

太田川の洪水流出解析と実時間流出予測

東京都 正会員 ○松永美穂

広島大学大学院 フェロー会員 河原能久

1. はじめに

平成 17 年 9 月の台風 14 号，平成 18 年 9 月の台風 13 号による豪雨は太田川に大規模な洪水を発生させた。洪水時に基準点での水位・流量を正確に観測・予測することは，治水計画の策定や水防活動を行う上で重要な課題であり，太田川流域においても洪水予測の重要性は高い。太田川の洪水は，流域の雨の降り方や支川からの流出に特徴があり，これらが流出解析の精度に影響していると考えられるが，現在は主要な支川の流量観測データが得られていない状況にある。そこで 2 段タンク型貯留関数モデルを用いて最近の 3 つの代表的な洪水の流出解析を行い，流域の降雨流出特性を把握する。

また近年，多発する集中豪雨による洪水被害に対する施策の一つとして，洪水生起時に時々刻々観測される降雨や水位などのテレメータ情報を利用して観測値と予測値の誤差を最小にしながら洪水予測を繰り返していく実時間流出予測システムの開発が進められ，実用化されている^{1),2)}。本研究では，2 段タンク型貯留関数モデルを用いて実時間流出予測を行い，流出モデルの適用性を検証する。

2. 対象流域

本研究では，流出計算対象区間として上流端を加計観測所，下流端を矢口第 1 観測所に設定する。加計観測所より上流にはダムが数か所存在し，洪水時にはそれらのダムにおいて流量調節が行われる。ダムにおける放流量のデータには人為性が入るため，上流端流入量として加計観測所で実測流量を与える。同様に，新川橋観測所と中深川観測所で実測流量を与える。GIS を用いて流域分割を行い，流域内に位置する国交省，気象庁，広島県の 36 カ所のテレメータ雨量観測所の雨量データを用いて，ティーセン法により流域平均雨量を算出した。流域分割を図 1 に示す。ここでモデルパラメータは全分割流域において同一の値をとるものとする。各分割流域では流域流出解析を，本川の河道では河道追跡計算を行い，下流端の矢口第 1 観測所で流量ハイドログラフを再現するようにモデルパラメータを推定する。

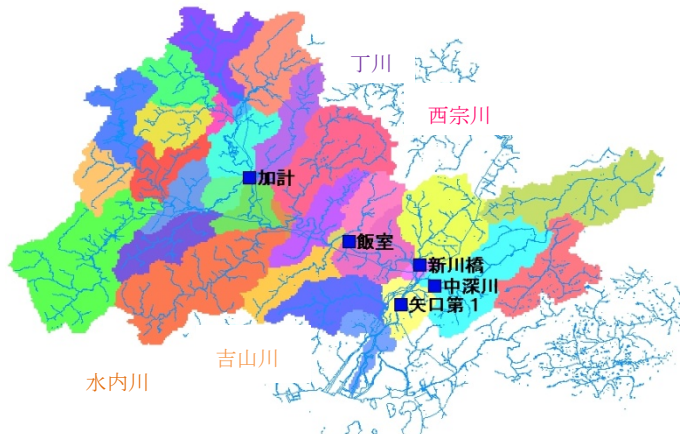


図 1 流域分割

3. 流出モデル

流出モデルには，園山ら³⁾の 2 段タンク型貯留関数モデルを採用した。この流出モデルでは，全流出過程を表面・中間流出成分と地下水流出成分の 2 成分に分離し，両者を別々の貯留関数式によって表す。以下に貯留方程式を示す。

【1 段目タンク】

$$\begin{cases} s_1 = k_{11}q_1^{p_1} + k_{12} \frac{d}{dt}(q_1^{p_2}) & (1) \\ \frac{ds_1}{dt} = r - q_1 - b & (2) \end{cases}, \quad b = k_{13}q_1 \quad (3)$$
$$\begin{cases} k_{21} = d_1 k_{22}, & k_{22} = \frac{k_{13}}{d_0}, & d_0 = \left(\frac{\delta}{T_c}\right)^2, & d_1 = \frac{\delta^2}{T_c} \end{cases}$$

【2 段目タンク】

$$\begin{cases} s_2 = k_{21}q_2 + k_{22} \frac{dq_2}{dt} & (4), \quad \frac{ds_2}{dt} = b - q_2 & (5) \\ q = q_1 + q_2 & (6) \end{cases}$$
$$\begin{cases} p_1 = 0.6, & p_2 = 0.4648 \\ k_{11} = c_1 A^{0.24}, & k_{12} = c_2 k_{11}^2 (r)^{-0.2648}, & k_{13} = c_3 - 1 \end{cases}$$

ここで, s_1 : 1 段目タンク貯留高(mm), r : 観測雨量(mm/h), q_1 : 表面・中間流出高(mm/h), b : 1 段目タンクから 2 段目タンクへの浸透供給量(mm/h), k_{11} , k_{12} : 貯留係数, k_{13} : 浸透係数, p_1 , p_2 : 貯留指数, A : 流域面積(km²), $\bar{r}$: 平均雨量強度(mm/h), c_1 , c_2 , c_3 : 推定すべきモデルパラメータ, s_2 : 2 段目タンク貯留高(mm), k_{21} , k_{22} : 貯留係数, q_2 : 地下水流出高(mm/h), q : 全流出高(mm/h), δ : 減衰係数(=2.1), T_c : 分離時定数(h), k_{21}, k_{22} : 貯留係数である。

モデルパラメータ c_1 , c_2 , c_3 の決定は, 下流端での観測流量と計算流量の誤差を最小とするようにニュートン法を適用して行う。

4. 計算結果

(1) 流出解析結果

図 2～図 7 に, 平成 11 年, 17 年, 18 年における計算対象期間の総降雨量のコンターと矢口第 1 観測所における流量ハイドログラフの計算結果を示す。

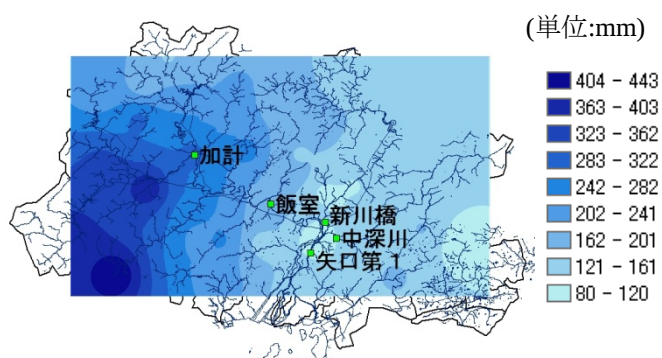


図 2 総降雨量のコンター(H11.9)

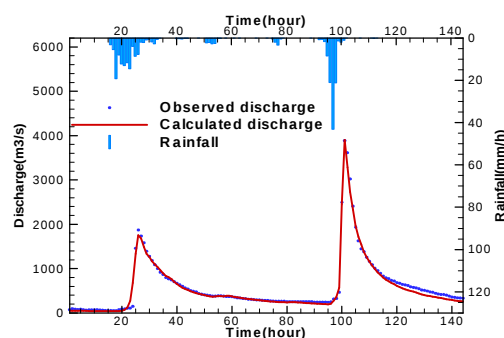


図 3 矢口第 1 観測所における流量ハイドログラフ (H11.9)

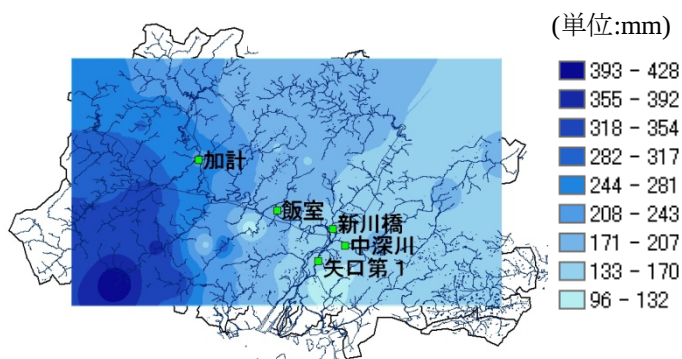


図 4 総降雨量のコンター(H17.9)

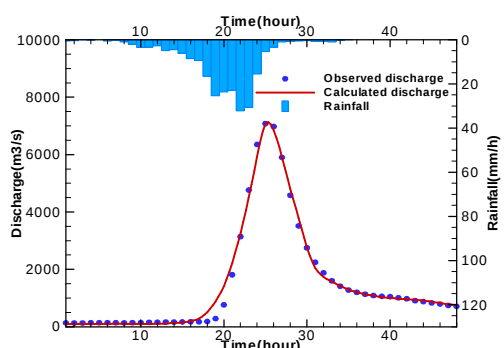


図 5 矢口第 1 観測所における流量ハイドログラフ (H17.9)

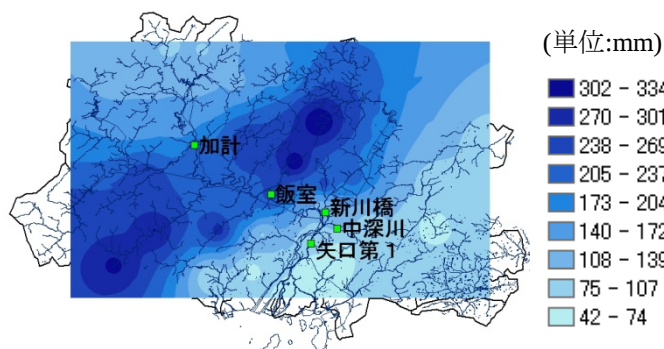


図 6 総降雨量のコンター(H18.9)

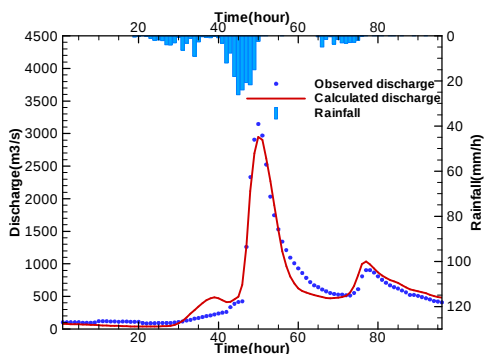


図 7 矢口第 1 観測所における流量ハイドログラフ (H18.9)

図3, 5より, 平成11年9月, 平成17年9月の洪水の洪水では, ピーク流量, ハイドログラフの形状ともに精度よく再現できている. しかしながら, 平成17年9月の洪水ではハイドログラフの立ち上がりが1時間ほど早く再現されている. これは, 流出成分の大部分を占めている表面・中間流出成分を表す1段目タンクの流出が, 実際よりも早く再現されていることを示している. 図2, 4より平成11年9月, 平成17年9月の洪水を引き起こした豪雨のパターンとして, どちらも太田川本川上流域, 支川水内川上流域に集中した特徴を示している. この雨の降り方は, 台風性によるものであり, 洪水被害を大きくしている原因といえる.

図7より, 平成18年9月の洪水では計算ピーク流量が実績値よりも低く算出された. 図6より降雨パターンは前の2ケースとは異なり, 太田川本川上流での降雨量は少なく, 上流に位置する支川の水内川や西宗川の流域に降雨が集中していることが確認できる. 現在のところ, 太田川流域の支川の流量観測データはないため, 支川毎の流出解析はできていない. そのため, 平成18年のケースのように支川の流域に降雨が集中し, 流出量が卓越した洪水のパターンでは, 本研究の流出モデルを用いると下流端の流量ハイドログラフの再現性が悪いという結果が生じたと考えられる.

次に, 平成17年9月の洪水において図8に主要な支川からの流入量の推定結果を, 図9に支川が合流する地点の本川の流量ハイドログラフを示す. 図8より, 降雨が集中したArea3の水内川流域からは24時間後にピーク流量910(m³/s)が本川に流入したと推定された. 一方で図9に示すように, 水内川合流地点の本川でも24

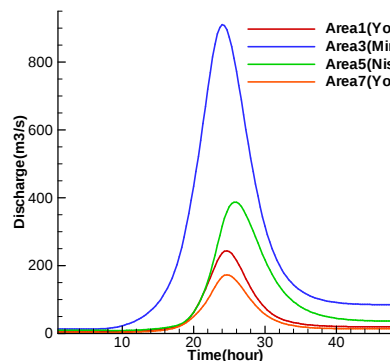


図8 支川からの流入量の推定結果

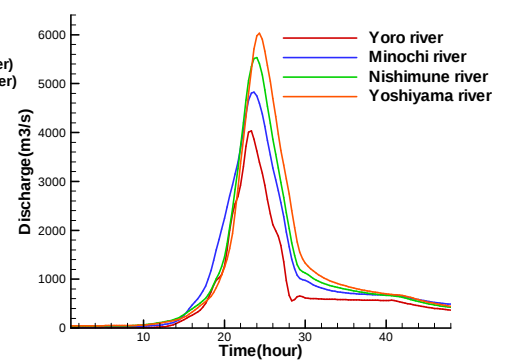


図9 支川が合流する地点の本川の流量ハイドログラフ

時間後にピークに達していることが確認できる. 他の支川についても同様の傾向が見られることから, 太田川の洪水は, 支川からのピーク流入量と本川のピーク流量が一致しやすい特性があるといえる. また, この流出特性が太田川中下流域での洪水被害を大きくする原因であるといえる.

(2) 実時間流出予測結果

平成17年9月の洪水を対象として実時間流出予測を行った. 予測計算の対象期間を平成17年9月6日1:00~8日0:00までとし, 9月6日4:00~9月8日0:00の期間に6時間先までの予測雨量を与え, 矢口第1観測所における水位を予測する. 計算開始時刻9月6日1:00から予測開始時刻までは観測水位と予測水位の差を補正するように, 1時間ごとにパラメータと水位を更新し, 予測開始時刻における最適パラメータの値を用いて1~6時間先の水位を予測する. 水位が上昇し始め, ピークを迎える間の9月6日18:00~24:00における水位予測の時系列変化を図10~図12に示す.

図10~図12の結果より, リードタイムの長さによらず, 一定の精度で良好な予測が行われていることが確認できる. 図10の18時における予測結果をみると, 降雨量の増加に伴って, 流出が始まり, 実測水位よりも先

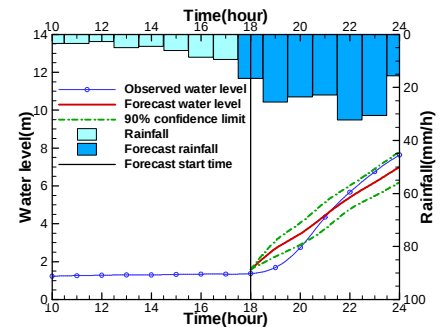


図10 9月6日18:00における予測

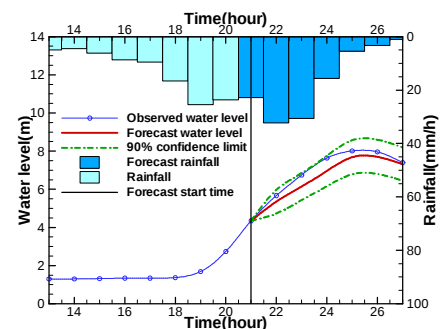


図11 9月6日21:00における予測

に予測水位ハイドログラフが立ち上がっている。これは(1)の流出解析結果にも同様の傾向がみられている。図 11 より、21 時からピーク水位に達するまでは、実測水位よりも低く予測されるようになり、ピーク水位時には若干その誤差が小さくなる。

以上の結果より、基準点における水位を大方予測できることが明らかになった。しかし、流出解析の結果と同様に流出初期における再現性は低く、流出モデルに改善の余地があるといえる。

予測計算の洪水の再現性を評価する方法として、予測水位 $H_{ci}(m)$ と実測水位 $H_{oi}(m)$ の平均 2 乗誤差の平方根(RMSE)を用いた、表 1 に予測雨量として実測雨量を用いた手法による 1 時間先~3 時間先の水位予測の精度を示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (H_{ci} - H_{oi})^2 \right)}$$

(7)

表 1 水位予測精度

	1時間先予測(m)	2時間先予測(m)	3時間先予測(m)
実測ピーク水位	8.010	8.010	8.010
予測ピーク水位	7.703	7.696	7.690
RMSE	0.320	0.353	0.374

実測雨量を予測雨量として入力した予測リードタイムごとの結果をみると、予測リードタイムの長さによっては流出予測の精度はさほど変わらないことが確認できる。これより、1~3 時間先程度の正確な予測雨量があれば、流出モデルは適切な流出予測を行うことが可能であるといえる。現在、気象庁はレーダーとアメダスのデータを用いて 6 時間先まで雨量を予測している。この予測雨量を用いて本モデルにより流出予測を行い、予測雨量の誤差を含めて流出モデルの精度を検討するべきである。

5. 結論

- 1) 2 段タンク型貯留関数モデルを用いた太田川の流出解析により、本モデルが基準点における流量ハイドログラフをほぼ再現することを明らかにした。再現精度を向上させるためには主要な支川の流量観測を行い、各小流域の流出特性をモデルに反映させることが重要である。
- 2) 本流出モデルを実時間流出予測に適用した結果、適切な予測雨量データを使用するとリアルタイムで良好な流出予測が可能であることを示した。

参考文献

1) (財) 北海道河川防災センター・研究所：実時間洪水予測システム理論 解説書，pp.3-21，2004.

2) (財) 北海道河川防災センター・研究所：実践流出解析ゼミ，2006.

3) 園山裕士他：成分分離に基づく貯留関数法の適用，北海道開発局技術研究発表会発表論文，pp. 1-4，2001.

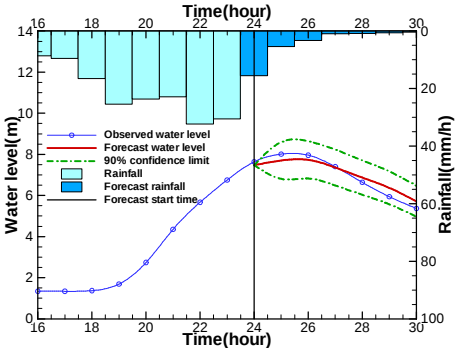


図 12 9 月 6 日 24:00 における予測