既往第 1 位事例である 2016 年十勝川洪水は，4 つの台風が連続して上陸し，茂岩地点で計画高水位を超えた事例である．また，2003 年沙流川洪水も，富川地点で計画高水位を超え，二風谷ダムの異常洪水時防災操作が行われた特筆すべき事例である．これらの未経験事例を予測するために，学習データには過去の洪水事例上位 2～10 位事例を用い，期間は 1 か月とした．

2.2 目的変数とその予測に用いる説明変数

本稿では，LT を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 分先の観測水位とした．

説明変数には対象地点上流部の水文情報を用いる．十勝川においては「観測水位」のみを使用した．沙流川においては「観測水位」に加えて，上流の水位観測所が 4 か所のみとなっているので，レーダー解析

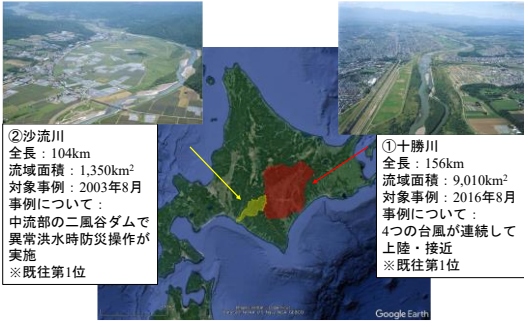


図-1 対象河川とその概要

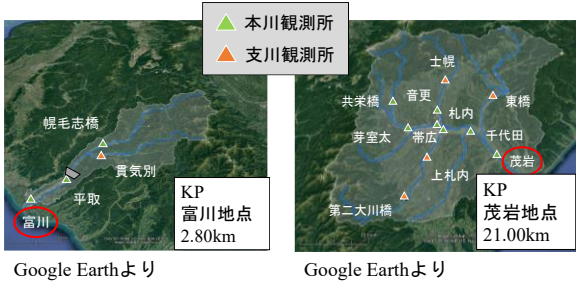


図-2 対象流域の概略図

表-1 過去の洪水事例

順位	十勝川		沙流川	
	事例年月	茂岩地点ピーク水位(m) (発生日時)	事例年月	富川地点ピーク水位(m) (発生日時)
1	2016年8月	12.68 08/31 11:00	2003年8月	7.61 08/10 04:00
2	2001年9月	9.64 09/12 12:00	2006年8月	6.47 08/19 06:00
3	2003年8月	8.93 08/10 13:00	2016年8月	5.54 08/23 12:00
4	2011年9月	8.48 09/06 12:00	2010年8月	5.2 08/12 20:00
5	1998年9月	8.46 09/17 04:00	2018年7月	3.73 07/11 11:00
6	2002年10月	8.18 10/02 17:00	2005年8月	3.54 08/22 17:00
7	2005年9月	7.03 09/04 15:00	2013年9月	3.35 09/17 02:00
8	2013年9月	6.89 09/17 06:00	2009年7月	3.31 07/20 00:00
9	2010年8月	6.79 08/13 05:00	2008年7月	3.19 07/23 12:00
10	2014年8月	6.71 08/11 22:00	2014年8月	2.82 08/11 17:00

雨量による「流域平均雨量」，「土壌雨量指数」，二風谷ダムの「流入量」，「放流量」を説明変数に加えた．「流域平均雨量」，「土壌雨量指数」は，沙流川本川と支川の額平川の合流部において，上流部と下流部の 2 流域に分割し，値を算出した．また，すべての値を 1 時間値で使用した．

2.3 予測放流量の検討

沙流川の LT=12 h の予測においては，実測の二風谷ダム放流量を予測放流量に見立てて使用した「みなし予測放流量」を説明変数に加えたモデルを新たに検討した．これは，対象地点上流部にある二風谷ダムが，水位予測に与える影響を考慮している．

キーワード 河川水位予測 未経験洪水事例 計画高水位 機械学習法 Elastic Net ダム放流
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

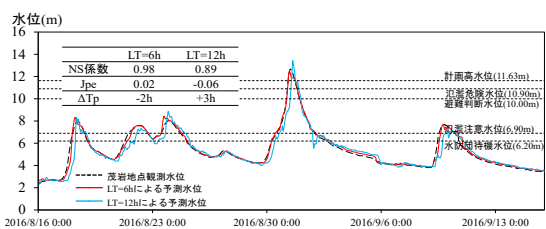


図-3 十勝川水位予測結果

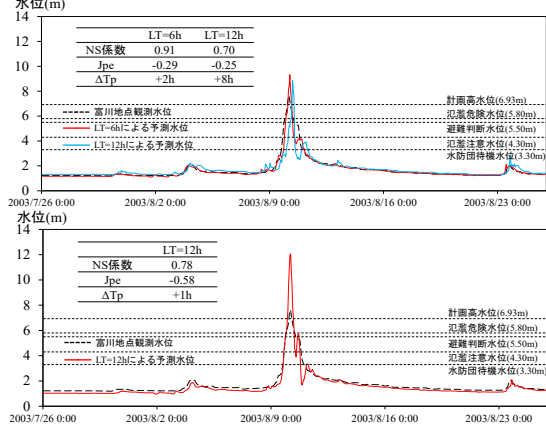


図-4 沙流川における水位予測結果
現況値（上），予測放流量あり（下）

2.4 Elastic Net²⁾による統計モデル

スパースモデリング手法の代表的手法である Elastic Net は、正則化を用いた回帰分析手法である。ニューラルネットワーク等の手法と異なり、算出される説明変数の重み（係数）から、各要素がどれほど予測に影響するか考察することが出来る。また、不要な説明変数の重みがゼロになる正則化という特徴を持ち、従来の重回帰分析より過学習になりにくいといった特徴を持つ。Elastic Net のコスト関数である $J(w)$ は以下の式で表せる。

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

ここで、 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。右辺の第 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（機械学習アルゴリズムの挙動を設定するパラメータ）として最適化することで、スパースな実測値からより良い回帰式を求める手法である。本手法は、学習範囲を最適化する深層学習を含む他の機械学習法がとる内挿問題最適化と異なり、線形結合式で表現されるため、外挿問題である未経験事例の予測に対して解の妥当性の検証が可能である。

本研究でのモデル学習では汎化性能を高めるため、学習データの交差検証（Cross Validation）を行なった。これはデータの分割を複数繰り返し、複数のモデルの学習平均値を最適化することで予測性能を高める手法である。こうして最適化されたハイパーパラメー

表-2 沙流川における説明変数重み

順位	予測情報なし	みなし予測放流量あり
1	現在富川水位	現在富川水位
2	現在放流量	LT=12h みなし予測放流量
3	現在上流域平均雨量	現在幌毛志橋水位
4	LT=-2h 平取水位	LT=10h みなし予測放流量
5	現在平取水位	LT=3h みなし予測放流量

タから得られる説明変数の重み w を用い、以下のような線形結合の回帰式を得る。

$$\hat{y}^{(i)} = w_0 + \sum_{j=1}^m w_j x_j^{(i)} \quad (2)$$

ここで、 $\hat{y}^{(i)}$ は時刻*i*における目的変数（時刻*i*+6 及び時刻*i*+12 の観測水位）、 $x_j^{(i)}$ は時刻*i*における説明変数*j*である。右辺の第 1 項は切片、第 2 項は回帰式の一般項を表している。

3. 結果と考察

3.1 十勝川水位予測結果

十勝川の水位予測結果を図-3、に示す。十勝川の茂岩地点では、2016 年洪水は計画高水位を超える未経験の事例であったが、LT= 6 h、LT=12 h においてピーク値が安全側、予測遅れが小さい水位予測が可能であった。

3.2 沙流川水位予測結果

沙流川の水位予測結果を図-4 に示す。現況値のみの予測は LT=6h であれば、適切な予測が可能であった。LT=12h であれば、計画高水位の観測に 7h の予測遅れがみられた。予測放流量を入れたモデルでは、予測遅れはないが、ピーク水位を過大評価した。これは、過去に異常洪水時防災操作が行われた事例が存在しないため、ダム操作の影響を受けピーク水位を過大評価したと考えられるが、予測遅れがないため避難時間の確保には最適なモデルであると考え

表-2 に説明変数の重みを示す。この結果から、富川地点の水位予測では、二風谷ダムの予測放流量の影響が大きいことが、重みからみても推察できる。

4. 結論

本研究で得られた結果を以下に示す。

- 1) Elastic Net を使用し、十勝川において未経験事例に対して適切な水位予測が可能であった
- 2) 沙流川では、予測放流量を使用することで、予測遅れのない未経験事例の水位予測が行えた

謝辞：本研究は、JSPS 科研費（課題番号 JP20K04698、FY2020～2022）及び（公財）電気通信普及財団の研究調査助成（FY2019～2020）、（一財）北海道河川財団を受けたものである。ここに記して謝意を表す。

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.