

洪水時ダム操作を考慮した仁淀川流域における実時間水位流量予測 Real Time Flood Forecasting Implementing Flood Dam Operation in Niyodo River Basin

工藤亮治*・小野航暉**・近森秀高*

*岡山大学環境生命科学研究科（〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1）

**NTC コンサルタンツ（株）

KUDO Ryoji*, CHIKAMORI Hidetaka*, ONO Koki**

*Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University

(3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama, 700-8530)

NTC Consultants Co.,LTD.

(Received 4 December 2020)

Abstract

Since the water release from dams has a large impact on the downstream river flow, modeling of flood dam operation is necessary in river basins that have a large dam basin in upstream. In order to forecast water levels and river discharges in lower part of basins as well as dam inflow, water release, and reservoir storage in real time, the present study developed a real-time flood forecasting system incorporating dam operation during a storm event, and applied the system to Niyodo river basin where a large dam basin (Odo dam basin) exists in the upstream area. The results showed that the developed system showed good accuracy in water release from Odo dam especially for lead time one to two hour ahead, while forecast accuracy decreased in more longer lead time due to poor skill of rainfall forecasts. In addition, the river flow rate and water level up to four hour ahead could be forecasted by the developed system in lower part of Niyodo river basin including water level in the low-lying area. In the Comparison of the forecast accuracy between the two method for water release forecasting (i.e. modeling of flood dam operation used in this study, and simple method that assume current water release continue during the lead time), the developing system showed better accuracy than the simple method. For more accurate forecast especially in the river basins that have short lag time such as Odo dam basin, better rainfall forecast data such as ensemble prediction are necessary.

Key words: dam operation, real time flood forecasting, reservoir release forecasting, river flow routing model

要 旨

ダムからの放流は下流の河川流量に大きな影響を及ぼすため、上流に大きなダム流域を有する河川ではこれを考慮した水位流量予測を行う必要がある。本研究では、仁淀川流域を対象に大渡ダムの洪水時操作をモデル化することで放流量を実時間で予測するとともに、下流域での水位流量の実時間予測を行った。その結果、降雨予測精度に左右されるものの1～2時間先の大渡ダム放流量を予測できることを示した。また、ダム下流域でも4時間程度先までの河川流量や水位が予測可能であった。放流量の予測法として本研究で構築した放流量予測モデルと現時点の放流量が将来も続くと仮定した簡易な方法で下流河川の流量予測精度を比較したところ、前者の方がピーク流量のタイミングなどを精度よく予測でき、洪水時操作のモデル化の有用性を示すことができた。

キーワード: 洪水時ダム操作, 実時間洪水予測, 放流量予測, 河道流追跡

1. はじめに

精度の良い河川水位・流量の予測情報は、水防活動や避難判断などソフト対策として有益な情報となる。また最近では異常降雨に対する洪水防御の一環としてダムの弾力的運用による事前放流の強化などが掲げられており、洪水予測の重要性が改めて確認されている(国土交通省水管理・国土保全局, 2018)。

従来の実時間洪水予測研究はダム管理技術の向上を目指し、ダム流域など単一流域を対象とした研究

が主であった（例えば、角屋・田中丸，1995）。しかし、河川に隣接する地方自治体や流域住民に周知するための防災情報はダム流入量だけの予測では不十分であり、適切な避難判断を行うためには、ダム放流量・貯水量（貯水位）の予測情報、市街地をはじめとしたダム放流先の洪水予測情報が不可欠である。

実時間予測研究においてダムの操作を扱った例として、佐山ら（2005）はダム操作のモデル化によってダムによる流況制御を考慮した分布型流出予測システムの開発を行い、ダム流入量をはじめとした入力情報からダム放流量を精度良く推定することを可能にしている。ただし、分布型流出モデルには、降雨の空間分布を考慮した雨水の移動を再現できる、任意地点の流況把握を行い易い等の利点があるものの、モデルのパラメータの設定やフィルタリング手法の適用に困難が伴うため、課題点も多い。単にダム放流量を予測したい場合は従来から行われてきた集中型流出モデルによるダム流入量の実時間予測にダム操作のモデル化を組み合わせることで十分に対応できると考える。本研究では仁淀川流域上流部の大渡ダム流域を対象に、集中型流出モデルによるダム流入量の実時間予測を拡張し、洪水時のダム操作のモデル化を行うことでダム放流量および貯水量の実時間予測を試みた。さらに、放流先である仁淀川中流部・下流部においてダムを起点とした河道流追跡を行い、粒子フィルタを導入した河川水位・流量予測システムを構築し、水位・流量の予測精度およびダム放流量の予測の効果を検証した。

2. 対象流域および解析資料

対象流域は仁淀川流域である（Fig.1）。仁淀川は愛媛県、高知県を流れる流域面積 1,560 km² の一級河川である。河床勾配は上流部で 1/100~1/150，下流部で 1/1000 程度と急流河川であるものの、下流部には内水被害が多発する低平地が広がっている。

対象出水は、2003 年から 2016 年までの 14 年間のうち、治水基準点の伊野においてピーク比流量 4.0 m³ s⁻¹ km² 以上の 8 出水とした（Table 1）。解析資料は、雨量

（下流ブロックを除く 25 地点）、水位（八田・中島・仁西）、流量（川口・伊野）、大渡ダムにおけるダム諸量（流入量、放流量、貯水量）であり、国土交通省の水文水質データベースより取得した。なお、いずれも時間単位のデータを用いている。

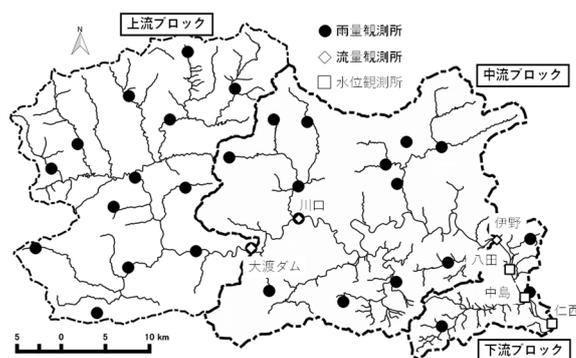


Fig.1 仁淀川流域図

Table 1 対象出水

No.	年	期間	日数	総雨量 (mm)	総流出高 (mm)	ピーク流量 (m ³ /s)	ピーク比流量 (m ³ s ⁻¹ km ⁻²)	流出率 (%)			順位
								大渡ダム	川口	伊野	
1	2004	8/30-9/3	5	324.8	363.79	7485.00	5.12	96.9	123.3	112.0	5
2	2004	9/28-10/2	5	290.8	300.18	5859.37	4.01	84.8	107.7	103.2	8
3	2004	10/19-10/23	5	373.0	349.99	9079.75	6.21	83.0	104.0	93.8	3
4	2005	9/5-9/9	5	623.7	583.59	10996.66	7.52	82.0	102.1	93.6	1
5	2007	7/13-7/18	6	461.9	548.26	9858.84	6.74	欠測	131.3	118.7	2
6	2013	9/3-9/6	4	305.0	227.23	6500.03	4.44	75.1	95.8	74.5	7
7	2013	10/23-28	6	452.2	401.17	6562.08	4.49	83.9	109.1	88.7	6
8	2014	8/1-8/13	13	1270.8	1238.69	8722.05	5.96	83.9	120.1	97.5	4

3. 実時間水位・流量予測モデルの概要

3.1 流出モデルの構築

本研究で構築する流出モデルでは、仁淀川流域を上流ブロック（大渡ダム流域）・中流ブロック（大渡ダム～伊野）・下流ブロック（伊野～仁西）に分けて計算を行う（Fig.1, Fig.2）. 流出モデルには集中型流出モデルの1つである長短期流出両用モデル（LSTモデル）と河道流追跡モデルである kinematic wave モデルおよび dynamic wave モデルを用いた. また、洪水時ダム操作のモデル化を行うことにより、大渡ダムからの放流量を推定した.

上流ブロックでは、集中型モデルとして LST モデルを適用し、大渡ダムの流入量を算出する. その後、ダム操作のモデル化を行うことにより、大渡ダムからの放流量を算出する. 中流ブロックでは、人家が増えてくるため、防災上任意の地点の流量予測が必要となること、またダム放流量の影響が大きいことから河道流追跡が必要となる. そこで、中流ブロックの河道流追跡に kinematic wave モデルを適用した. また、河道の横流入量は中流ブロックを大渡～川口間の流域、川口～伊野間の流域に分割し、LST モデルにより求めた. 下流ブロックは低平地であり背水の影響があることから、伊野～仁西間において河道流追跡に dynamic wave モデルを適用した. なお、下流ブロックは面積が小さいこと、ほとんどの出水で上中流域に比べ降雨量が少ないことから横流入量を求めず、dynamic wave による河道流追跡のみを行い水位を予測した. kinematic wave モデル、dynamic wave モデルの連続式は (1) 式、運動方程式はそれぞれ (2) 式、(3) 式である.

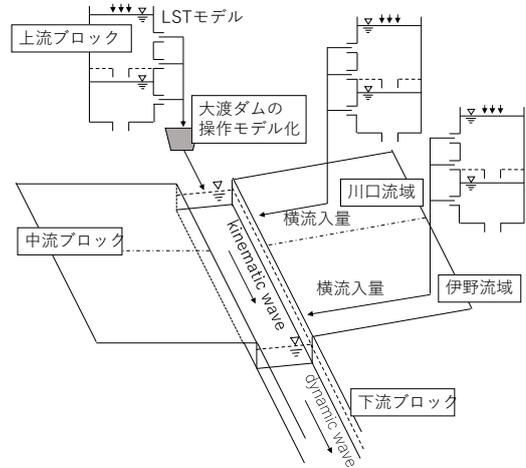


Fig.2 仁淀川流域における実時間洪水予測システムの概要図

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_w \quad (1)$$

$$A = KQ^P \quad (2)$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{gA} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{A^2 R^{4/3}} = 0 \quad (3)$$

ここに、 A : 流水断面積、 Q : 河道流量、 q_w : 河道単位長当たりの横流入量、 t : 時間、 x : 距離、 K 、 P : kinematic wave モデルの河道流定数、 g : 重力加速度、 H : 水位（基準面からの高さ）、 n : Manning の粗度係数、 R : 径深である. 数値解法として、kinematic wave モデルには MacCormack 法を、dynamic wave モデルには leap-frog 法を用いた. 時空間刻みは kinematic wave モデルで $\Delta x=1,000\text{m}$ 、 $\Delta t=10\text{s}$ 、dynamic wave モデルで $\Delta x=200\text{m}$ 、 $\Delta t=1\text{s}$ とした. 中流ブロックの上流端境界条件は大渡ダム放流量、下流ブロックにおける上流端境界条件、下流端境界条件は伊野の河川流量、仁西の水位である.

3.2 大渡ダムにおける洪水時ダム操作のモデル化

大渡ダムは一定率一定量放流方式によって洪水調節を行っている. 一定率一定量放流方式は、ダム流入量が洪水調節開始流量を超えてピークに達するまで流入量に対して一定の割合で放流し、ピーク後はその時点の放流量を保つ方式である. この操作は以下のように定式化される（椎葉ら, 2013）.

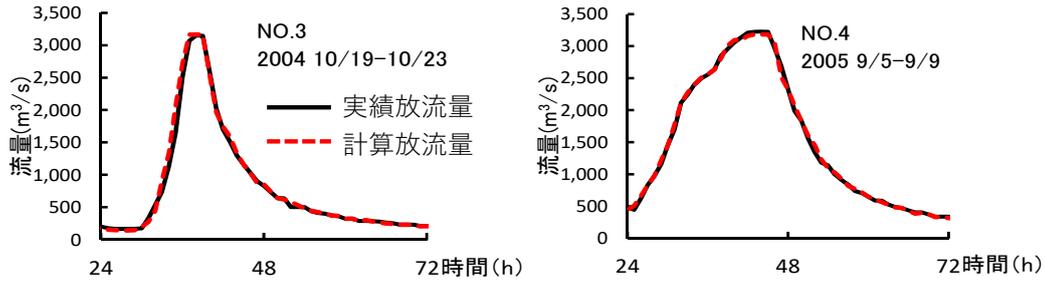


Fig.3 大渡ダムにおける放流実績と計算放流量の比較

$$Q_{out}^i = \begin{cases} Q_{in}^i & (Q_{in}^i < Q_f) \\ Q_f + c(Q_{in}^i - Q_f) & (Q_{in}^i > Q_{in}^{i-1}) \\ Q_f + c(Q_p - Q_f) & (Q_{in}^i < Q_p) \\ Q_f + c(Q_m - Q_f) & (Q_{in}^i > Q_m) \end{cases} \quad (4)$$

ここに、 Q_{out}^i : 時点*i*の放流量 (m^3/s)、 Q_{in}^i : 時点*i*の流入量 (m^3/s)、 Q_f : 洪水調節開始流量 (m^3/s)、 c : 放流の比率、 Q_p : ピーク流入量 (m^3/s)、 Q_m : 計画最大流入量 (m^3/s)。

大渡ダムでは、 $Q_f = 2,100 m^3/s$ 、 $Q_m = 6,000 m^3/s$ (国土交通省四国地方整備局, 2016) としている。 c はダムごとのパラメータであり、放流実績を元に $c = 0.44$ と推定して計算した。操作を終了する時点は、放流実績から推定し、流入量が放流量を下回った時点で調節操作を止め、 $Q_{out}^i = Q_{in}^i$ とした。

上記モデルによる放流量の再現計算を行った (Fig.3)。放流量の再現性を検証する際は、入力する流入量には観測値を用い、それを元に得られた計算放流量を実績の放流量と比較した。計算放流量は実績放流量と良く一致し、十分な精度で洪水時の放流量が再現されている。観測放流量 $300 m^3/s$ 以上で算出した平方平均二乗誤差 RMSE ((5) 式) は $24.8 \sim 134.0 m^3/s$ (平均 $65.1 m^3/s$) であり、上記モデルで洪水時の大渡ダムの放流実績の再現が十分に可能であると判断した。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{cal} - Q_{obs})^2} \quad (5)$$

ここに、 N : データ数、 Q_{obs} : 観測放流量 (m^3/s)、 Q_{cal} : 計算放流量 (m^3/s)。

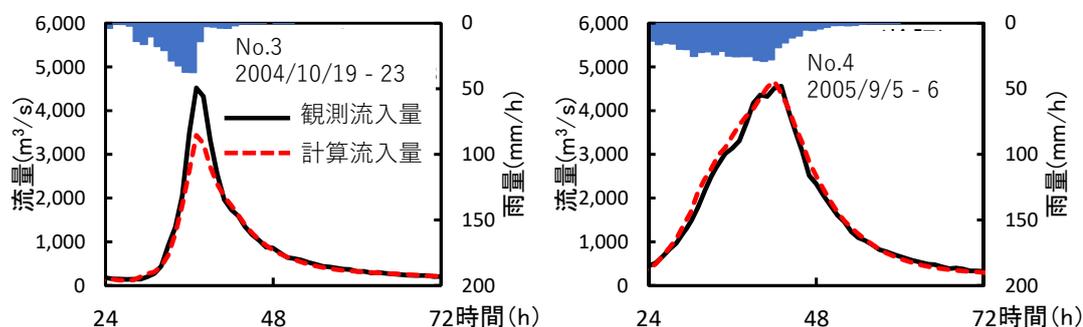
3.2 モデルパラメータの設定と水位・流量の再現結果

LST モデルのパラメータは大渡ダム流域において同定し、同定したパラメータを中流域の LST モデルにも用いた。パラメータ同定では、対象 8 出水の中からピーク流量の上位 2~4 位の 3 出水を同定出水として選び、3 出水の RMSE の合計値を目的関数としてパラメータを決定した。最適化手法には差分進化法 (Storn and Price, 1995) を用いた。同定されたパラメータを Table 2 に示す。なお、中流域の LST モデルの遅れ時間 t_1 は試行錯誤的に決定し、大渡一川口間では 0 時間、川口-伊野間では 4 時間とした。kiematic wave モデルの河道流パラメータ K 、 P は地形図および現地計測した中流ブロックの河道幅を用いて流積と流量の関係から求めた。なお、マンニングの粗度係数を $n=0.03$ としている。

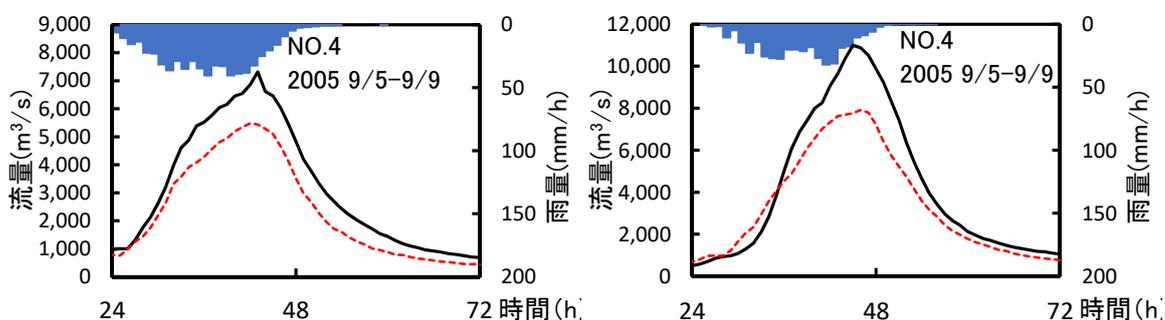
上記パラメータを用いたモデルの再現結果を Fig.4 に示す。まず、大渡ダムの流入量 (Fig.4 (a)) はピーク流量がやや過小に算出されている出水もあるが、検証出水も含め再現性は良好であった。高水部 (観測流入量 $300 m^3/s$ 以上) における RMSE は同定出水で $133.4 \sim 348.4 m^3/s$ (平均 $268.7 m^3/s$)、検証出水で $140.5 \sim 386.9 m^3/s$ (平均 $221.9 m^3/s$) となった。

Table 1 同定された LST モデルのパラメータ

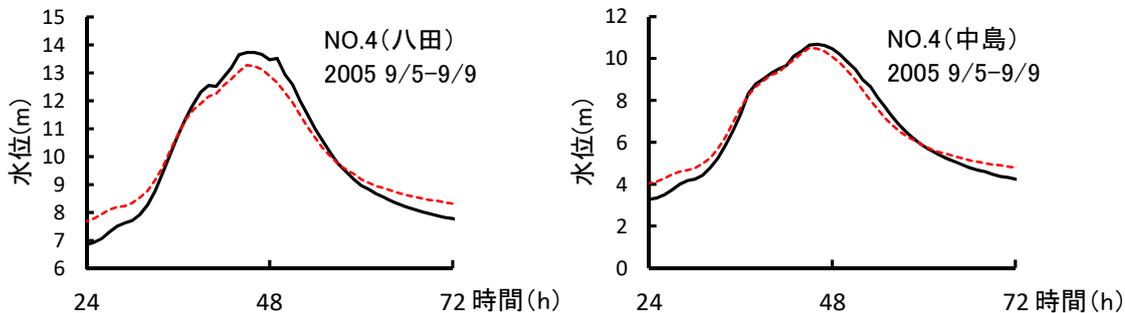
a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	Z_1	Z_2	Z_3	t_l
0.0039	0.027	0.009	0.073	0.0048	36.1	99.4	12.9	0



(a) 大渡ダム流入量 (上流ブロック)



(b) 中流ブロックの河川流量 (左: 川口, 右: 伊野)



(c) 下流ブロックの河川水位 (左: 八田, 右: 中島)

Fig.4 仁淀川における水位, 流量の再現例

中流ブロックの川口・伊野の流量の再現結果 (Fig.4 (b)) は, 両地点ともに過小推定傾向であり, これは他の 7 出水でもほぼ同様の傾向であった. 両地点の RMSE は川口における高水部 (観測流量 $500 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上) の RMSE は $590.6 \sim 842.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (平均 $727.1 \text{ m}^3/\text{s}$), 伊野における高水部 (観測流量 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上) の RMSE は $540.5 \sim 1414.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (平均 $906.2 \text{ m}^3/\text{s}$) となった. 両地点で各出水の流出率を求めると (Table 1), 川口では 8 出水中 7 出水中, 伊野では 8 出水中 3 出水中で流出率 (出水期間中の総流出高/総降雨量) が 100%を超えており, 横流入量が過小であったと推測される. レーダーアメダス解析雨量により対象出水の降雨の空間分布をみると, 大渡ダム付近および川口観測点よりも南側で降水量が多くなる出水が多く認められたが, Fig.1 によれば川口以南の雨量観測点は 1 地点のみである. このため, 強雨域の雨量が流域平均雨量に反映されていないことが考えられ, より精度よくモデルを再現するにはレーダー雨量の利用を考える必要があり, 今後の検討課題としたい.

下流ブロックの八田, 中島の水位の再現結果を (Fig.4 (c)) に示す. 両地点ともに, 低水部では観測

値との差が見られたが、高水部ではピークを含めて計算水位は実測水位と良く一致していた。下流ブロックは流域面積が 97.0 km² (全流域のおよそ 6%) であり、横流入量を考慮せずとも十分な再現性が得られた。低水部の誤差は、河道断面を矩形断面と仮定しているため低水敷が実際よりも大きくなっていることが主要因として挙げられる。高水部（観測水位 8.0 m 以上）における八田の絶対誤差は 0.14~0.35 m (平均 0.29 m)、中島における絶対誤差（観測水位 5.0 m 以上）は 0.15~0.28 m (平均 0.23 m) であった。ピーク時における水位差も最大で 0.7 m に留まっており、洪水時の水位計算において本モデルでも十分に対応できると考えられる。以上より、若干の課題はあるものの概ね流域内の流量、水位を再現できているため、ここで設定したパラメータを用いて実時間水位流量予測を行う。

4. ダム放流量を考慮した実時間水位・流量予測

4.1 予測手順の概要

前章で構築した流出モデルにフィルタリングを導入し、全ブロックにおいて実時間流出予測を行った。予測先行時間は 6 時間とした。また、降雨予測法には現時点の降雨が将来も続くと仮定する現時点降雨継続法（角屋・田中丸，1995）を採用した。各ブロックにおける具体的な手順は以下の通りである。

4.1.1 上流ブロックの予測手順

上流ブロックでは大渡ダムの流入量、放流量、貯水量を予測する。予測に際し、拡張カルマンフィルタを適用し（角屋・田中丸，1995）、LST モデルの第 1 段タンク上段の水深 S_1 の修正を行う。予測手順は以下の通りである。

- ① 現時点の観測流入量を用い、タンク水深 S_1 を拡張カルマンフィルタにより修正する
- ② 修正したタンク水深 S_1 を初期値として LST モデルに予測雨量を入力し、予測流入量を求める
- ③ (4) 式を用いて、予測流入量から予測放流量を求める
- ④ 得られた流入量、放流量から以下に示すダム貯水量の収支計算を行い、予測貯水量を求める。なお、貯水量予測の初期値には各予測開始時点の観測貯水量を設定した。

4.1.2 中流ブロックの予測手順

大渡一川口間・川口ー伊野間での横流入量算出に用いる LST モデルの第 1 段タンクの水深 S_1 を粒子フィルタ（粒子数 100 個）により修正する（工藤ら，2011）。具体的な予測手順は以下の通りである。

- ① 川口の観測流量から粒子フィルタにより大渡一川口間のタンク水深 S_1 を修正する。
- ② 修正したタンク水深 S_1 を初期値として LST モデルに予測雨量を入力し横流入量を求める。上流端の流量に大渡の予測放流量を入力し、kinematic wave モデルにより大渡一川口間の予測流量を求める。
- ③ 川口ー伊野間において、①と同様の修正を行い予測流量を求める。上流端の流量は②で求めた川口の予測流量を用いる。

4.1.3 下流ブロックの予測手順

下流ブロックではフィルタリングを行わず、dynamic wave モデルのみによる水位予測を 6 時間先まで行った。上流端には中流ブロックでの伊野の予測流量を、下流端には現時点の水位が将来も継続するものとして仁西の水位を用いた。

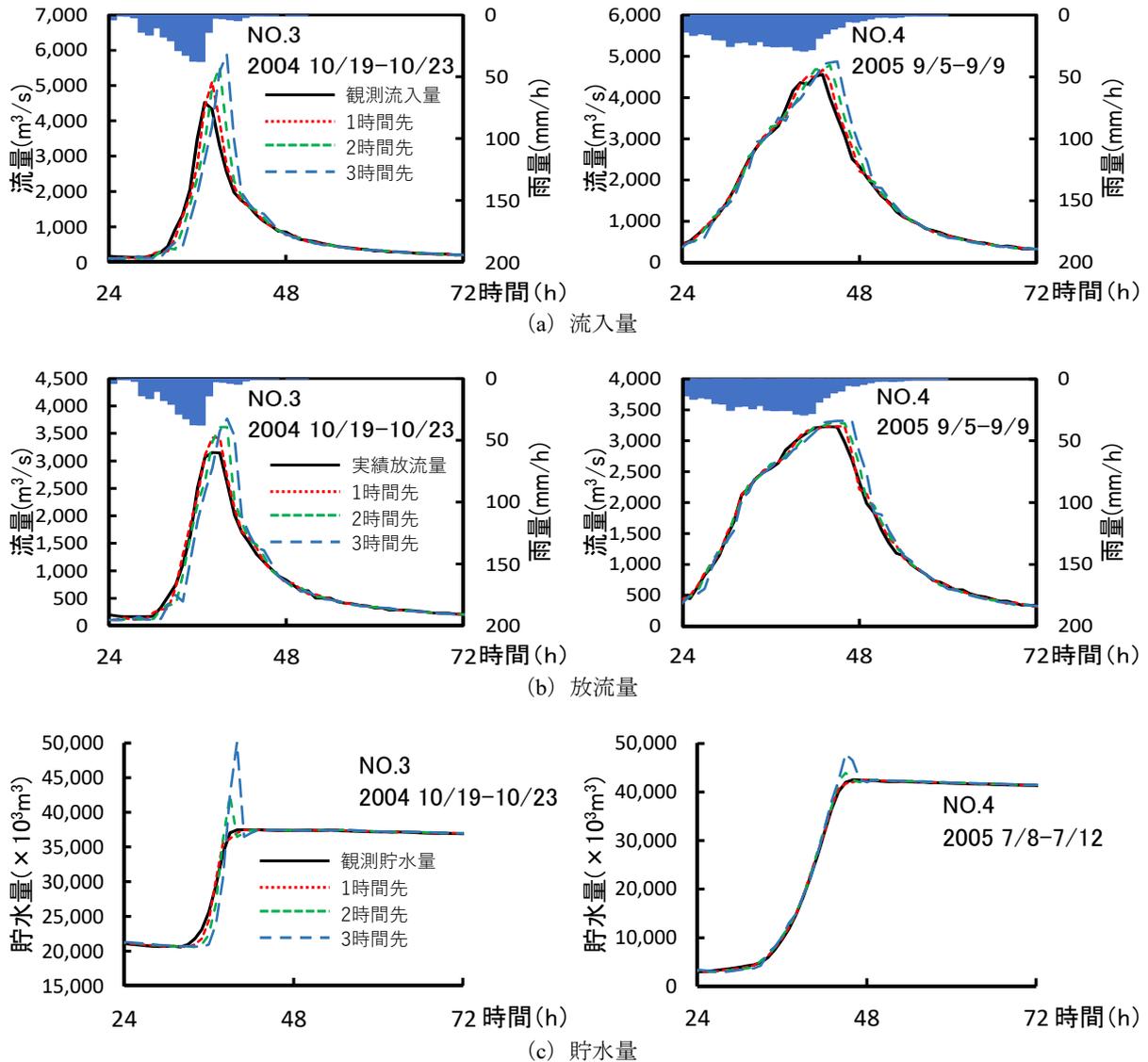


Fig.5 大渡ダムにおける流入量，放流量，貯水量の予測例

4.2 実時間水位流量予測結果

4.2.1 上流ブロックのダム流入量，放流量，貯水量の予測結果

Fig.5 に大渡ダムの流入量，放流量，貯水量の3時間先までの予測結果を示す。1時間先の予測流入量は観測値と良く一致しているのに対し，2，3時間先では次第にピーク流入量が過大にかつ遅れて予測されている。また，予測放流量も予測流入量から算出されるため，予測先行時間が長いほど流入量と同様に過大に予測される傾向がみられる。これはピーク時の雨が続くという仮定で予測しているためである。特に，大渡ダム流域の遅れ時間が0時間であり，この影響が顕著に現れている。流入量，放流量の予測先行時間別のRMSEをFig.6に示す。拡張カルマンフィルタを導入することで，2時間先までの予測精度が大きく改善されている。拡張カルマンフィルタを導入した場合と適用しない場合の8出水のRMSEの平均値を比較すると，流入量は1時間先で約52%，2時間先で約21%，放流量は1時間先で約53%，2時間先で約20%の改善

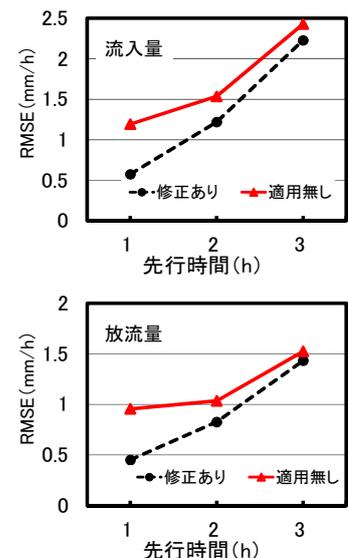


Fig.6 ダム流入量放流量の予測精度 (RMSE)

「修正あり」，「適用無し」は拡張カルマンフィルタの適用の有無を意味している

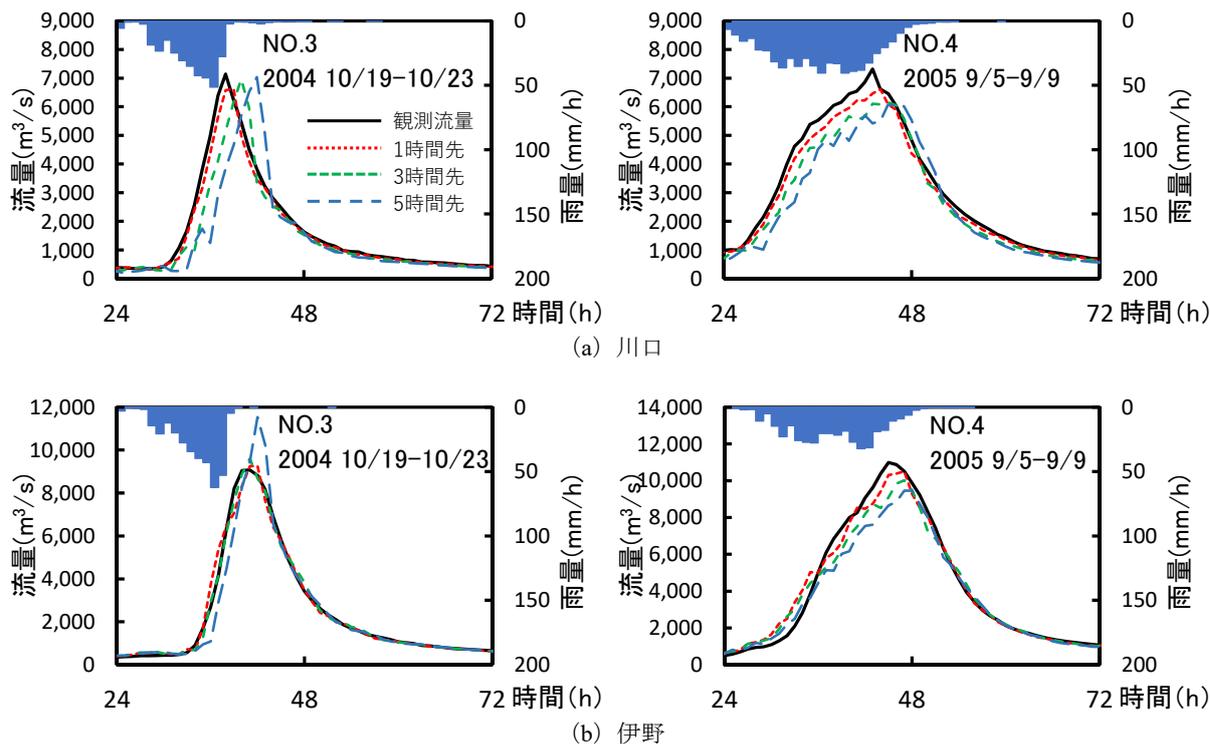


Fig. 7 中流ブロックにおける河川流量の予測例

がみられた。貯水量も1～2時間先までの貯水量は概ね精度よく予測されているものの、3時間先の予測では大きく過大推定される出水もあり、最大で $15,000 \times 10^3 \text{ m}^3$ 以上（出水3）の誤差が生じた。

降雨予測法に用いた現時点降雨継続法では、予測先行時間が長くなるほどピーク流量が過大にかつ遅れて予測され、予測先行時間が長くなるほど予測精度の低下が大きかった。特に、貯水量予測では実際は発生していない異常洪水時防災操作（ただし書き操作）開始の貯水量に到達するような予測となる懸念もあるため、大渡ダム流域のように洪水到達時間の短い流域では降雨予測がより一層に重要となる。

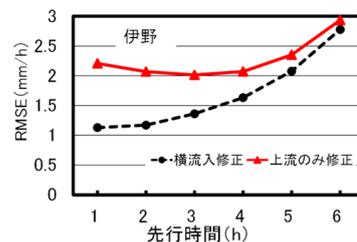


Fig. 8 伊野における流量の予測精度 (RMSE)
「横流入修正」、「上流のみ修正」は中流域における粒子フィルタの適用の有無を意味している

4.2.2 中流ブロックにおける河川流量の予測結果

Fig.7に川口、伊野の流量の予測結果を示す。モデルの再現性で確認したように、川口、伊野での流量の再現性は過小推定の傾向がみられたが、粒子フィルタによるタンク水深の修正により予測精度が向上している。川口では横流入量の遅れ時間が0時間であることから、3～5時間先では次第にピーク流量が遅れて予測されている。一方、伊野では、上流からの洪水の伝播時間が長く、また横流入量の計算において遅れ時間4時間で計算しているため、4～5時間先までは精度良く予測できていた。特に、強い降雨強度が発生していない出水（例えば出水No.4）では6時間先でもある程度予測精度を保っていた。

Fig.8に伊野の予測先行時間別のRMSEを示す。粒子フィルタを導入することで予測精度が大きく改善されている。粒子フィルタを導入した場合と大渡のみでフィルタリングを行った場合のRMSEを比較すると、川口の予測精度は1時間先で約70%、2時間先で約45%、3時間先で約27%、伊野においても1時間先で約49%、2時間先で約43%、3時間先で約32%、4時間先で約21%の改善がみられた。

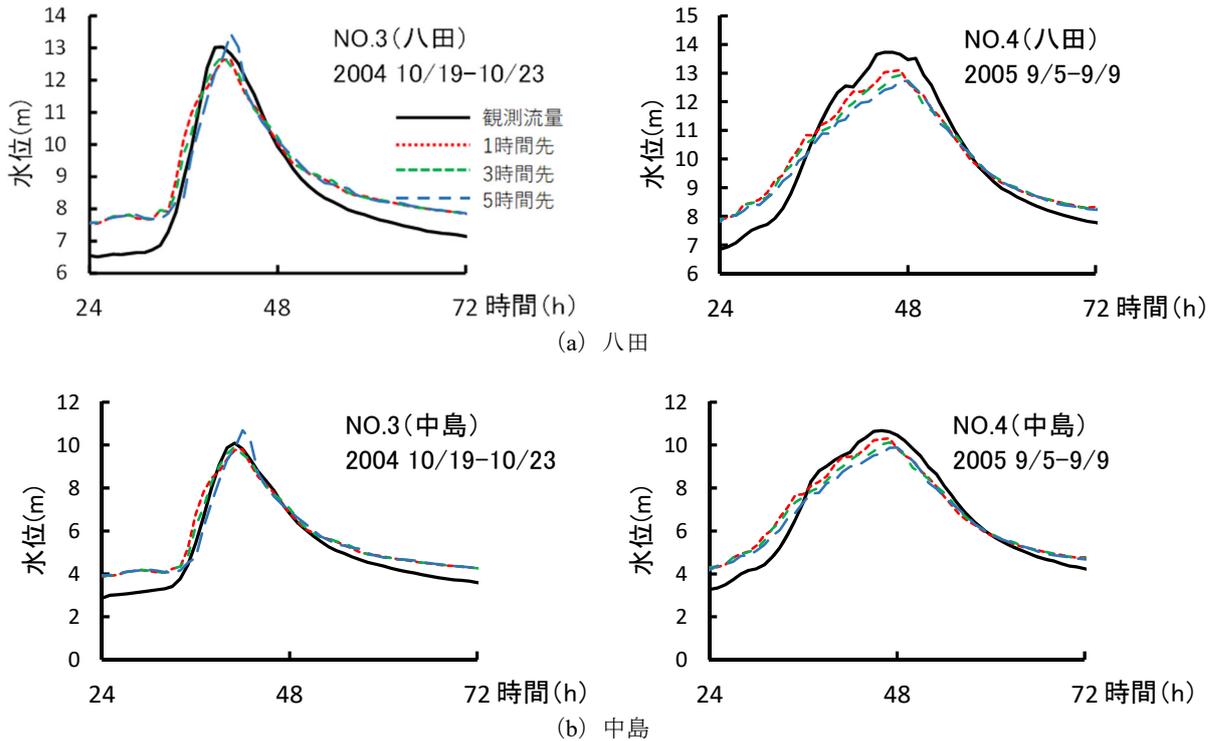


Fig. 9 下流ブロックにおける河川水位の予測例

4.2.3 下流ブロックにおける河川水位の予測結果

Fig.9 に八田, 中島の水位予測結果を示す. ほとんどの出水で 5 時間先まで精度良く両地点の水位予測を行うことができていた. 一方で, 出水によっては 5 時間を超えると伊野の流量が過大に予測されるため, 両地点の水位も過大に予測された. 川口-伊野間の LST モデルの遅れ時間は 4 時間であるため, 5, 6 時間先の水位予測の精度を上げるためには川口-伊野間の 1, 2 時間先の予測雨量を精度良く求めることが重要である.

Fig.10 に中島の予測先行時間別の絶対誤差 (m) を示す. 粒子フィルタを導入の有無による絶対誤差の平均値を比較すると, 八田での予測精度は 1 時間先で約 17%, 2 時間先で約 13%, 中島において 1 時間先で約 42%, 2 時間先で約 41%の改善がみられ, 中流ブロックに粒子フィルタを導入することで得られた予測流量を上流端境界条件とすることで, 予測精度が大きく改善されている. なお, 下流端境界条件は現時点の水位が継続するものとして計算しているが, 仮に予測水位が既知として予測しても, 結果はほぼ変わらず, 下流端の水位の誤差は八田, 中島の水位予測にはほとんど影響を与えないと推測された.

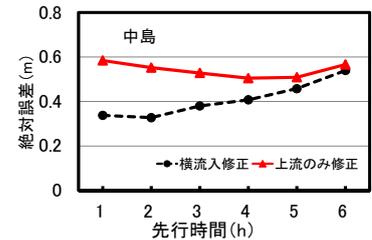


Fig.10 中島における水位の予測精度 (RMSE)

「横流入修正」, 「上流のみ修正」は中流域における粒子フィルタの適用の有無を意味している

4.4 放流量予測法の違いが放流先の河川流量予測に与える影響

降雨予測と同様にダム放流量も現時点の放流量が将来も続くものと仮定した予測 (現時点放流量継続法) が可能である. そこで, ダム操作のモデル化を行った場合と現時点放流量継続法を用いた場合の予測精度の比較を行った (Fig.11). 現時点放流量継続法を用いた場合, 放流先 (川口地点) の予測流量は予測先行時間が長くなるほどピークが遅れて予測されたが, ダム操作のモデル化して予測することでピークのタイミングを合わせることができている (ただし両ケースとも将来雨量が完全に予測できたと仮

定). このことから, 雨量の予測精度に依存するものの, ダム操作をモデル化することによって放流先の精度を向上させることができる.

6. おわりに

本研究では, 仁淀川流域を対象とし, ダムの洪水調節を考慮した流域全体での実時間洪水予測システムの構築を行った. 得られた結果は以下のようである.

- 1) 大渡ダムの洪水時操作のモデル化により同ダムからの放流量を精度よく再現することができた. また, 予測放流量は予測流入量の精度に依存するものの 1~2 時間先までは概ね精度良く予測できた.
- 2) 現時点降雨継続法を用いた場合, 予測先行時間が長くなるほどダム流入量が過大に予測される傾向があるため, 特に遅れ時間 0 時間として予測を行った大渡ダム流入量や中流ブロックの川口地点の流量は予測先行時間が大きいほど予測精度が悪化した.
- 3) 下流ブロックでの水位予測は伊野の流量予測精度に依存しており, 伊野の流量を精度良く予測できたことで八田, 中島の水位を精度良く予測することができた.
- 4) 現時点の放流量が将来も継続するものとして予測した場合と比べ, ダム操作のモデル化による予測放流量を用いることで, 特にダムから近い川口で予測精度が向上した. 放流量の影響が大きいダムに近い地点での流量予測において, 本モデルによる放流量予測は有効である.

流域面積が大きく遅れ時間の長い流域では現時点降雨継続法でも十分な予測精度が期待できるが, 大渡ダム流域のようにダム近傍 (流域末端部) に強雨域が発生するような流域では, 流域面積とは関係なく遅れ時間が短くなるため, 先行時間の長い予測が困難となる. そのため, 予測精度のさらなる向上には, メソアンサンブル予報の利用や他の降雨予測法の利用も検討する必要がある.

謝辞: 本研究は, 内閣府官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM) 「ほ場水位予測による応急対応促進・田んぼダムにおける湛水深及び浸水範囲予測と水管理システムの開発 (代表者: 北川 巖)」の一部として実施した. ここに記して感謝の意を表す.

引用文献

- 角屋睦, 田中丸治哉 (1995): 長短期流出両用モデルによる実時間洪水予測, 農業土木学会論文集, 177, 31-41.
- 国土交通省水管理・国土保全局 (参照 2020.11.25): ダム再生ガイドライン, (オンライン), 入手先<<http://www.mlit.go.jp/river/dam/pdf/guideline.pdf>>
- 国土交通省 四国地方整備局 (参照 2020.11.25): 大渡ダム 30 年の歩み, (オンライン), 入手先<http://www.skr.mlit.go.jp/oodo/pdf/anipuro_ayumi.pdf>
- 工藤亮治, 近森秀高, 永井明博 (2011): 粒子フィルタを用いた実時間洪水予測システムの構築と河道任意地点における予測精度の検証, 水文・水資源学会誌, 24 (3), 137-148.
- 佐山敬洋, 立川康人, 寶馨, 市川温 (2005): 広域分布型流出予測システムの開発とダム群治水効果の評価, 土木学会論文集, 2005 (803), 803_13-803_27.
- 椎葉充晴・立川康人・市川温 (2013): 水文学・水工計画学, 京都大学学術出版会, 385.
- Storn, R. (1996): On the usage of differential evolution for function optimization, NAFIPS'1996, 519-523.

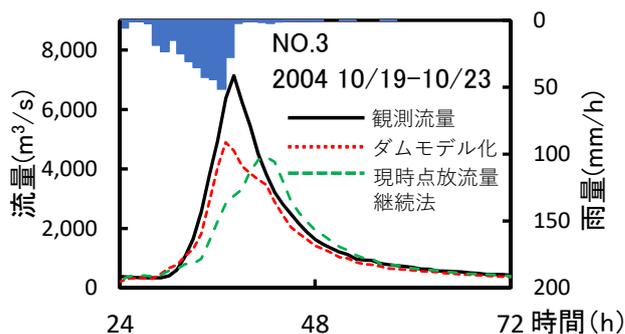


Fig.11 放流量予想法の違いによる河川流量予測精度の差 (川口)