

令和6年台風第10号におけるAI及び分散型予測システムの比較検証と考察

穴井 文彬¹

¹中部地方整備局 蓮ダム管理所 (〒515-1615 三重県松阪市飯高町森1810-11)

令和5年度に蓮ダムでは新たにAI及び分散型予測システムを整備した。当システムを令和6年度から本格的に運用を開始した中、令和6年8月末に台風第10号が来襲した。当台風により、蓮ダムの放流河川である櫛田川下流に一部避難指示が発令される等、洪水被害が発生した。このような中、当ダムでは下流域の被害軽減のため、特別防災操作を行った。その際に予測システムが有効に機能した一方、改善すべき課題があると分かった。これについて述べる。

キーワード ダム管理・流入量予測・AI活用・ダム操作支援

1. 蓮ダムの概要

(1) 全体概要

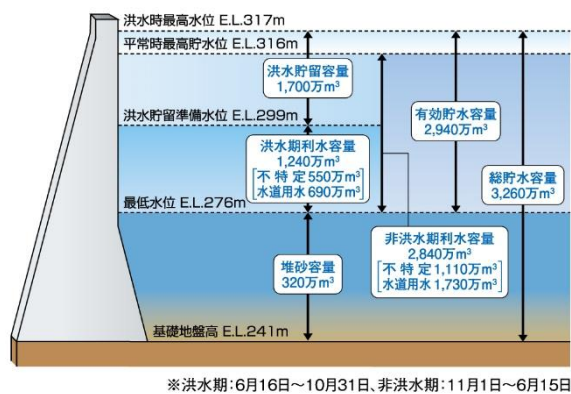
蓮ダムは、河口から約7.4km地点の櫛田川水系蓮川に建設された、堤高7.8m、堤頂長280m、総貯水量3,260万 m^3 の重力式コンクリートダムであり、櫛田川の「防災（洪水の貯留）」、「流水の正常な機能の維持」、「水道用水の確保」、「発電」を目的としている。

昭和34年9月の伊勢湾台風による櫛田川流域被害を契機に、昭和37年度に予備調査を開始し、昭和46年度から実施計画調査、昭和49年度より建設事業に着手し、20年の歳月を経て平成3年9月に試験湛水を終えて、平成3年10月から運用を行っている。また、令和3年には蓮ダム運用管理開始30周年を迎えた。



図2 蓮ダム位置図

■貯水池容量配分図



※洪水期:6月16日~10月31日、非洪水期:11月1日~6月15日

図1 貯水池容量配分図

(2) 洪水操作の概要

洪水期（6月16日～10月31日）において、表1に示す①～③に従って洪水操作を行っている。

表1 洪水操作の概要

ケース	洪水操作
①	流入量が $350\text{m}^3/\text{s}$ 未満の場合は、 (放流量) = (流入量) とする。
②	流入量が $350\text{m}^3/\text{s}$ 以上の場合は、 (放流量) = $350\text{m}^3/\text{s}$ とし、ダムへの貯留を行う。これは洪水調節と呼称される。
③	ダム水位がE.L. +313.6mを超えた場合 (ダムがほぼ満水の場合) は、 (放流量) = (流入量) とする。

2. 令和6年台風第10号における特別防災操作

(1) 特別防災操作の概要

台風第10号による大雨の影響により、松阪市からは避難命令が発令された。また、橿田川下流部の水位は、「水害リスクライン」（上流から下流まで連続して洪水危険度を把握することが可能な洪水予測技術）において氾濫危険水位（両郡水位観測所：6.70m）を超過し最高水位7.09m（8/31 16:30）に達すると予測された。

橿田川上流に位置する蓮ダムでは、流入量が少なかったため洪水調節を行うような状況ではなく、ダムの空き容量に余裕があった。橿田川下流の水位上昇を抑制するため、ダムからの放流量を絞り、下流への放流を少なくして、ダムに洪水を貯留する「特別防災操作（8/31 14:30～16:30）」を実施した。具体的には、蓮ダムからの放流量を最大流入量毎秒約120m³/sに対して約80m³/s減少させた。

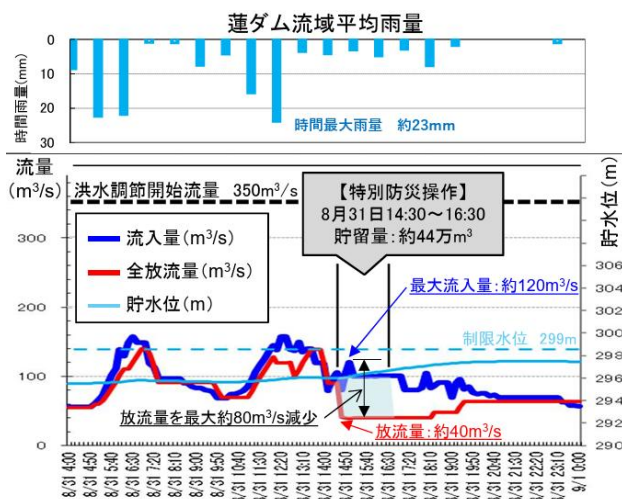


図4 蓮ダムの流域平均雨量及び「特別防災操作」による流量・貯水位の変化を表すグラフ

3. 流入量予測システムについて

(1) 当所の流入予測システムの概要

流入予測システムは、AI型及び分散型（分布型）の2つのケースに分けて構築している。

(2) AIモデルの概要

過去の洪水時の降雨量や流入量等のビッグデータを、予測システムのAIに学習させ、現在の降雨予測を基に流入量を予測し、推奨される放流量及び貯水位を表示する。

実際の雨量が中央値より前後することを見込み、雨量が少なめ（0.8倍）あるいは多め（1.2倍）の場合を想定した予測値を同時に表示している。（図5）

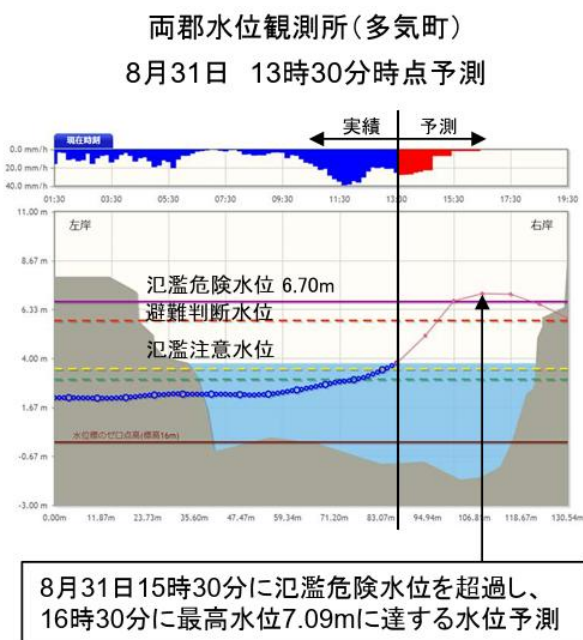


図3 「水害リスクライン」による水位予測

(2) 特別防災操作の効果

台風第10号の影響を受けて、8月26日の降り始めから9月2日までの降水量は、蓮ダム流域平均累加雨量約567mmを記録した。

そのような状況下において、蓮ダムでの特別防災操作を実施することにより、ダムが無い状態を仮定した場合と比較して、橿田川の水位を、両郡地点（ダムから下流59.65km）で平均約10cm低下させ、田引地点（ダムから下流16.0km）で平均約20cm低下させる効果があったと分析した。

蓮ダム流入予測システム											
数表切替		10分表示		AIモデル							
蓮ダム 地点予測グラフ 2025年06月09日 10時50分											
時刻	雨量	雨量等倍			雨量0.8倍			雨量1.2倍			貯水位
		流入量	放流量	貯水位	流入量	放流量	貯水位	流入量	放流量	貯水位	
06/09 09:00	0.0	2.65	4.52	300.38	2.65	4.52	300.38	2.65	4.52	300.38	
06/09 09:10	0.0	2.65	4.53	300.38	2.65	4.53	300.38	2.65	4.53	300.38	
06/09 09:20	0.0	2.65	4.50	300.38	2.65	4.50	300.38	2.65	4.50	300.38	
06/09 09:30	0.0	2.65	4.50	300.38	2.65	4.50	300.38	2.65	4.50	300.38	
06/09 09:40	0.0	2.83	6.01	300.37	2.83	6.01	300.37	2.83	6.01	300.37	
06/09 09:50	0.0	2.83	6.29	300.37	2.83	6.29	300.37	2.83	6.29	300.37	
06/09 10:00	0.0	2.83	6.48	300.37	2.83	6.48	300.37	2.83	6.48	300.37	
06/09 10:10	0.0	2.83	6.54	300.37	2.83	6.54	300.37	2.83	6.54	300.37	
06/09 10:20	0.0	2.95	6.44	300.36	2.95	6.44	300.36	2.95	6.44	300.36	
06/09 10:30	0.0	2.95	6.53	300.36	2.95	6.53	300.36	2.95	6.53	300.36	
06/09 10:40	0.0	2.95	6.46	300.36	2.95	6.46	300.36	2.95	6.46	300.36	
06/09 10:50	0.0	2.95	6.46	300.36	2.95	6.46	300.36	2.95	6.46	300.36	
06/09 11:00	0.1	3.00	3.00	300.36	3.01	3.01	300.36	2.99	2.99	300.36	
06/09 11:10	0.1	3.06	3.06	300.36	3.08	3.08	300.36	3.03	3.03	300.36	
06/09 11:20	0.1	3.11	3.11	300.36	3.14	3.14	300.36	3.08	3.08	300.36	
06/09 11:30	0.1	3.16	3.16	300.36	3.21	3.21	300.36	3.12	3.12	300.36	
06/09 11:40	0.1	3.21	3.21	300.36	3.27	3.27	300.36	3.16	3.16	300.36	
06/09 11:50	0.2	3.27	3.27	300.36	3.33	3.33	300.36	3.20	3.20	300.36	
06/09 12:00	0.2	3.21	3.21	300.36	3.30	3.30	300.36	3.13	3.13	300.36	
06/09 12:10	0.1	3.15	3.15	300.36	3.26	3.26	300.36	3.05	3.05	300.36	
06/09 12:20	0.1	3.10	3.10	300.36	3.23	3.23	300.36	2.97	2.97	300.36	
06/09 12:30	0.1	3.04	3.04	300.36	3.19	3.19	300.36	2.90	2.90	300.36	
06/09 12:40	0.1	2.99	2.99	300.36	3.15	3.15	300.36	2.82	2.82	300.36	
06/09 12:50	0.1	2.93	2.93	300.36	3.12	3.12	300.36	2.75	2.75	300.36	
06/09 13:00	0.1	2.85	2.85	300.36	3.02	3.02	300.36	2.68	2.68	300.36	
06/09 13:10	0.4	2.76	2.76	300.36	2.92	2.92	300.36	2.61	2.61	300.36	

図5 流入予測システム（AIモデル）の画面

図 5より、上段に降雨量のグラフが、下段に流入量・放流量・貯水位のグラフが作成される。(図 6)

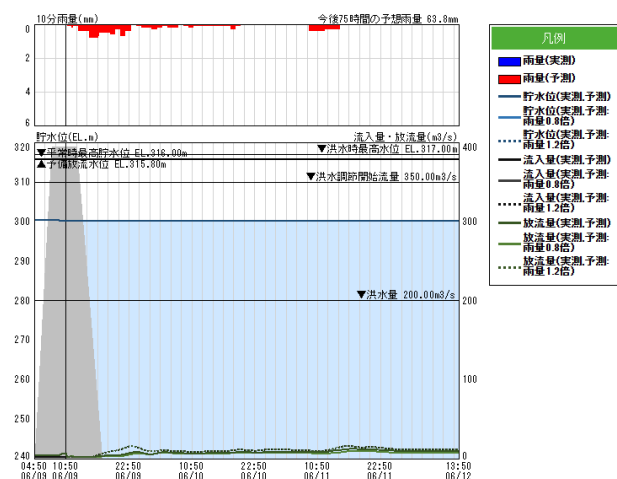


図 6 流入予測システムの画面下のグラフ

(A I モデルの流入予測システムのみ、ログインによりブラウザ上での閲覧が可能となっている。)

(3) 分散型モデルの概要

現時刻における、メッシュ状に区切った場所や地域の実測雨量に対するフィードバック処理を行い、フィードバック後のモデルで予測結果を算出している。実測値の配信が欠測した場合、前時刻の実測値でフィードバック処理を行い補填する。

4. 体制時のダム流入量予測

(1) 流入予測システムの活用結果の概要

A I モデル及び分散型モデルの両システムを使用した際の出力結果を基に、それぞれのシステムにおける改善点や運用上の課題について述べる。

当初のシステムでは、流入量予測に対し、同じ流量で放流した場合の条件下でのみ水位予測が出力されたため、マクロを独自で作成し、任意の放流量に調節した場合の水位予測を出力できるようにした。その結果、報告資料の作成等における職員の負担軽減に貢献した。

本システムは、昨今のダム管理業務において無くてはならないものとなっているが、流入量予測や水位予測の正確さに関し、A I モデルまたは分散型モデルの片方のみを単独で使用するには不十分であるのが現状である。

(2) 分散型予測システムの活用結果

分散型モデルにより、流入量の予測データ及び表計算ソフトを活用した事例を以下に示す。

最初に、流入予測システムの画面上に表示された行列データの数値をコピーし、エクセルの作業用ファイルの計算用シートに貼り付ける。(図 7)

①以下の予測データを入力する										
時刻	雨量	流入量	放流量	貯水位	流入量	放流量	貯水位	流入量	放流量	貯水位
2024/8/31 11:00	15.1	85.36	69.72	295.69	85.36	69.72	295.69	85.36	69.72	295.69
2024/8/31 12:00	25.3	145.13	128.34	295.84	145.13	128.34	295.84	145.13	128.34	295.84
2024/8/31 13:00	5.6	150.03	109.67	296.05	150.03	109.67	296.05	150.03	109.67	296.05
2024/8/31 14:00	4.5	118.82	120.07	296.118.82	120.07	296.118.82	120.07	296.118.82	120.07	296.118.82
2024/8/31 15:00	3.5	120.33	39.75	296.14	120.33	39.75	296.14	120.33	39.75	296.14
2024/8/31 16:00	3	100.37	39.95	296.51	100.37	39.95	296.51	100.37	39.95	296.51
2024/8/31 17:00	2	100.56	40.17	296.82	100.56	40.17	296.82	100.56	40.17	296.82
2024/8/31 18:00	4.8	77.49	77.49	296.96	77.49	77.49	296.96	77.49	77.49	296.96
2024/8/31 19:00	2.2	72.46	72.46	296.96	72.46	72.46	296.96	72.46	72.46	296.96
2024/8/31 20:00	0	68.07	68.07	296.96	68.45	68.45	296.96	68.3	68.3	296.96
2024/8/31 21:00	0.6	65.57	65.57	296.96	66.15	66.15	296.96	66.24	66.24	296.96
2024/8/31 22:00	0	63.65	63.65	296.96	63.52	63.52	296.96	64.97	64.97	296.96
2024/8/31 23:00	0	59.45	59.45	296.96	59.03	59.03	296.96	60.87	60.87	296.96
2024/9/1 0:00	0	54.81	54.81	296.96	54.7	54.7	296.96	56.08	56.08	296.96
2024/9/1 1:00	0	50.93	50.93	296.96	51.03	51.03	296.96	52.14	52.14	296.96
2024/9/1 2:00	0	47.64	47.64	296.96	47.92	47.92	296.96	48.79	48.79	296.96
2024/9/1 3:00	0	44.83	44.83	296.96	45.25	45.25	296.96	45.92	45.92	296.96
2024/9/1 4:00	0	42.4	42.4	296.96	42.96	42.96	296.96	43.46	43.46	296.96
2024/9/1 5:00	0	40.29	40.29	296.96	40.96	40.96	296.96	41.31	41.31	296.96
2024/9/1 6:00	0	38.45	38.45	296.96	39.21	39.21	296.96	39.43	39.43	296.96
2024/9/1 7:00	0	36.83	36.83	296.96	37.65	37.65	296.96	37.77	37.77	296.96
2024/9/1 8:00	0	35.38	35.38	296.96	36.26	36.26	296.96	36.3	36.3	296.96
2024/9/1 9:00	0.6	34.09	34.09	296.96	35	35	296.96	34.98	34.98	296.96
2024/9/1 10:00	0.6	32.92	32.92	296.96	33.87	33.87	296.96	33.79	33.79	296.96
2024/9/1 11:00	0	31.87	31.87	296.96	32.83	32.83	296.96	32.72	32.72	296.96
2024/9/1 12:00	3	30.93	30.93	296.96	31.9	31.9	296.96	31.77	31.77	296.96
2024/9/1 13:00	4.2	30.13	30.13	296.96	31.11	31.11	296.96	30.98	30.98	296.96
2024/9/1 14:00	1.2	29.55	29.55	296.96	30.48	30.48	296.96	30.48	30.48	296.96
2024/9/1 15:00	1.8	29.37	29.37	296.96	30.17	30.17	296.96	30.48	30.48	296.96
2024/9/1 16:00	1.2	29.74	29.74	296.96	30.27	30.27	296.96	31.2	31.2	296.96
2024/9/1 17:00	2.4	30.47	30.47	296.96	30.66	30.66	296.96	32.35	32.35	296.96
2024/9/1 18:00	1.8	31.1	31.1	296.96	30.96	30.96	296.96	33.31	33.31	296.96
2024/9/1 19:00	3.6	31.49	31.49	296.96	31.1	31.1	296.96	33.96	33.96	296.96
2024/9/1 20:00	1.8	31.89	31.89	296.96	31.26	31.26	296.96	34.65	34.65	296.96
2024/9/1 21:00	3.6	32.59	32.59	296.96	31.65	31.65	296.96	35.75	35.75	296.96
2024/9/1 22:00	5.4	33.45	33.45	296.96	32.15	32.15	296.96	37.06	37.06	296.96
2024/9/1 23:00	10.2	34.43	34.43	296.96	32.74	32.74	296.96	38.54	38.54	296.96
2024/9/2 0:00	31.2	62.17	62.17	296.96	49.26	49.26	296.96	81.38	75.15	296.97

図 7 流入予測システムの生データを入力

次に、流量及び貯水位のグラフを作成するための数値データをシート上で入力・編集する。流入量と放流量はデフォルトとして先に入力した生データが紐づけられ、放流量を手入力で修正する。分かりやすいよう、手入力したセルを黄色ハッチングにしている。(図 8)

行	列	近似貯量	最大流入量→ 最低水位→		有効貯水量	の放流量もしくは流入量を変えたいところに入れる	
			現在時間	水位		流入量m³/s	放流量m³/s
225	5	8948439.44	2024/9/1 2:00	287.31	8,950,876	47.64	47.64
225	5	8948439.44	2024/9/1 3:00	287.31	8,950,876	44.83	44.83
225	5	8948439.44	2024/9/1 4:00	287.31	8,950,876	42.4	42.4
225	5	8948439.44	2024/9/1 5:00	287.31	8,950,876	40.29	40.29
225	5	8948439.44	2024/9/1 6:00	287.31	8,950,876	38.45	38.45
225	5	8948439.44	2024/9/1 7:00	287.31	8,950,876	36.83	36.83
225	5	8948439.44	2024/9/1 8:00	287.31	8,950,876	35.38	35.38
225	5	8948439.44	2024/9/1 9:00	287.31	8,950,876	34.09	34.09
225	5	8948439.44	2024/9/1 10:00	287.31	8,950,876	32.92	32.92
225	5	8948439.44	2024/9/1 11:00	287.31	8,950,876	31.87	31.87
225	5	8948439.44	2024/9/1 12:00	287.31	8,950,876	30.93	30.93
225	5	8948439.44	2024/9/1 13:00	287.31	8,950,876	30.13	30.13
225	5	8948439.44	2024/9/1 14:00	287.31	8,950,876	29.55	29.55
225	5	8948439.44	2024/9/1 15:00	287.31	8,950,876	29.37	29.37
225	5	8948439.44	2024/9/1 16:00	287.31	8,950,876	29.74	29.74
225	5	8948439.44	2024/9/1 17:00	287.31	8,950,876	30.47	30.47
225	5	8948439.44	2024/9/1 18:00	287.31	8,950,876	31.1	31.1
225	5	8948439.44	2024/9/1 19:00	287.31	8,950,876	31.49	31.49
225	5	8948439.44	2024/9/1 20:00	287.31	8,950,876	31.89	31.89
225	5	8948439.44	2024/9/1 21:00	287.31	8,950,876	32.59	32.59
225	5	8948439.44	2024/9/1 22:00	287.31	8,950,876	33.45	33.45
225	5	8948439.44	2024/9/1 23:00	287.31	8,950,876	34.43	34.43
225	5	8948439.44	2024/9/2 0:00	287.31	8,950,876	62.17	40
226	7	9026274.32	2024/9/2 1:00	287.43	9,030,888	68.89	40
227	13	9130054.16	2024/9/2 2:00	287.58	9,135,052	157.69	40
234	7	9555742.02	2024/9/2 3:00	288.23	9,558,736	141.04	40
239	9	9918920.5	2024/9/2 4:00	288.75	9,922,480	116.39	40
243	8	10195370.88	2024/9/2 5:00	289.14	10,199,644	96.52	40
246	5	10397486.45	2024/9/2 6:00	289.41	10,403,116	89.65	40
248	6	10564708.77	2024/9/2 7:00	289.62	10,560,256	75.95	40
250	4	10689460.48	2024/9/2 8:00	289.8	10,689,876	69.39	40
251	8	10784267.36	2024/9/2 9:00	289.94	10,787,840	64.45	40
252	9	10878474.38	2024/9/2 10:00	300.05	10,885,680	59.66	40
253	8	10949195.98	2024/9/2 11:00	300.14	10,956,436	55.75	40
254	6	11012059.63	2024/9/2 12:00	300.22	11,013,136	52.52	40
254	11	11051349.41	2024/9/2 13:00	300.27	11,058,208	49.73	40
255	6	11080639.19	2024/9/2 14:00	300.32	11,093,236	47.26	40
255	9	11114213.06	2024/9/2 15:00	300.35	11,119,372	45.06	40

図 8 流量及び貯水位のグラフの素となるデータ

予め入力された数式を用いて、流入量と放流量の差を基にダムに貯留する水の量やダムから減らす水の量等を自動計算し、有効貯水量及び貯水位を算出する。

編集した行列データの数値に基づき、分散型モデルの流量予測及び貯水位予測のグラフが生成される。（図 9）このグラフを使用し、防災操作による効果や今後の洪水の動向等について、本局及び関係機関への説明や報告を行った。

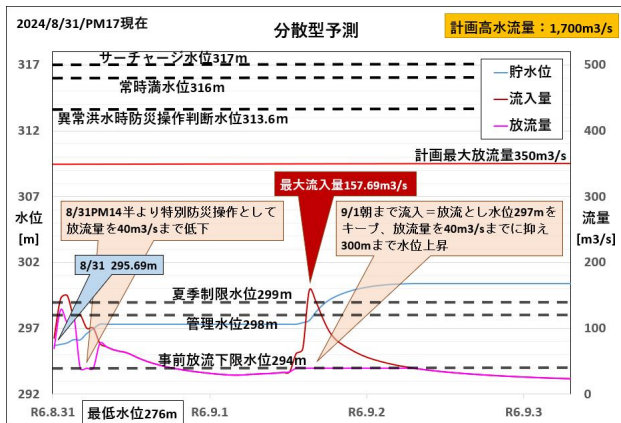


図 9 流量及び貯水位の実測と想定グラフ

また、作業の簡素化や効率化を図るため、グラフ上の各ポイントにおける吹き出しの文章をセル入力（数式を使用）で行えるようにリンクを施した。（図 10）

現在日時（入力例：2024/8/27/PM17現在）
2024/8/31/PM17現在
初期水位（入力例：8/27 295.81m）
8/31 295.69m
最高水位（入力例：最高水位296.13m）
最高水位300.4m
最大流入量（入力例：最大流入量63.1m³/s）
最大流入量157.69m³/s
自由入力①
9/1朝まで流入＝放流とし水位297mをキープ、放流量を40m³/sまでに抑え300mまで水位上昇
自由入力②
8/31PM14半より特別防災操作として放流量を40m³/sまで低下

図 10 グラフの吹き出しに表示する文字列を橙色のセルに入力（数式を使用）

（3）A I 予測システムの活用結果及び予測比較

A I 予測システムは現在学習中であるが、過去の洪水において異常な降水量を経験していなかったこともあり、予測に必要なデータが慢性的に不足している。そのため、精度としては不十分であり、体制時における厳密な予測には適さない。

予測システムの精度が確立するまでは、平常時の監視や参考として使用する。

分散型モデルと同様に、流入予測システムの画面上に表示された行列データの数値をコピーし、計算用シートに貼り付ける。その後、グラフ用の数値データ等を編集してグラフを生成する。（図 11）

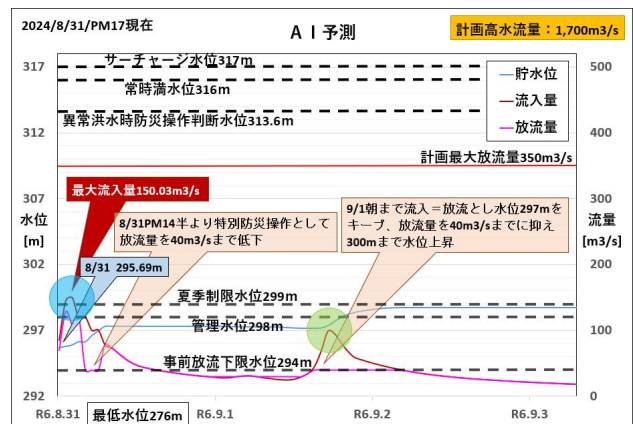


図 11 A I 予測による流量及び貯水位のグラフ

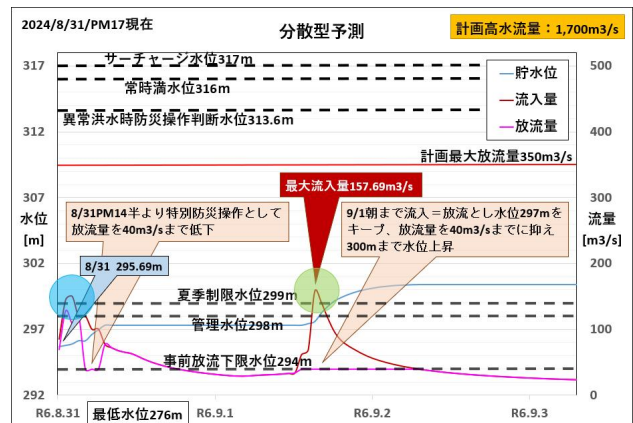


図 12 分散型予測による流量及び貯水位のグラフ

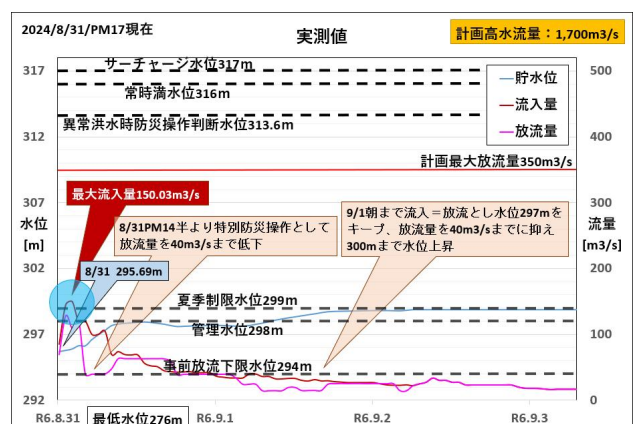


図 13 実測値による流量及び貯水位のグラフ

図 11～図 13は、それぞれ同日の同時刻（8 / 3 1 17 : 00）におけるA I 予測、分散型予測システム及び実測値の数値データを使用して作成したグラフだが、

流入量予測の洪水のピーク（洪水の1山目、及び2山目の箇所いずれかに該当する）が異なる結果となった。
この比較の概要を表 2に示す。

表 2 A I 及び分散予測と実測値の比較概要

項 目	比 較 結 果
●部 (1山目)	1山目の洪水はA I、分散型予測ともに実測値と大きな差はなかった。このように、目前に迫った洪水については、両者とも有効と考える。
●部 (2山目)	1山目から2日後に着目すると、A I 及び分散型で予測された2山目の流入量の急増は、実際は殆ど生じなかった。このことから、両者とも安全側の予測とはなっているものの、別途総合的な予測が必要と考える。

以上より、A I 予測システムの結果のみ、あるいは、分散型予測システムの結果のみに頼るのではなく、両方の予測結果を照らし合わせ、雨雲レーダーや他の降雨予測のデータ等を使用した総合的な予測が求められている。

5. 今後の展開・検討事項

(1) 手動予測計算機能の追加

令和6年度の予測システム改修作業により、現時刻を対象に表 3の条件で予測計算を手動で実行させる機能を追加した。(図 12)

表 3 予測計算の概要

項 目	内 容
予測計算手法	A I モデル／分散型モデル ※設定した閾値に合わせ、いずれかを最適モデルとして選定
計算間隔	10分
予測時間	75時間先まで（10分間隔の予測値）
降雨条件	・実況及び予測雨量の組合せは複数のパターンから選択可能 ・予測雨量を0.8倍、1.0倍及び1.2倍の3ケース実施
ダム操作	自動予測計算では、操作規則、発電放流量一定、指定放流量の3パターンのダム操作による結果を確認可能
フィードバック条件	現時刻において計算流量が実測流量に整合するように、流出モデルパラメータ（流出率や流域定数）の最適化とスライド補正
欠測補填	実測値に欠測がある場合は、必要に応じて欠測補填を実施

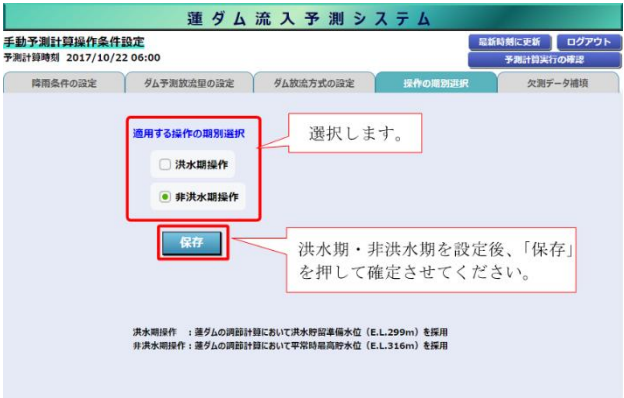


図 12 手動予測計算操作条件設定画面
(選択中のタブは洪水期・非洪水期の設定画面)

手動予測計算操作条件設定画面から、表 4に示す条件について任意に変更し、予測計算を行う。

表 4 手動計算の設定項目

項 目	内 容
降雨条件の設定	降雨データの組合せを設定する
ダム予測放流量の設定	予測期間のダム放流量を手動で設定する(図 13、図 14)
ダム放流方式の設定	ダム放流方式を、暫定操作(定量)／操作規則(定率定量)から選択する
操作の期別選択	洪水期・非洪水期を選択し、連ダムの調節計算において基準となる水位(E.L. +299m／+316m)を設定する
欠測データ補填	欠測データを手入力する



図 13 ダム予測放流量の設定画面

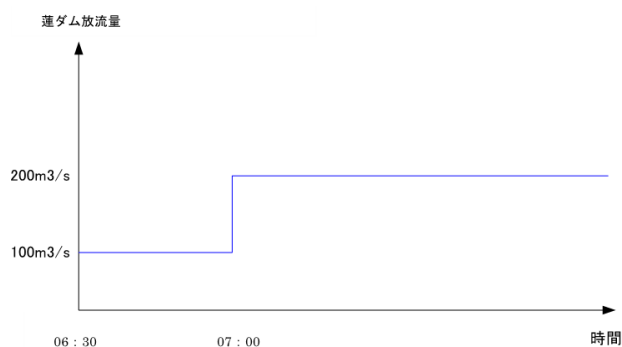


図 14 放流量を手入力した場合の例（イメージ）

（２）長時間予測計算の追加

現行の流入予測システムは、7.5時間先までの予測となっている。令和6年台風第10号のような長期間継続する洪水に備えるため、より長期間の予測が可能な機能が求められる。

気象庁が提供しているGSM（地球全体の大気を対象とした数値予報モデル）の最大264時間（11日間）の長期予測等を活用する機能が実装されれば、より適切な洪水対策が可能となる。

（３）外部閲覧機能の拡張

現在、流入予測システムの結果は、外部閲覧機能を通じて職員の携帯電話等で確認可能だが、発電放流・指定放流量の結果は含まれていない。職員の管理負担軽減と情報共有の効率化を図るため、外部閲覧機能を拡張し、必要な項目を随時確認できることが望ましい。

（４）予測精度の確認とフィードバック

AIモデル及び分散型モデルの予測精度を維持・向上させるため、流入予測システム導入後に発生した洪水を対象に、実績降雨データを用いた予測精度の検証を実施。検証結果に応じた、パラメータ調整や追加学習によって、予測精度の継続的な改善が必要である。

6. 最後に

筆者は、前職でSEとしてシステム開発等に携わっており、所内で運用されている各システムに深い関心を持って日々業務に勤しんでいる。最近では、放流警報が吹鳴していることを住民へ通知するアプリの開発が所内で提案されており、そちらに関しても注力したい。

引き続き、蓮ダムの管理及び運用について、管理所を挙げて取り組む所存である。

以上