

大町ダムにおける AI を用いた流入量予測システムの構築について

杉田 萌・澤田 圭朗

大町ダム管理所(〒398 - 0001 長野県大町市 2112-71)

大町ダムは、AI 技術を活用したダム流入量予測システムを構築した。本システムは、時系列データの処理に優れた AI モデル「RNN モデル」を用いて 76 時間先までの流入量予測を実現した。ただし、RNN モデルは未経験の大規模洪水に対し、予測精度が低下する弱点があり、AI モデル「オートエンコーダ」での信頼度評価を行った。また、物理モデル「貯留関数モデル+粒子フィルタ」を用いて、流域の雨水貯留・流出を物理法則での計算(貯留関数)および、リアルタイムの観測データで予測を逐次修正する手法(粒子フィルタ)を組み合わせ、RNN モデルの弱点である、未経験の洪水でも安定した予測が可能となる。本稿では、上記システムの概要について報告する。

キーワード: ダム流入量予測, AI, RNN

1. はじめに

近年、気候変動による降水状況の変化や極端な豪雨の増加を背景として、ダム管理における意思決定の迅速化・高度化が強く求められている。大町ダム(長野県大町市)は、信濃川水系高瀬川に位置する多目的ダムであり、洪水調節・発電・水道用水・かんがい用水供給等を目的として管理されている。ダム流入量の精度高い予測は、適切な放流操作の前提条件となるが、従来の物理モデルのみによる予測では、気象条件の急変や未経験洪水に対応することが難しい場面もある。こうした状況を踏まえ、人工知能(AI)技術を活用した大町ダム流入量予測システムの構築した。本論文は、その成果として構築した流入量予測システムの概要と検証結果および、運用に向けた取組みを報告する。



図 1 大町ダム位置図

2. AI モデルについて

今回採用する AI モデルとして流入量予測に必要な時系列データの処理が、他の単純なモデルと比べ優位性があり、他ダムや他地方整備局で実績のある RNN (再帰型ニューラルネットワーク) を選定する。

3. データ整理

(1) 水文データの収集と異常値補正

AI モデルの構築にあたり、水文・水理・水質・水利データを収集し、整理した。①～⑤の収集データには欠測や入力ミスによる異常値が含まれており、これを AI の学習に用いると予測精度が低下する。そこで、流入量・流域平均雨量・放流量・貯水位等を重ねたグラフ作成・目視確認を行い、異常値は前後の時刻データの線形補完により補正した。

- ①大町ダム・高瀬ダム・七倉ダム H-V データ, H-Q データ
- ②レーダ雨量計メッシュデータ(C バンドレーダ:2004 年～2023 年)
- ③ダム・河川の諸量(時間データ・10 分データ)
- ④ダム地点気象データ
- ⑤洪水調整報告書

(2) 水文データの精度検証

AI モデルの構築に用いる水文資料の採用可否を判断するため、2019 年以降の年最大流入量を記録した 5 洪水を対象に地上雨量(転倒ます式雨量計での測定結果)と C バンドレーダ雨量(オンライン合成レーダ)を比較し精度検証をした結果、5 洪水でいずれも 7 割以上の相関関係を確認(表 1)し、前述 3. (1) におけるデータは学習に用いるものとして採用できると判断した。

表 1: 地上雨量・C バンドレーダ雨量の精度結果

出水	相関係数 (オンライン)	相関係数 (同時刻)	総雨量比 (オンライン)	総雨量比 (同時刻)
令和元年10月	0.904	0.928	1.095	1.087
令和 2年 7月	0.890	0.913	1.080	1.090
令和 3年 8月	0.901	0.927	1.162	1.129
令和 4年 6月	0.847	0.886	1.148	1.130
令和 5年 5月	0.787	0.805	1.118	1.009

4. ダム流入量予測 AI モデルの構築

(1) 七倉ダムを踏まえた大町ダム流入量予測

大町ダムの流入量は、上流に位置する七倉ダムからの放流量が大半を占める。そのため、七倉ダムの流入量と放流量を精度よく予測することが大町ダム流入量予測の精度向上に直結する。そこで下記のとおり七倉ダム(流入量予測)AI モデルを RNN で構築し、大町ダム AI モデルに導入した。

七倉ダム諸量データ(時間雨量・流入量・放流量・河川水位等)を用いた七倉ダム AI モデルで予測した結果と過去の洪水と比較した精度検証の結果、実測値と近い予測波形が確認された。(図 2) この結果により、七倉ダム AI モデルによる流入量予測は実用上の精度を有すると判断し、大町ダム流入量予測へ活用したところ、大町ダム AI モデルの予測は過去 8 回の洪水と比較した結果、実測値と酷似した予測波形が確認できた。(図 3)

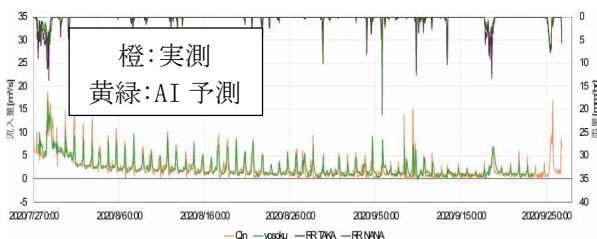


図 2: 七倉ダム流入量予測結果

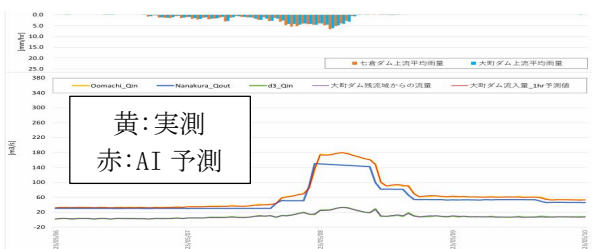


図 3: 大町ダム流入量予測結果

(2) 物理モデルによる流入量予測システムの構築

AI モデルは実績洪水を学習させ、流入量予測を行うため、既往最大を上回る規模の洪水や未経験洪水に対する予測精度が課題となる。そこで、未経験洪水の対応策として、物理モデル(物理法則を基に解析・計算)による流入量予測システムを構築した。これにより AI モデルの予測と物理モデルの結果を比較し異なる視点から流入量予測を行うことができる。また物理モデルの選定にあたり、以下の理由から貯留関数法+粒子フィルタを採用した。(表 2)

- ① 大町ダム流域は大半が森林(山地)かつ、流域面積が約 193km² 程度のため、貯留関数法のシンプルな数式で降雨後ダムに流入するまでの水の動き(流出現象)の解析が可能であること。
- ② 流出計算の精度を左右するパラメータは洪水ごとに最適値が異なるため、複数のパラメータで同時に流出計算を行い、観測データと照合しながら最も精度の高いパラメータを自動で選択・修正する粒子フィルタを適用し、洪水ごとの特性変化に柔軟に対応が可能であること。
- ③ 北陸地方整備局管内の先行事例(手取川ダム・横川ダム等)で同様の手法が適用されており、予測精度を確保していること。

表 2: 貯留関数法, パラメータ, 粒子フィルタ

貯留関数法	・流域雨水の貯留量, 河川流出量の関係値を計算 ・パラメータ値を用いて計算
パラメータ	貯留関数法の河川流出量計算に使う調整値
粒子フィルタ	パラメータ値をリアルタイムで自動修正

(3) オートエンコーダモデルによる予測信頼度評価

大町ダムは既往洪水数が少ないため、予測信頼度を評価する必要がある。そこで、観測データの特徴を自動的に学習した後、圧縮データとして保存(エンコード)し、予測信頼度評価を行う際、圧縮した学習データを復元(デコード)するオートエンコーダモデルを採用する(図 4)。復元で生じる圧縮データとの誤差を比較し、誤差が小さいほど予測信頼度が高いと評価する。一方、誤差が設定値より大きい場合、学習データと異なる特徴を持つ未経験洪水と判断し、システム上でアラート通知する。

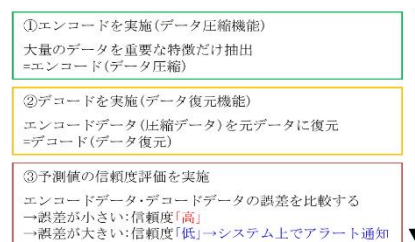


図 4: オートエンコーダモデルの仕組み

5. 管理支援システムの構築

(1) 管理支援システム構成

大町ダムの洪水時および事前放流時のダム操作を支援するため、これまでの検討で構築した各モデル・機能を統合した管理支援システムを構築した。管理支援システムは、以下の5機能を有する。

① 大町ダム流入量予測機能

4. (1) (2)における大町ダム流入量予測

② 予測信頼度評価機能

4. (3)におけるオートエンコーダモデルによる信頼度評価

③ 貯水位予測機能

H-V 曲線・放流操作ルールに基づき、流入量予測値から貯水位を逐次予測

④ 異常洪水時防災操作支援機能

貯水位が常時満水位 EL900.00m を超過する予測、または流入量が計画高水 630m³/s を超過する予測の場合に、アラート表示およびただし書き操作への移行上申資料作成支援

⑤ 事前放流操作支援機能

基準降雨量に基づく事前放流判断支援

6. 大町ダム AI モデルの画面

流入量予測システムの画面レイアウトについて機能説明を以下に示す。(図5)

- ①貯水位、流入量、放流量、雨量の実績値および予測
- ②予測信頼度
- ③流域平均雨量の実績値および予測値
- ④①～③に表示した各項目のデータ
- ⑤表示対象時刻の選択
- ⑥予測履歴
- ⑦AI モデル・物理モデルの切り替え
- ⑧システム稼働状況

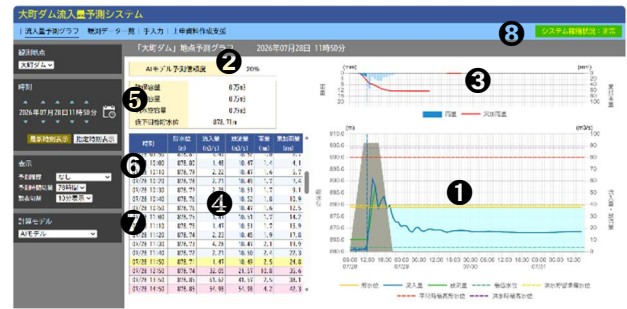


図5:画面レイアウト

7. おわりに

(1) 検証結果のまとめ

- ① AI モデルを用いた洪水期の流入量予測モデルを構築し、過去の洪水実測値に対する良好な再現性を確認した。
- ② 物理モデル(貯留関数法+粒子フィルタ)を構築し、未経験洪水へ対応可能なモデルを実現した。
- ③ オートエンコーダモデルの機能により、未経験洪水に対し、予測結果の信頼度の評価が可能となった。

(2) 本運用に向けた課題と目標

現在、管理支援システムの運用は試験運用にとどまっており、システム導入後に洪水発生がないため、実際の洪水に対しての確認と新たな学習データの構築ができていないことが現状である。そのため、今後洪水が発生した際には、構築した各モデルの予測精度を検証行う必要がある。また、洪水データの蓄積を図った後、改めて学習データを追加することで、RNN モデルおよび物理モデルの予測精度向上が期待できる。本運用に向けたさらなる精度向上・安定稼働を目指し、継続的な検証・改良を重ねていく。