

ダム型紙操作における D4PDF クラスタリング指標の開発およびアンサンブル予測の
不確実性を取り入れた操作最適化

Development of D4PDF Clustering Metrics for Dam Pattern Operation and Operational
Optimization Incorporating Ensemble Prediction Uncertainty

○成瀬 諒絃・庄内 結南・小柴 孝太・川池 健司・和田 桂子

○Akihiro NARUSE, Yuna SHONAI, Takahiro KOSHIBA, Kenji KAWAIKE, Keiko WADA

In recent years, the increasing frequency of heavy rainfall associated with climate change has required dam operations to implement flexible flood control that accounts for forecast uncertainty. Although ensemble forecasts explicitly represent uncertainty, their large information volume makes them difficult to use directly for operational decision-making. In this study, we propose a dam pattern operation, in which operation strategies are designed in advance according to the characteristics of dam inflows derived from ensemble forecasts. To estimate inflow, we introduce a high-speed prediction method using deep learning, with a distributed runoff model used as a reference, thereby achieving computational efficiency suitable for real-time operation. In addition, we propose a new flood magnitude index, termed NRS inflow, defined based on reservoir storage capacity, and apply clustering based on inflow magnitude and hydrograph shape combined with uncertainty-aware optimization. Application to past flood events demonstrates that the proposed approach can reduce peak release while avoiding emergency flood control operations.

1. はじめに

近年、気候変動の影響により、我が国では豪雨や大規模洪水が頻発しており、将来にわたる洪水被害リスクの増大が懸念されている。山地が多く河川が短く急勾配である日本では、降雨が短時間に集中しやすく、ダムは洪水調節および利水の両面において極めて重要な社会基盤である。しかし、近年発生している豪雨はダムの計画規模を上回る場合も多く、洪水調節中にダムが満水となり、十分な治水機能を発揮できない事例が生じている。

こうした課題に対し、事前放流による治水機能の強化が進められているものの、降雨予測が外れた場合には利水上の損失が生じる可能性があり、運用判断には高い不確実性が伴う。このため、近年では予測の不確実性を明示的に扱うことが可能なアンサンブル降雨予測の活用が進められている。一方で、アンサンブル降雨予測は不確実性を含めた豊富な情報を有する反面、その情報量の多さゆえに、そのままではダム運用の意思決定に直接活用しにくいという課題がある。

そこで本研究では、アンサンブル降雨予測を用いて想定されるダム流入量の特性ごとに複数のダム操作方針をあらかじめ準備し、予測情報に応じ

てそれらを選択・調整する運用枠組みを提案する。これにより、洪水貯留機能の拡大と無効放流の抑制を両立した、実用的なダム運用の実現を目指す。

2. 方法

本研究では、ダム操作の意思決定を簡便かつ実用的に行うため、あらかじめ代表的な流入特性に対応した操作候補（型紙）を用意し、予測情報に応じてそれを選択・調整する「ダム型紙操作」を採用した。型紙作成のため、まず大規模アンサンブル気候データである d4PDF を用い、降雨ではなくダム流入量波形に基づくクラスタリングを行った。これは、ダム操作が降雨そのものではなく流入量に直接依存するためである。

流入量を用いるため、降雨から流入量への変換が必要となる。本研究では分布型流出モデル 1K-DHM を基準モデルとして用いたが、リアルタイム運用への適用を考慮し、深層学習（CNN・RNN・UNet を組み合わせたモデル）による高速な流入量概算手法を構築した。これにより、精度を保ったまま大幅な計算時間短縮を実現した。

ダム操作については、一定量放流方式と一定率一定量放流方式の双方を対象とし、異常洪水時防

災操作の発生特性と最大放流量の関係を整理した。その上で、アンサンブル予測の不確実性が大きい場合には、一定率一定量放流方式における放流率を高めるという運用方針を提案した。

さらに、ダム操作を考慮した規模指標として、貯水容量を基準に定義した NRS 放流量を導入し、これを用いて d4PDF 流入波形を規模別にクラスタリングした。NRS 放流量は流入波形の長さに依存しないため、異なる継続時間の洪水に対しても比較可能である。加えて、波形形状そのものについても、ピーク時刻を中央にシフトし正規化した上で別途クラスタリングを行った。

これらにより、規模 5 クラスターと波形 4 クラスターを組み合わせた計 20 クラスターを構築し、さらにアンサンブル予測の不確実性（標準偏差）に応じて最適化範囲を切り替える 3 段階の最適化枠組みを構築した。

3. 結果

構築した深層学習モデルによる流入量概算は、1K-DHM に比べて十分な精度を保ちつつ、計算時間を大幅に短縮でき、51 メンバーのアンサンブル予測に対しても実用的な時間内でマッチングが可能となった。

NRS 放流量を用いた規模クラスタリングにより、ダム貯水挙動と直接結びついた流入特性の分類が可能となり、異なる長さの洪水波形に対しても一貫した比較ができることを確認した。また、

波形クラスタリングではピーク位置や立ち上がり特性の違いを適切に反映でき、過去洪水事例に対するマッチング精度も向上した。

20 クラスターそれぞれに対して最適化を行った結果、アンサンブル予測の不確実性を考慮しない場合には、上振れ時に異常洪水時防災操作が発生しやすいことが確認された。一方、予測の標準偏差に応じて最適化対象を切り替える stage 分類を導入した結果、2018 年台風 21 号および 24 号の事例において、異常洪水時防災操作を回避しつつ、最大放流量を実績値より低減できることを示した。

4. まとめ

本研究では、アンサンブル予測の不確実性を前提としたダム型紙操作の枠組みを提案し、流入量に基づくクラスタリングと不確実性対応型の最適化手法を統合した。ダム操作と直接結びつく NRS 放流量を用いることで、異なる継続時間の洪水に対しても比較可能な規模評価を実現し、さらに波形特性を分離して扱うことで柔軟な型紙設計を可能とした。

その結果、過去洪水事例において最大放流量の低減と異常洪水時防災操作の回避を両立できることを示した。今後は、本手法の特性を活かし、洪水の開始・終了時刻が未確定な段階での運用への適用や、型紙数削減を含めた実運用への展開を検討する予定である。