

AI強化学習によるアンサンブル予測を用いた ハイブリッドダム運用に関する研究

株式会社 建設技術研究所
東京本社 水システム部

三浦 心・佐藤 康晴・石川 こより

ハイブリッドダムについて

現状では固定化されている治水・利水容量を降雨予測を活用することで弾力的に運用し、治水・利水機能の向上を図る新しい運用手法や取り組み

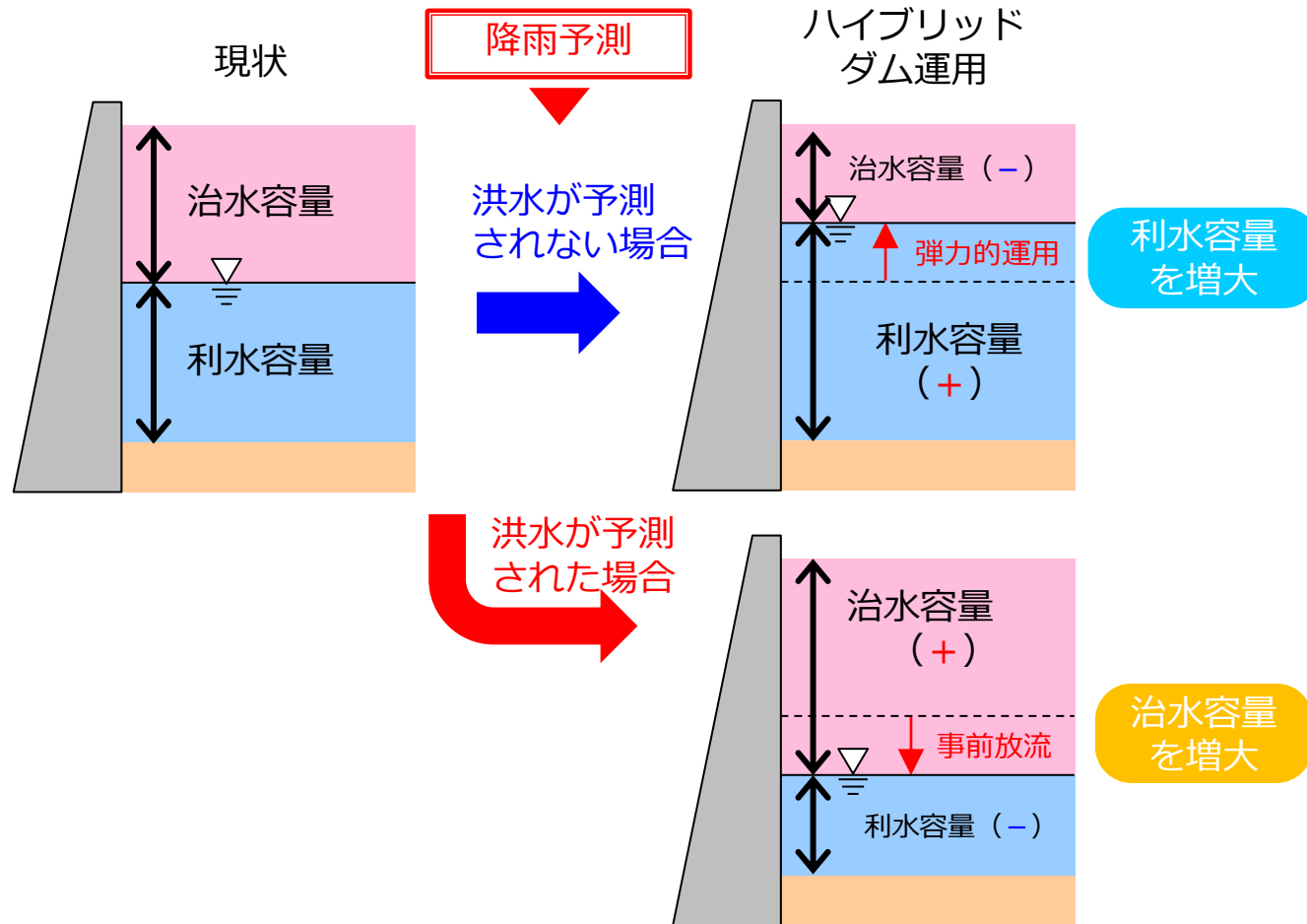


図. ハイブリッドダム運用のイメージ

アンサンブル降雨予測活用の課題

様々なフェーズに応じて、
アンサンブル降雨を用いた判断
⇒基準設定が難しく複雑化

表.アンサンブル降雨予測の活用例

フェーズ	操作	必要な予測期間	アンサンブル降雨予測の活用方法(例)
平常時	弾力的管理	3日～	上位予測※ ¹ でも水位低下可能な貯水位を維持
洪水前	事前放流 (洪水準備発電放流)	5日～	上位予測※ ¹ で貯水位がS.W.L.を超える場合、下位予測※ ² で貯留可能な分だけ水位低下
洪水中	特別防災操作	～3日	上位予測※ ¹ で判断
洪水後期	洪水後期の緩やかな放流	3日～	上位予測※ ¹ で洪水が予測されない場合に実施

※¹ 上位予測：アンサンブル予測の上位10% (90%ile) の予測値

※² 下位予測：アンサンブル予測の下位10% (10%ile) の予測値

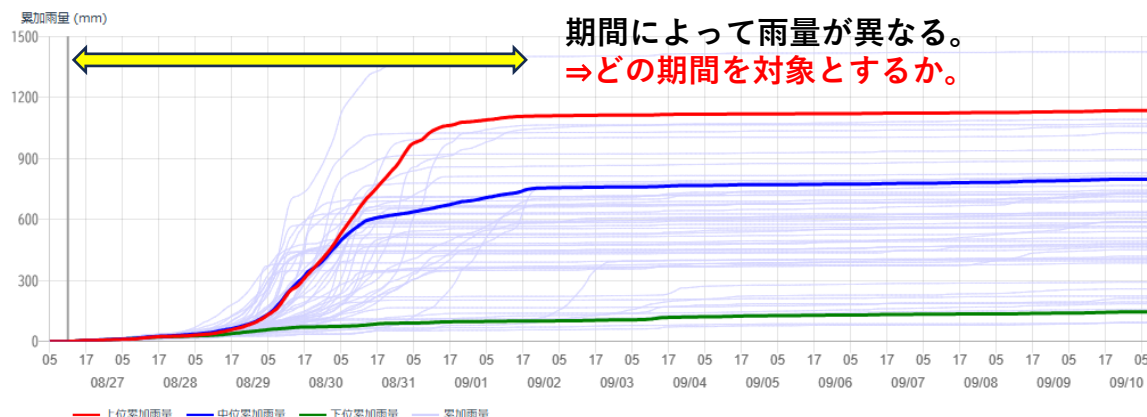


図. アンサンブル降雨予測 (累加雨量) の一例

背景と目的

背景

- アンサンブル予測を用いたダム運用の有用性が確認されている一方で、アンサンブル降雨予測の活用が難しく、導入がなかなか進まない。
- アンサンブル予測の幅が大きく、判断が難しい。
- 様々な場面で様々な指標を用いて判断するため、基準が煩雑になりやすい。
- 設定されたルールが最適化されているか判断が難しい。



目的

AIによって簡便にアンサンブル降雨予測を活用したダム運用を最適化し、高度なハイブリッドダム運用を実現する。

検討対象ダム

対象ダム：草木ダム（利根川水系渡良瀬川）

選定理由：洪水は全て台風性（前線性に比べて予測精度が高い）

治水容量が小さい（相当雨量：草木ダム79mm/全国平均130mm）

近年において大きな洪水を経験

（令和元年台風19号において、事前放流により異常洪水時防災操作を回避）



利根川水系の主な水資源開発施設

河川の諸元	
水系名	利根川水系
河川名	利根川
幹川流路延長	322km
流域面積	16,840km ²
流域内人口 (河川現況調査H22)	約1,309万人
流域都県	茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都
経済活動 (県民経済計算R1)	1都5県の県内総生産 1,932,673億円 (全国合計の約3割)

出典：利根川水系利根川・江戸川河川整備計画
(令和2年3月変更)



出典）草木ダムHP

使用したアンサンブル予測雨量

使用アンサンブル：気象庁 週間アンサンブル

選定理由：① JWA アンサンブルに比べて安価で導入しやすい。

(リアルタイムデータ費用：1 流域あたり JWA アンサンブル約100万円/年、気象庁約15万円/年)

② 本研究では誤差の大きい週間アンサンブルでもそれなりに使えることを示したかった。

表 9 提供されているアンサンブル予測雨量情報の例

提供データ	分解能	予測の 先行時間	出力情報	更新頻度	アンサンブルメンバー	元になるデータモデル や手法等	提供元
メソアンサンブル	5km	39 時間先	3 時間降水量	6 時間毎	21	MSM に摂動 (ばらつき) を加えた複数の予測で 予測の不確実性を評価	気象庁
週間アンサンブル	27km 42km	132 時間先 264 時間先	1 時間降水量 3 時間降水量	12 時間毎(台風時のみ) 12 時間毎	51	GSM に摂動 (ばらつき) を加えた複数の予測で 予測の不確実性を評価	気象庁
2 週間アンサンブル 1 か月アンサンブル	27km 42km	432 時間先	3 時間降水量	24 時間毎 火・水に 1 回	51 25		
ECMWF アンサンブル	25km	144 時間先 360 時間先	3 時間降水量 6 時間降水量	12 時間毎	51	ヨーロッパ 中期予報センターモデル	ヨーロッパ 中期予報センター
JWA アンサンブル ※SIP による開発	5km (1km 注)	360 時間先	1 時間降水量	12 時間毎	51	ECMWF アンサンブル予測をも とに統計補正+深層学習 で高解像度化	気象協会
季節アンサンブル (全球モデル)	大気：約 55km 海洋：約 25km	240 日	日降水量	24 時間毎	5	GSM に摂動 (ばらつき) を加えた複数の予測で 予測の不確実性を評価	気象庁

※表の色の凡例：青：数値予報、緑：数値予報+統計的補正

注：ダム流域では1kmの分解能を実現しているところもある。

出典) ダムの流水管理におけるAI活用の留意事項案について(R6.4改訂)

※一部加筆

ハイブリッドダム運用モデル

本研究では、アンサンブル降雨予測から流入ボリュームを求め、それらを入力データとして運用の目標とする水位（目標水位）をAIにより提案

⇒最適な運用方法をAIにより提案

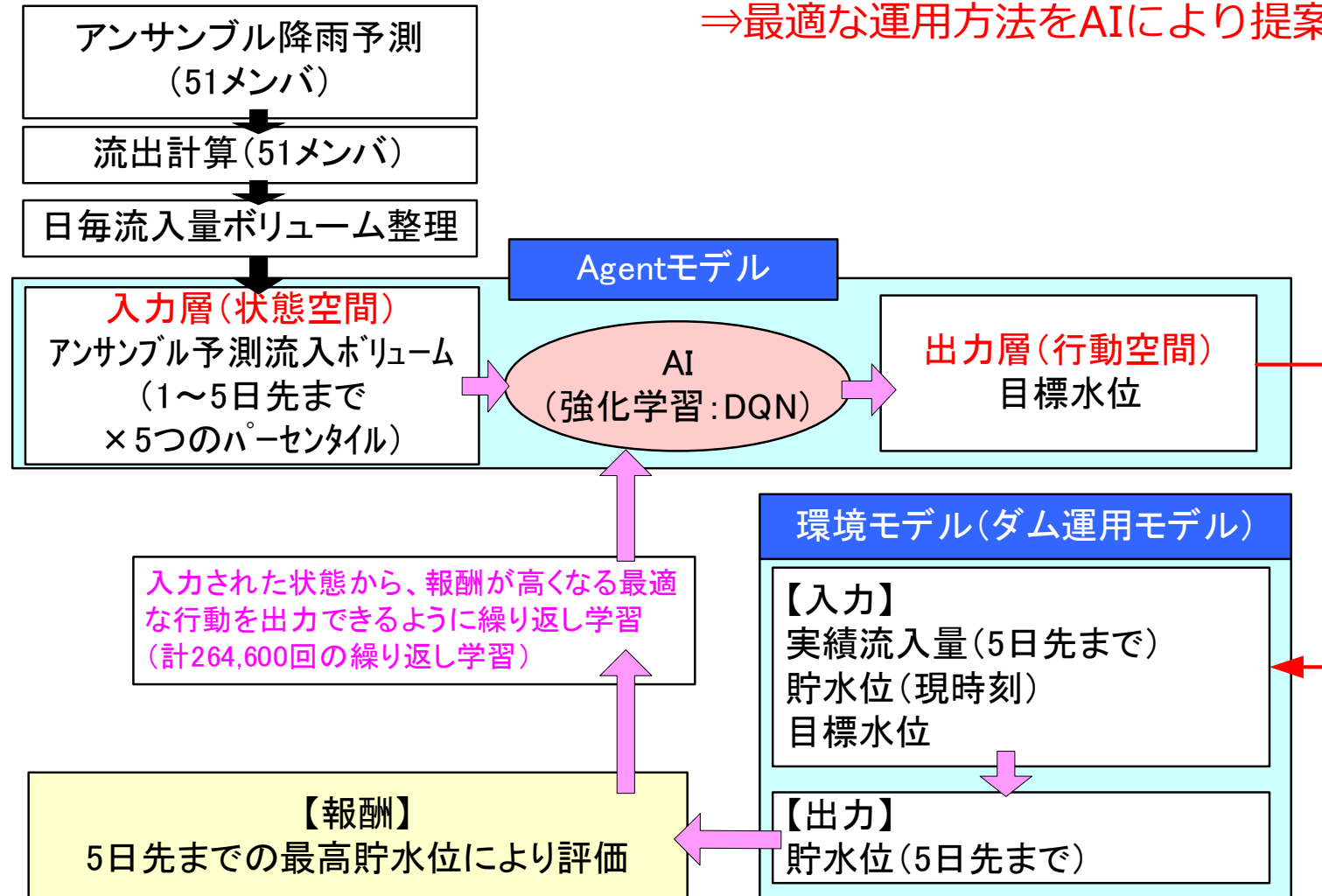
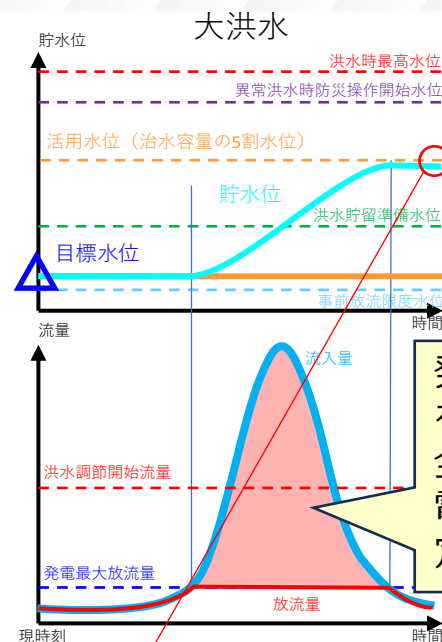
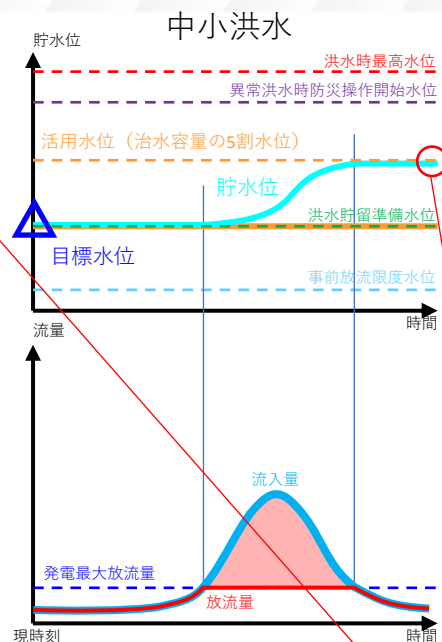
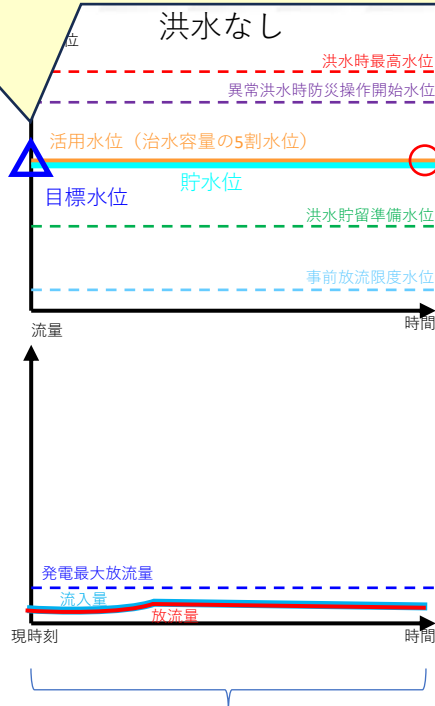


図. 強化学習アルゴリズムの全体構成

目標水位は、アンサンブル予測から、今後5日先までの最高水位が活用水位になる現時点での貯水位

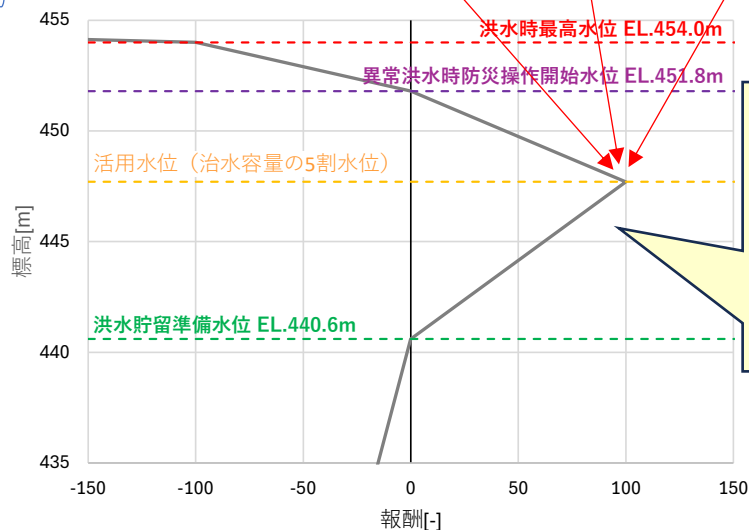
目標水位の設定と報酬の与え方



発電最大放流量を超える流水は、全て貯留して発電することを想定

5日先まで

報酬の高い水位を上げるほど、ハイブリッドダム運用の活用範囲を広げることができる。



5日間、流水を発電しながら貯留した場合に、最高貯水位が5割水位 (活用水位) になる目標水位に高得点を与える。

学習方法

大項目	小項目	内容	備考
強化学習 モデル	学習アルゴリズム	DQN (Deep-Q-Network)	
	入力データ	1～5日先までの1日毎の 流入ボリューム (5,25,50,75,95%ile)	5日×5%ile ※GEPSの精度が5日後まで比較的高いことから5日間 とした。
	出力データ	目標水位	活用水位(EL.447.7m)～限度水位(EL.427m) の概ね1mピッチ (22水位)
	ネットワーク構造	入力層：25 中間層：3層×7～25ノード (tanh) 出力層：1	
	学習率の設定方法	Adam (初期値0.001)	
	エピソード数	264,600	
	行動選択	ϵ -greedy-annealed法($\epsilon=0.1$ 一定)	
	報酬の与え方	5日先までの最大発電量以上の 流水を貯留した場合の最高貯 水位により評価	
学習 データ	アンサンブル雨量	2017～2025(9年分)のGEPS (各年の6/1～10/20)	1日2回 (出水時のみならず平常時も含め て全て学習データとした。)
	流出解析手法	RRIモデル	流出ボリュームが実績と合うようにキャ リブレーションしたパラメタを使用

ハイブリッドダム運用モデル 検証結果

洪水の発生が予測されない場合には、
目標水位を高くし、流水を貯留
⇒発電に寄与しない放流少

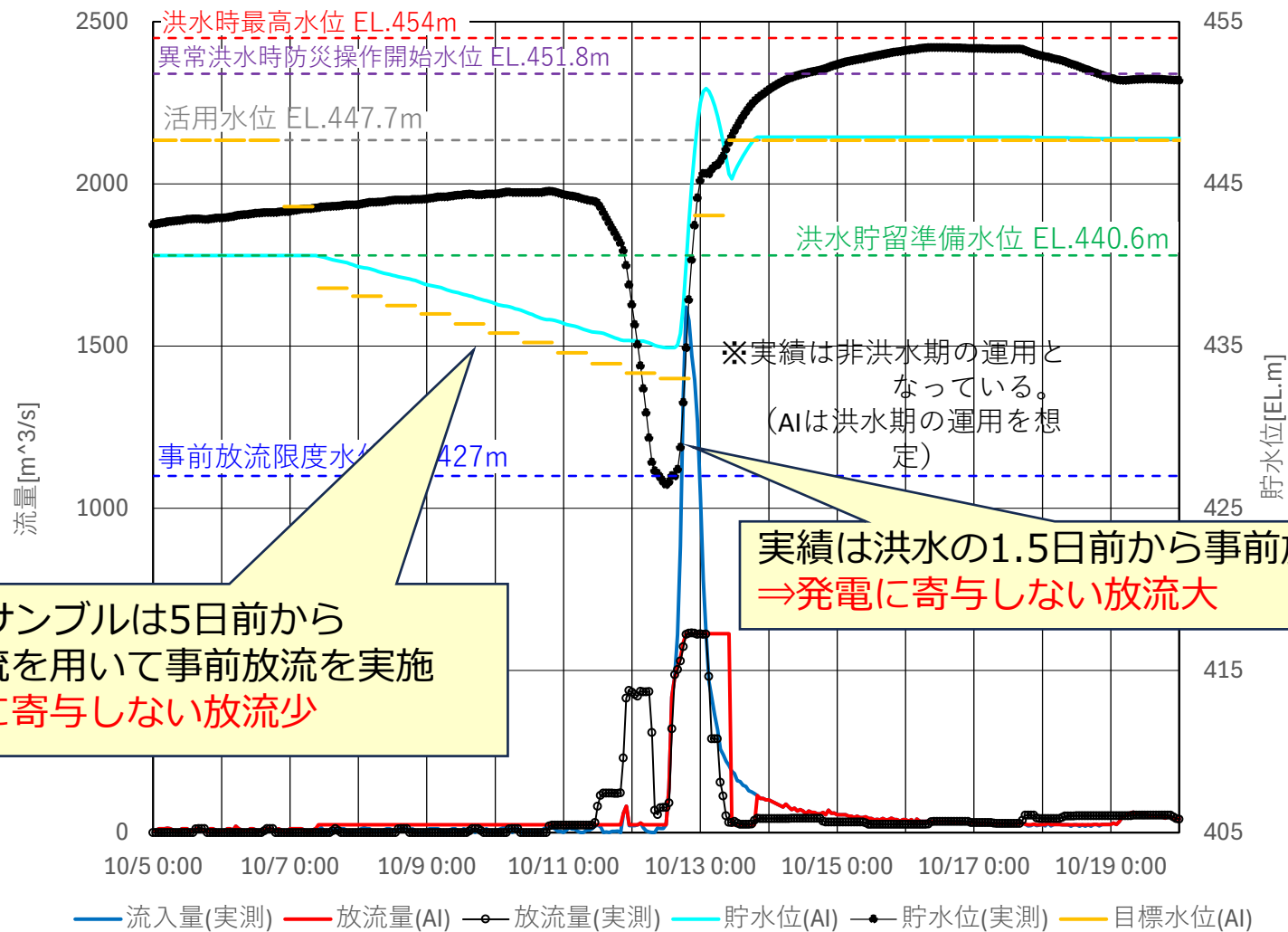


中小出水では、流水を貯留し発電に活用

大洪水が予測された場合、発電放流を活用しながら長時間（5日）をかけて事前放流（水位を低下）

図. ハイブリッド・ダム運用検証結果（2019年6月1日～10月25日）※交差検証結果

事前放流の実施状況



発電増加量

年平均12%の増電効果
(平均約5千万円/5ヶ月の増収)
⇒発電に寄与しない放流を全放流
の19%から11%に低減

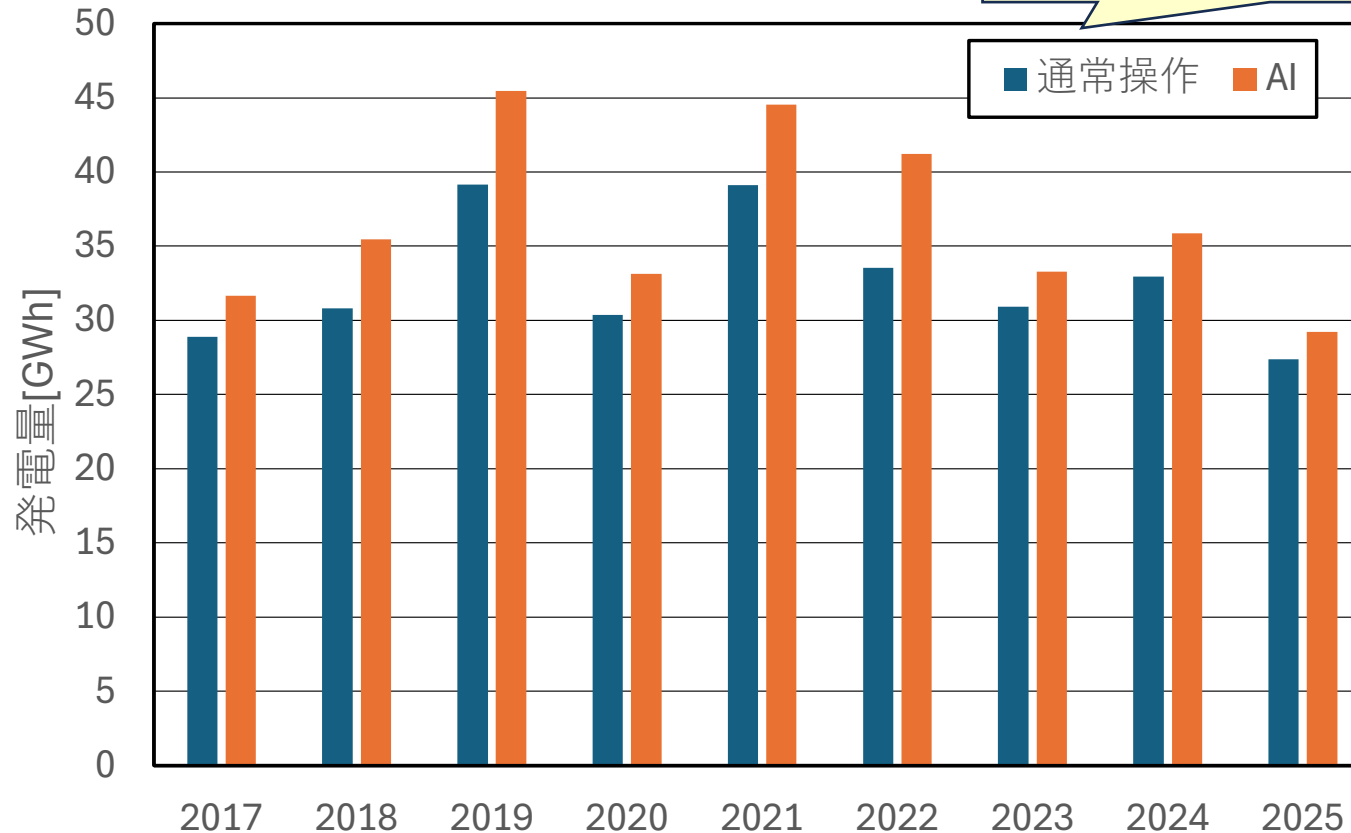
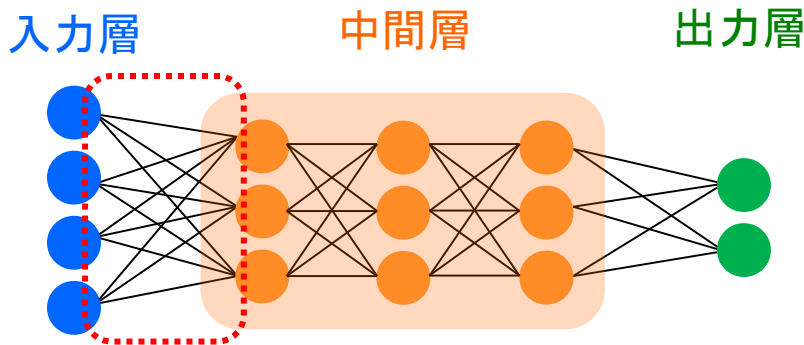


図. ハイブリッド・ダム運用検証結果（発電量の比較）

入力データの寄与度の可視化

AIの出力はブラックボックスだが、下記のMean Absolute Weightのような方法により、どの入力データの寄与度が高いか可視化できる。

⇒寄与度の高い入力データを用いて運用すれば、AIと同じような判断ができる可能性がある。



Mean Absolute Weight:
入力層から中間層の重みの
絶対値を平均化したもの。
⇒入力データ寄与度を評価

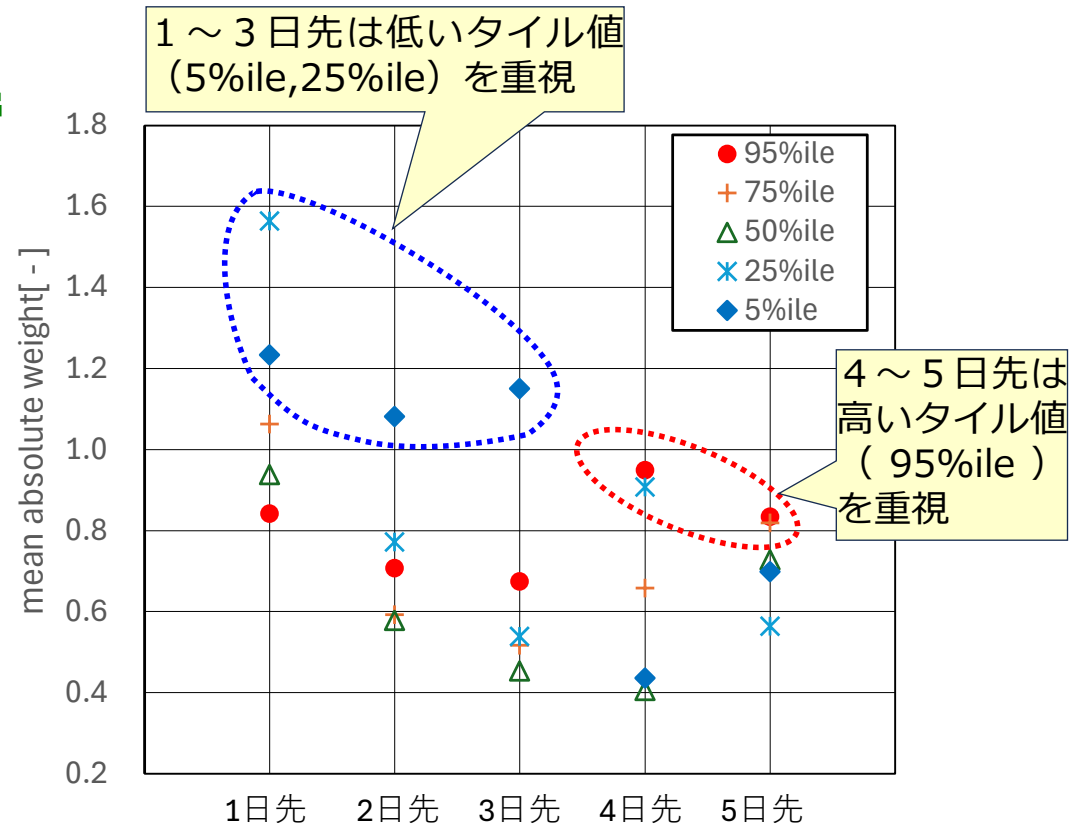


図. 入力データの寄与度の可視化

(1) まとめ

- 本検討では、気象庁の週間アンサンブル予報から得られる5日先までの予測流入量を入力とし、強化学習（DQN）により簡便に「目標水位」を決定する手法を提案した。
- 利根川水系草木ダムでの検証の結果、2019年の台風19号において5日前からの事前放流により異常洪水時防災操作の回避に成功した。
- また、全期間の検証では、無効放流を19%から11%へ低減し、年平均12%の増電効果を得るなど、治水・利水両面での機能向上が確認できた。

(2) 今後の課題

- ・ 精度の高いアンサンブル降雨予測の活用
- ・ 突発的な豪雨への対応
- ・ 現場への適用
- ・ ダム群や下流発電所を含めた増電検討

ご清聴、ありがとうございました。



未来につづく
安全・安心を

株式会社 建設技術研究所