

青字：記述に関する解説

## 予想の方法

記載事例 3：統計的方法を用いた予想

申請例

---

## 1. 予報対象区域

(予報対象河川の流域図を示し、解析範囲、予報対象区域、考慮する洪水調節施設等を示してください。)

予報対象地点及び対象流域の概要を図1に示す。

予報対象であるC観測所は、A川の下流付近に位置する観測所である。その流域であるA川流域の上流にはBダムが位置している。そのため、本予想においては、A川流域平均雨量のほかにBダムの放流量を入力データとして使用することで、洪水調節施設の効果を考慮する。

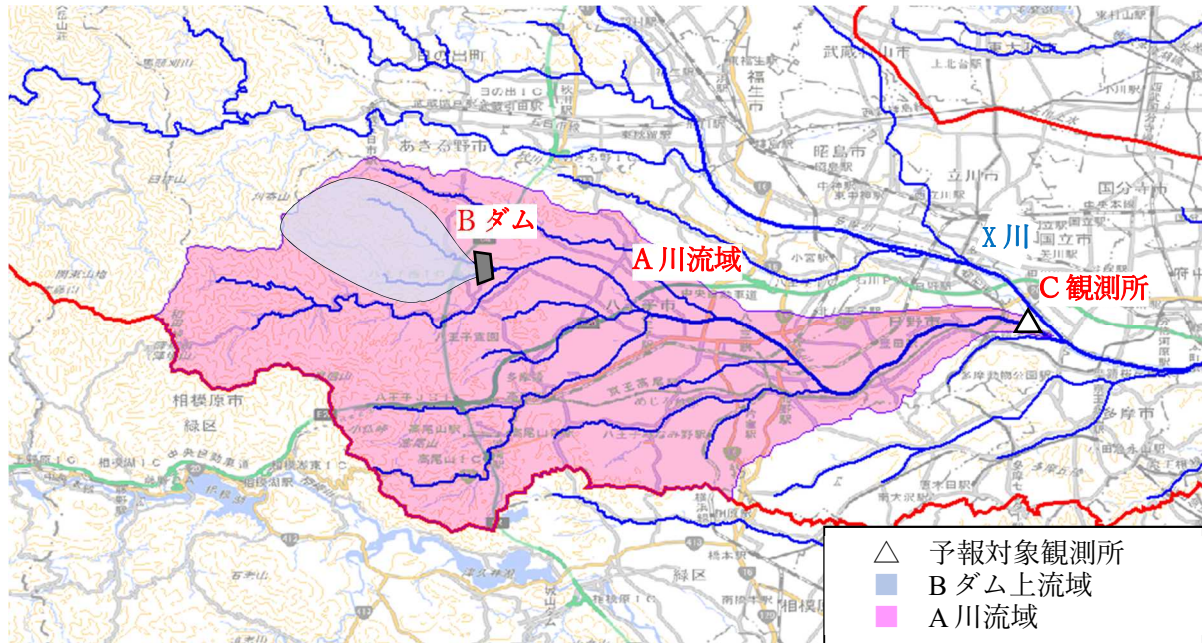


図1 予報対象区域

## 2. 予想の方法（統計的方法）

### 2.1 使用する解析手法

(予想の方法について、その種別を「物理的方法」又は「統計的方法」で示すとともに、使用する解析手法のモデル、考慮する洪水調節施設、入力データ等の全体像を示してください。)

予想を算出するまでの解析フローを図2示す。本予想では、「統計的方法」としてAIモデルの一つであるDNN(Deep Neural Network)モデルを用いる。DNNモデルは入力層・複数の中間層・出力層で構成される階層型モデルであり、入力層を観測雨量・水位・流量、出力層を水位・流量とした洪水予想等に幅広く利用されている<sup>1</sup>。

DNNモデルは複数の中間層によって入力データの特徴を複雑に認識でき、高い予想精度が期待できることから、本予想の手法として採用した。

<sup>1</sup> (過去に同種のモデルで検証を行った論文等があれば提示してください。)

本予想では、A 川の下流に近い C 観測所の水位を予想項目（目的変数）とし、C 観測所水位に影響を与える A 川流域平均雨量及び B ダム放流量を入力データ（説明変数）として予想を行った。

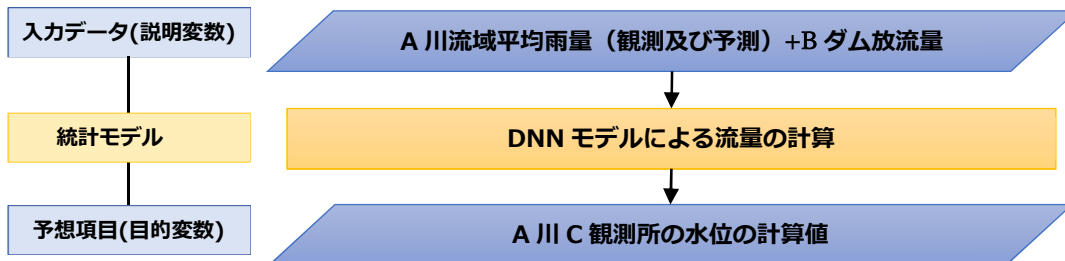


図 2 解析フロー

## 2.2 統計モデル

（計算モデルの概要について、一般に認められている専門的な知見に基づくものであることを簡潔に示してください。引用した又は参考とした資料についても、参考文献として示してください。）

### (1) 統計モデルの概要と学習方法

本予想における入力データは B ダム上流域を除く A 川流域平均雨量と B ダム放流量である。流域平均雨量は 3 時間前からの観測値及び 6 時間先までの予測値を入力し、ダム放流量は 3 時間前からの観測値を入力する。予想項目は C 観測所水位であり、1 時間前から 6 時間先までの予想を行う。

今回の DNN モデルでは、過去に発生した 10 洪水の水文データから入力データ（説明変数）と予想項目（目的変数）の関係を学習し、モデルのパラメータを設定した。

図 3 にパラメータ設定のための DNN モデルの概要を、図 4 に中間層における情報伝達のイメージ図を示す。

本予想では中間層は 2 層とする。対象 10 洪水の毎時の流域平均雨量と B ダム放流量を入力層に入力し、モデルによる計算結果として出力される出力層の値と C 観測所の実績水位を比較して、差が最小になるように中間層における重み  $w_i$  とバイアス  $b$  を設定した。

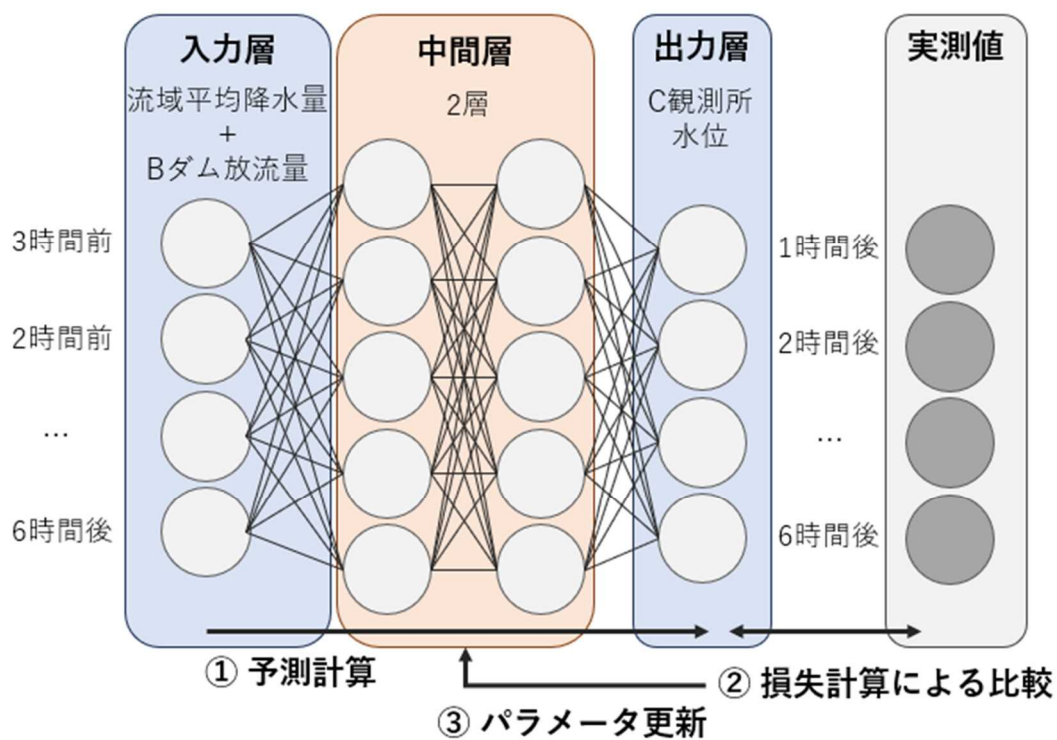


図3 DNNモデルの概要

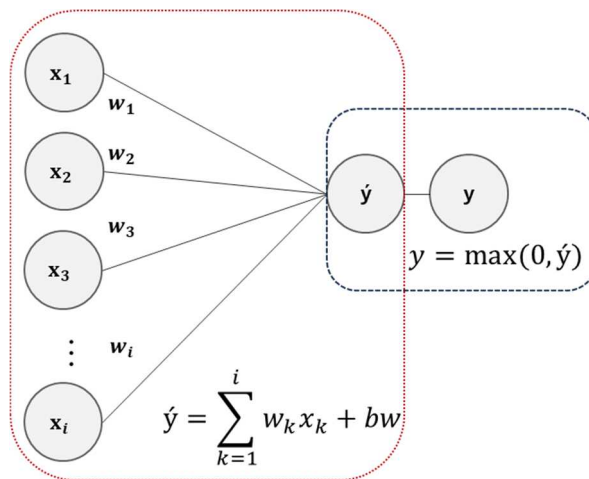


図4 中間層における情報伝達のイメージ図

(2) 予想における入力データ

入力データは、A川流域の流域平均雨量（Bダム上流域を除く）及び上流に位置するBダムの放流量を用いる。

本予想における予報期間は6時間先までであり、入力層に与える予測データも6時間先までのデータを与える。

入力層に与える観測データに関しては、既往の調査よりA川最上流地点からC地点までの洪水到達時間が概ね3時間程度であることを確認しており、3時間前からのデータを使用する。

1) A川流域：流域平均雨量

（観測データ）Cバンドレーダー雨量計：1kmメッシュを流域で平均

データ間隔：10分間

3時間前から現時刻までの降雨量

（予測データ）降水短時間予報：1kmメッシュを流域で平均

データ間隔：10分間

1時間先から6時間先までの予測降雨量

2) Bダム：放流量

（観測データ）ダム放流量：

データ間隔：10分間

3時間前から現時刻までの放流量

(3) 予想項目（目的変量）

予想項目はC観測所水位であり、1時間先から6時間先までのC観測所水位を算出する。

(4) 洪水調節施設の考慮

対象流域上流部にはBダムが位置する。本方法ではBダムの放流量を入力データとして使用することで、洪水調節施設の効果を考慮する。

(5) 学習データ

学習の対象とする洪水は、直近 10 年間（2012 年～2021 年）に発生した洪水のうち、C 観測所における観測水位が上位 10 位となる洪水とした（表 2.1）。なお、学習データの作成に際しては、各洪水全体を学習させるため、各洪水のピーク日の 2 日前から 2 日後の各種データ（降雨量、B ダム放流量データ、C 観測所水位）を使用している。

また、A 川では直近 10 年間において C 観測所に影響を及ぼす下流域での河道改修は行われていないことを確認している。

表 2.1 対象 10 洪水の概要

洪水 No.	C 観測所ピーク日時	C 観測所ピーク水位 (m)
1	2012/09/30 17:00	2.10
2	2013/03/11 2:00	1.95
3	2014/08/26 5:00	1.85
4	2015/01/17 12:00	1.90
5	2016/09/10 14:00	2.17
6	2017/10/21 3:00	2.02
7	2018/10/23 5:00	2.65
8	2019/09/09 9:00	2.10
9	2019/10/12 21:00	3.63 (既往最大)
10	2021/11/16 18:00	2.12

出典：国土交通省「水文水質データベース」に公開されている直近 10 年間（2012 年～2021 年）の水位データ

学習に用いたデータは以下の通りである。入力する予測データは、同時刻の実績値を用いた。

1) A 川流域：流域平均雨量

(観測データ) C バンドレーダー雨量計：

学習対象洪水における 5 日間の実績降雨量

2) B ダム：放流量

(観測データ) ダム放流量：

学習対象洪水における 5 日間の実績放流量

3) C 観測所：水位

(観測データ) 観測所水位：

学習対象洪水における 5 日間の実績水位

(6) ハイパーパラメータの設定値

ハイパーパラメータの設定値を表 2.2 に示す。ハイパーパラメータの設定値を調整した後、モデルの精度を検証するために交差検証を実施した。

なお、交差検証の結果は〈3.2 確認結果〉に記載する。

表 2.2 ハイパーパラメータの設定値

	項目	各値
中間層	層数	2 層
	ノード数	100
	活性化関数	tanh 関数
その他	ミニバッチサイズ	100
	学習 回数	100
	Dropout 率	0.5

### 2.3 計算時間と計算時間間隔

具体的に 13 時を初期時刻とする解析の流れは、次のとおりである。

- ① 13 時を初期時刻とする予測データを 13 時 10 分までに収集
- ② (最新の) 13 時時点の観測資料を、13 時 05 分までに収集
- ③ (6 時間先までの) シミュレーションを、13 時 10 分に演算開始し、13 時 15 分までに演算終了する。
- ④ (演算の終了後に) シミュレーションによる予想結果を、13 時 15 分までに予報として発表する。

表 2.3 予想のタイムテーブル

発表時刻	日本時間	12	13	14	備考
13時00分の予想	<収集する予報資料> A川流域 降水量:降水短時間予報 <収集する観測資料> A川流域 降水量:○バンドレーダ雨量計 A川○○観測所:水位 X川□□観測所(本川合流点付近):水位  <シミュレーション> 計算の対象期間 演算する時間帯 計算結果の発表時刻				13:00から6時間先までの予報資料(1時間値)を、13:10までに入手。 13:00までの過去10分間の観測資料(5分間値2時刻分)を、13:05までに入手。 13:00までの過去10分間の観測資料(10分間値)を、13:05までに入手。 13:00までの過去10分間の観測資料(10分間値)を、13:05までに入手。 13:00から6時間先まで 全ての予報資料、観測資料の収集後に演算開始し、5分以内に演算終了する。 演算終了後に、予報を発表する。
13時10分の予想	<収集する予報資料> A川流域 降水量:降水短時間予報 <収集する観測資料> A川流域 降水量:○バンドレーダ雨量計 A川○○観測所:水位 X川□□観測所(本川合流点付近):水位  <シミュレーション> 計算の対象期間 演算する時間帯 計算結果の発表時刻				13:10から6時間先までの予報資料(1時間値)を、13:20までに入手。 13:10までの過去10分間の観測資料(5分間値2時刻分)を、13:15までに入手。 13:10までの過去10分間の観測資料(10分間値)を、13:15までに入手。 13:10までの過去10分間の観測資料(10分間値)を、13:15までに入手。 13:10から6時間先まで 全ての予報資料、観測資料の収集後に演算開始し、5分以内に演算終了する。 演算終了後に、予報を発表する。
～間時刻 省略～					
14時00分の予想	<収集する予報資料> A川流域 降水量:降水短時間予報 <収集する観測資料> A川流域 降水量:○バンドレーダ雨量計 A川○○観測所:水位 X川□□観測所(本川合流点付近):水位  <シミュレーション> 計算の対象期間 演算する時間帯 計算結果の発表時刻				14:00から6時間先までの予報資料(1時間値)を、14:10までに入手。 14:00までの過去10分間の観測資料(5分間値2時刻分)を、14:05までに入手。 14:00までの過去10分間の観測資料(10分間値)を、14:05までに入手。 14:00までの過去10分間の観測資料(10分間値)を、14:05までに入手。 14:00から6時間先まで 全ての予報資料、観測資料の収集後に演算開始し、5分以内に演算終了する。 演算終了後に、予報を発表する。



### 3. 予想の妥当性について

#### 3.1 確認方法

##### (1) 確認方法

本予想では、A川の氾濫の危険性を把握することを目的とするため、特にピーク水位を精度よく予想できることを重視している。よって、ピーク時刻付近において再現計算結果と実績水位の差を比較した。

ここでは、leave-one-out 交差検証によるモデルの精度検証を実施する。leave-one-out 交差検証とは、学習対象洪水から検証洪水 1 つを抽出し、それ以外の洪水で学習を実施した後に、抽出した 1 洪水で検証計算を実施する検証手法である（図 5）。ここでは、表 2.1 に示した学習対象 10 洪水に対して交差検証を実施し、それぞれピーク時刻の前後 1 時間の期間における予想水位と実績水位の差を求めた。

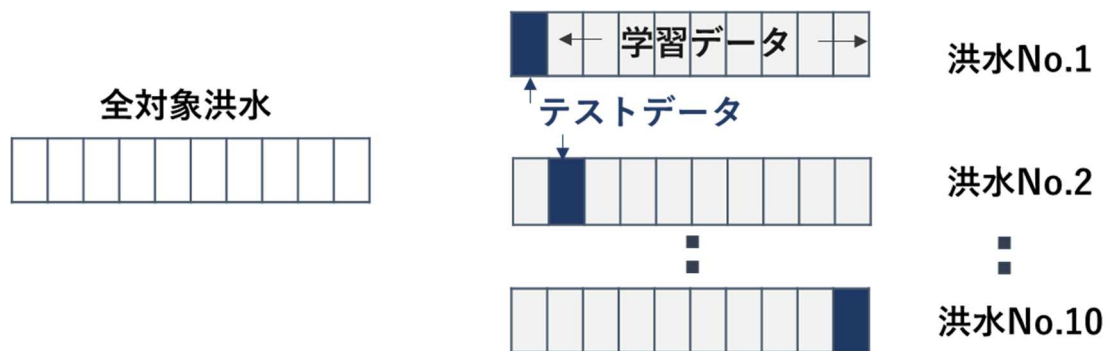


図 5 交差検証におけるデータの分割イメージ

学習に用いるサンプル数（過去の洪水数）が豊富にある場合：

以下の手順で検証を行う方法もある。

- ① 学習用洪水（交差検証に使用する洪水）と検証用洪水を用意する。
- ② 学習用洪水に対して交差検証を行いながらモデルを構築する。
- ③ 検証用洪水を用いて、未経験の洪水に対するモデルの精度検証を行う。

このほか、NASH 係数、RMSE、ピークの生起時間差、縦断水位図など、妥当性の確認の参考になるものがあれば、示してください。

##### (2) 確認地点・項目

A 川 C 観測所の水位

##### (3) 確認対象洪水

学習対象である 10 洪水（表 2.1）

### 3.2 確認結果

本システムによる観測所ごとの予想の妥当性の確認結果の一覧を表3に示す。ピーク水位の上位3洪水（No9洪水、No7洪水、No5洪水）における検証結果を図6に示す。なお、各図に示す洪水番号は表2.1に示す洪水番号と対応している。確認結果は下記のとおりである。

- ✓ 実績水位に比べて、予想水位の上昇・下降傾向が概ね一致している。
- ✓ ピーク時刻の前後1時間の期間における予想水位と実績水位の水位差は0.7m以下※である。
- ✓ 検証した期間の全体を通して、数値振動、数値発散などが見られず、安定した予想を実施している。

（未経験規模の洪水に対する検証ができていない場合には、留意事項や適用限界について記述する。）

以上より、DNNによる水位の予想精度は概ね良好と想定される。一方で、学習対象である10洪水と波形または規模の大きく異なる洪水に対して予想精度が低くなる可能性があり、本予想を利用する上で留意する必要がある。

表3 予想の妥当性の確認結果

水系・河川名	① 水位観測所名	② 予報期間(時間)	③ 平水位(m)	④ 計画水位(m)	⑤ 天端高(m)	検証洪水	⑥ 予想水位－実績水位(m)		
							実績ピーク水位時刻の1時間前時刻	実績ピーク水位時刻	実績ピーク水位時刻の1時間後時刻
X川水系 A川	○○	6	1.5	3.6	4.8	A年●月●日	0.38	-0.48	-0.63
						B年●月●日	-0.21	0.24	0.24
						C年●月●日	-0.24	-0.57	-0.56
	△△	（妥当性の確認を行った観測所が複数ある場合は、それぞれの観測所について確認結果を示してください。）							

※ 予想の目標とする水位（例えば、ピーク水位など）の付近の予想水位と実績水位との差（目安として、目標水位到達時刻の前後1時間の範囲で大きくても±2m以内であること等）により妥当性を確認してください。

なお、平常時と洪水時の水位変動幅が小さい河川や急激な水位上昇を伴う河川については、河川特性や出水特性なども勘案の上、適切に妥当性を確認してください。

【表3の解説】

- ①水位観測所名：観測所名を記載。
- ②予報期間：対象とする予報期間について記載
- ③平水位：1年を通じて185日はこれを下回らない水位。ウェブサイト（国土交通省 水文水質データベースの観測所諸元）により確認。記録がない場合は概ねの河床高を記載。不明な場合は不明と記載。
- ④計画高水位：ウェブサイト（国土交通省 水文水質データベースの観測所諸元、川の防災情報等）により確認。不明な場合は不明と記載。
- ⑤天端高：左右岸の堤防高（堤防がない場合は、背後地盤高）の低い方を記載。ウェブサイト（川の防災情報）等の観測所断面図等により確認。不明な場合は不明と記載。
- ⑥予想水位－実績水位：水位比較の確認は、以下を参考に記載。

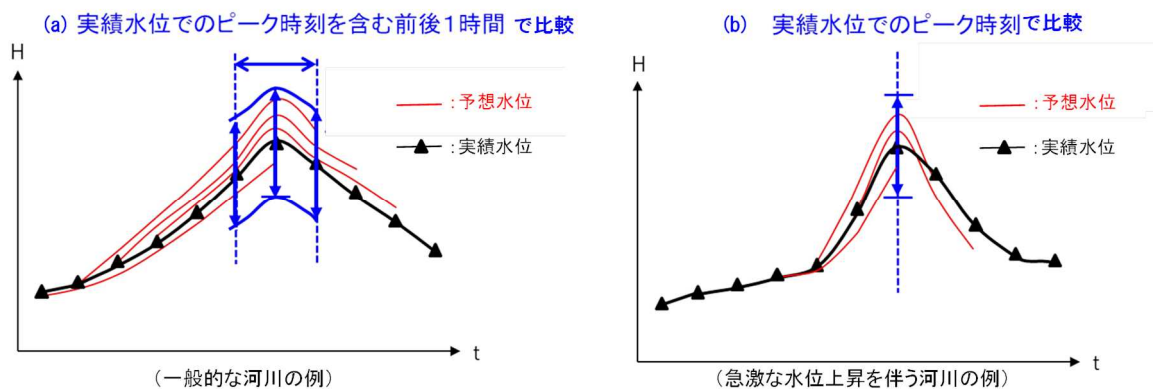
(a)一般的な河川の場合

予報期間が実績ピーク水位観測時刻を含む予想に対して、以下の3時刻の水位差を確認し、それぞれ差の最大値を記載。

- ・実績ピーク水位観測時刻における実績水位と予想水位との差
- ・実績ピーク水位観測の1時間前時刻における実績水位と予想水位との差
- ・実績ピーク水位観測の1時間後時刻における実績水位と予想水位との差

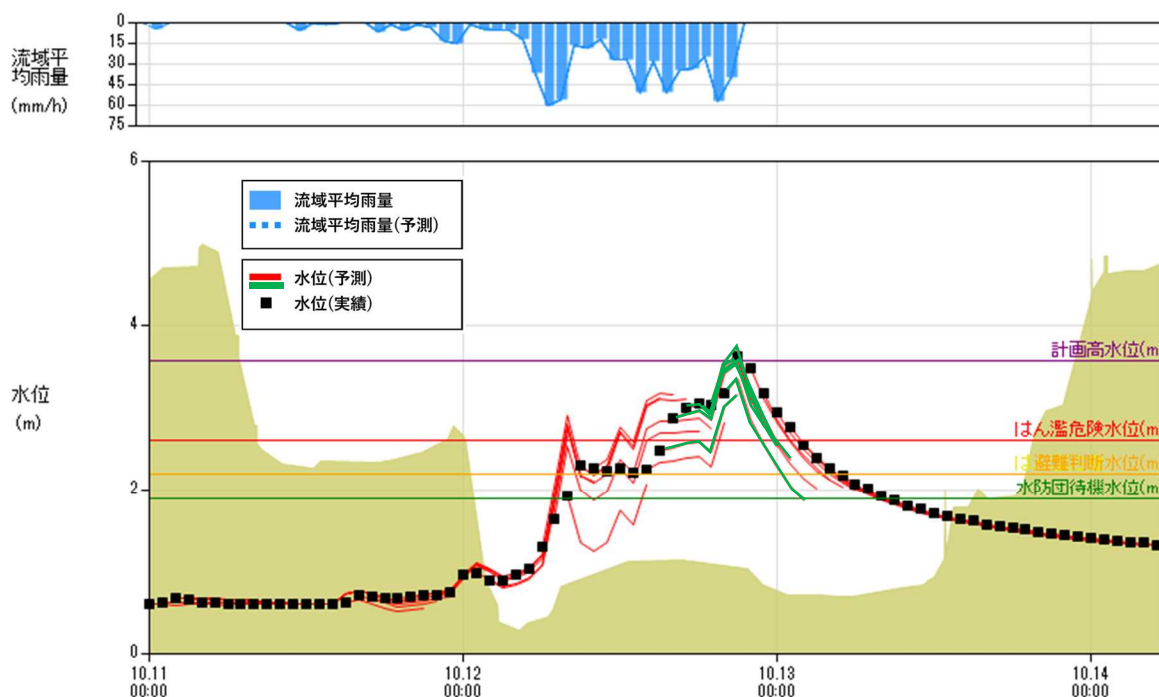
(b)急激な水位上昇を伴う河川の場合

予報期間が実績ピーク水位観測時刻を含む予想に対して、実績ピーク水位観測時刻の水位差を確認し、実績水位と予想水位との差の最大値を記載。



<補足事項>

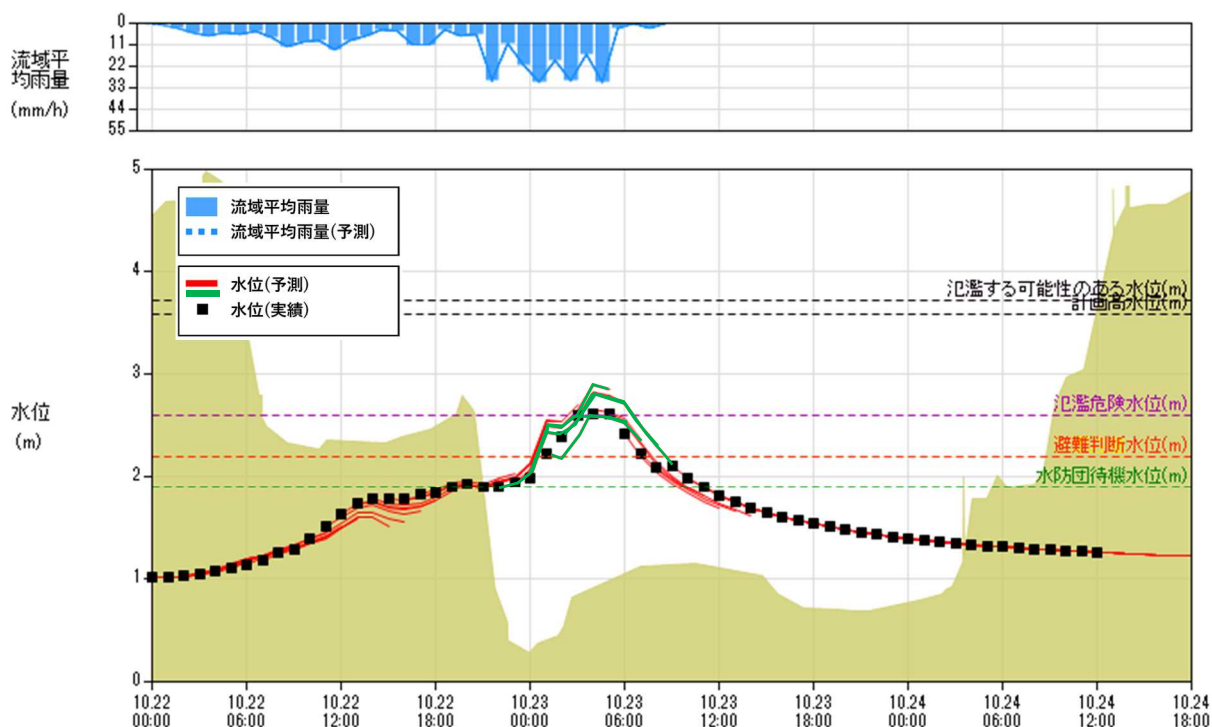
- ・記入した値は「標高値 (TP)」か「任意の 0 点に対する読み値」かの違いが分かる様、標高の場合は TP○●m と記載。
- ・③～⑤いずれも単位は m 単位とし、小数第 1 位まで記載。



実績ピークの前後1時間における実績水位との差の検証

水位(m)		1時間前	実績ピーク時刻	1時間後
		20:00	21:00	22:00
実績		3.17	3.63	3.48
予想	実績ピーク時刻から6時間前の予想	3.01	3.15	—
	5時間前の予想	3.40	3.55	3.04
	4時間前の予想	3.47	3.63	3.11
	3時間前の予想	3.48	3.64	3.13
	2時間前の予想	3.55	3.71	3.20
	1時間前の予想	—	3.34	2.85
実績と予想との水位差		-0.63m~+0.38m		

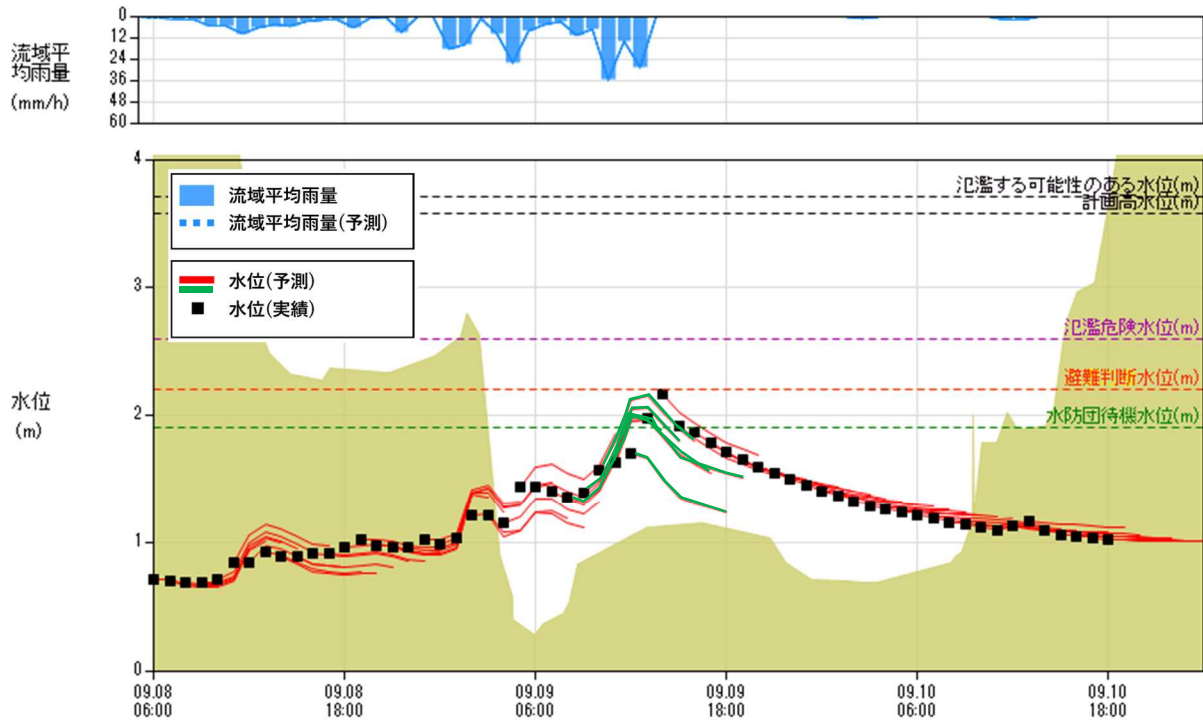
図6(1) 交差検証における水位予想計算結果 No.9 洪水



実績ピークの前後1時間における実績水位との差の検証

水位(m)		1時間前	実績ピーク時刻	1時間後
		3:00	4:00	5:00
実績		2.59	2.65	2.61
予想	実績ピーク時刻から6時間前の予想	2.64	2.88	—
	5時間前の予想	2.65	2.89	2.85
	4時間前の予想	2.57	2.82	2.78
	3時間前の予想	2.38	2.65	2.63
	2時間前の予想	2.57	2.81	2.78
	1時間前の予想	—	2.82	2.78
実績と予想との水位差		-0.21m~+0.24m		

図6(2) 交差検証における水位予想計算結果 No.7 洪水



実績ピークの前後1時間における実績水位との差の検証

水位		1時間前	実績ピーク時刻	1時間後
		13:00	14:00	15:00
実績		1.98	2.17	1.92
予想	実績ピーク時刻から6時間前の予想	2.00	1.84	—
	5時間前の予想	2.05	1.92	1.79
	4時間前の予想	2.10	2.02	1.88
	3時間前の予想	1.96	1.83	1.70
	2時間前の予想	1.75	1.60	1.36
	1時間前の予想	—	1.82	1.68
実績と予想との水位差		-0.57m~+0.12m		

図 6 (3) 交差検証における水位予想計算結果 No.5 洪水

## 4. 利用にあたって留意すべき事項

本予想を利用するにあたり、以下の留意事項について、利用者に説明する。

### 4.1 予想の妥当性

過去の洪水における実績雨量を用いた水位の再現計算を行い、ピーク時刻付近での水位差をもとに実績値と概ね合致していることを確認している。（「3.2 確認内容及び結果」参照）

確認結果は下記のとおりである。

- ✓ ピーク時刻の前後1時間の期間における予想水位と実績水位の水位差は0.7m以下である。

### 4.2 利用にあたっての留意事項

- ・ 本予想で使用するDNNモデルは、AIモデルの1つであり、入力層・2層の中間層・出力層で構成される。入力データは流域平均雨量とダム放流量であり、過去に発生した洪水から予報対象の水位との関係を学習し、モデルのパラメータを設定した。（「2.2(1)統計モデルの概要」参照）
- ・ 本予想におけるDNNモデルの構築に際しては、直近10年間（2012年～2021年）に発生した洪水のうち、C観測所における観測水位が上位10位となる洪水を学習洪水として選定した。（「2.2(5)学習データ」参照）
- ・ 洪水の予想は、入力データ（降雨量、水位等）の精度、解析モデルの再現性そのものの限界などにより不確実性があり、予想結果が実際の水位等と異なる場合がある。特に、統計モデルを用いた本予想では、学習対象である10洪水と波形又は規模の大きく異なる洪水に対して予想精度が低くなる可能性があり、本予想を利用する上で留意する必要がある。（「3.2 確認結果」参照）
- ・ 予報対象区域の上流には洪水調節機能を持つBダムが位置する。入力データとしてBダムの実績放流量を用いることで、Bダムの流入量及びダムの効果を考慮している（「2.2(4)洪水調節施設の考慮」参照）。なお、ダムにおいて事前放流や異常洪水時防災操作については学習データに用いた過去の事例では実施されておらず、これら操作の実施時には予想結果と実際の水位が異なる可能性がある。

## 5. 現象の予想の方法の維持管理について

予報業務の運用後は、予想結果について引き続き確認し、以下の対応方針に従い予想の方法を適確に維持管理する。

### 5.1 データの保管

本予想で使用する入力データ及び出力結果については、モデルの検証や改善に用いるため、全てデジタルデータとして保存する。

### 5.2 予想結果の妥当性の確認

毎年、A 川 C 観測所の水位の予想結果の確認を行う。予測雨量ではなく実績雨量を入力データとして用い、予想水位と実績水位のハイドロ波形を図示し、比較することでモデルの妥当性を確認する。

### 5.3 実績データの収集を踏まえた対応

以下の点を参考に、予想精度向上に向けた対応方針を記載してください。

- ・予報後の実績データを踏まえた、モデルのパラメータのチューニング方針
- ・ダムや河道整備後のモデルへの反映方針
- ・モデルに用いている地形、測量データ等の更新方針
- ・学習データの追加方針