

北海道開発局における洪水予測システムの比較検討

(株) リブテック

○正 員 片山直樹

(財) 北海道河川防災研究センター

フェロー 星 清

1. はじめに

現在、北海道開発局の地方部局では、洪水予測システムの更新を行っている。すなわち、洪水予測手法として、カルマン・フィルター理論を用いた一般化貯留関数法¹⁾、新規モデルである損失項を含む貯留関数法（1段タンク型貯留関数法）²⁾、地下水流出成分を含む貯留関数法（2段タンク型貯留関数法）³⁾さらに、改良した一般化貯留関数法⁵⁾の比較検討が行われ、この中で最も対象流域に適合するモデルを選定し、随時導入を図っているところである。

9つの開発建設部が直轄管理している河川に対して洪水予測システムを個別に実運用している。そこで、本報告では旭川開発建設部管轄の石狩川上流・天塩川上流域を例に洪水予測モデルの選定手順とその結果を紹介する。

2. 対象流域の概略

石狩川上流域（3378.6km²）は、北海道第2の都市旭川市があり、他の流域に比べ市街化が進んでいる。

天塩川上流域（4029.1km²）は、石狩川上流域に比べ都市部が少なく、自然河川に近い状態が維持されている。

3. 予測モデルの特徴

上述した3つの予測モデルの概要を表-1に示す。

表-1 予測モデルの概要

	一般化 貯留関数モデル	1段タンク型 貯留関数モデル	2段タンク型 貯留関数モデル
パラメータ数	2個	3個	3個
特徴	有効雨量を入力する手法	損失機構を含む手法	地下に浸透する流出成分を含めた手法
備考	内部機構が簡便であり、定数の再設定が容易である	流出が速く、浸透が少ない流域に適している	地下水流出が大きい流域に適している

4. 解析対象洪水の特性

本報告で用いたデータとして、水位観測所地点およびダム流域を含む合計40地点、平成2年から平成16年に生じた190洪水例を解析対象とした。石狩川・天塩川ともに、ピーク比流量の平均値は約0.6m³/s/km²、総雨量の平均値は約100mmとなっている（図-1、図-2および表-2参照）。

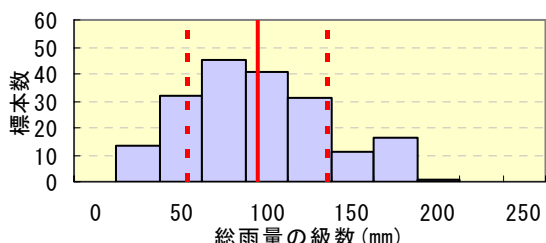


図-1 総雨量ヒストグラム

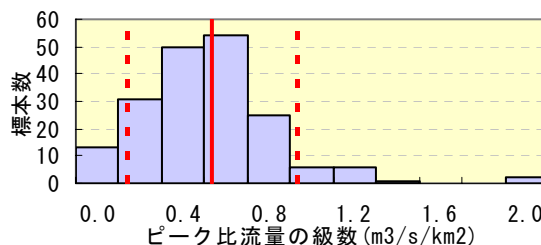


図-2 ピーク比流量ヒストグラム

表-2 解析洪水特性の統計量

	平均 (μ)	標準偏差 (σ)	$\mu \pm \sigma$ 標本数	集中度 (%)
総雨量	107.099	40.538	124	65.26
比流量	0.637	0.398	149	78.42

5. 予測モデル選定フロー

- 1) 既往洪水におけるモデル定数の最適化を行い、予測地点毎に代表モデルパラメータを設定する。
- 2) カルマン・フィルター理論を用いて、洪水予測シミュレーションを行う。
- 3) 精度指標として、RMSE（平均二乗誤差平方根）を用いて、予測精度の比較検討を行う。
- 4) RMSEの値やハイドログラフの適合度を視覚的に比較して、最適予測モデルを選定する。

6. 予測雨量の分散

気象協会から配信された予測雨量に対応する1～3時間先の実測雨量データを統計処理した結果、次式に示す予測降雨の平均2乗誤差(S_{k+l}^2)算定式を用いた⁴⁾。

$$\text{Var}(\hat{r}_{k+l}) = S_{k+l}^2 = a_s^2 l (\hat{r}_{k+l})^{2b_s} \quad (1)$$

ここに、 $\text{Var}(\cdot)$ ：分散、 $\hat{r}_{k+l}$ ：予測値、 a_s 、 b_s ：予測定数 $a_s = 1.156$ 、 $b_s = 0.54$ ⁴⁾、 l ：リードタイム(h)

7. 予測シミュレーション

解析例として、天塩川菅平地点（4029.1km²）における平成12年9月洪水を採用した。各予測モデルの3時間先予測結果を表-3と図-3に示す。ここで、入力雨量は洪水生起時に配信された気象協会予測雨量を基本とする。

表-3 シミュレーション結果

	一般化 貯留関数モデル	1段タンク型 貯留関数モデル	2段タンク型 貯留関数モデル
実測ピーク		14.24m	
計算ピーク	13.54m	14.13m	14.33m
RMSE	0.30m	0.20m	0.32m

キーワード：貯留関数法、カルマン・フィルター、洪水予測

連絡先：〒065-0018 札幌市東区北18条東1丁目3-3 TEL 011-722-0483 FAX 011-722-0487

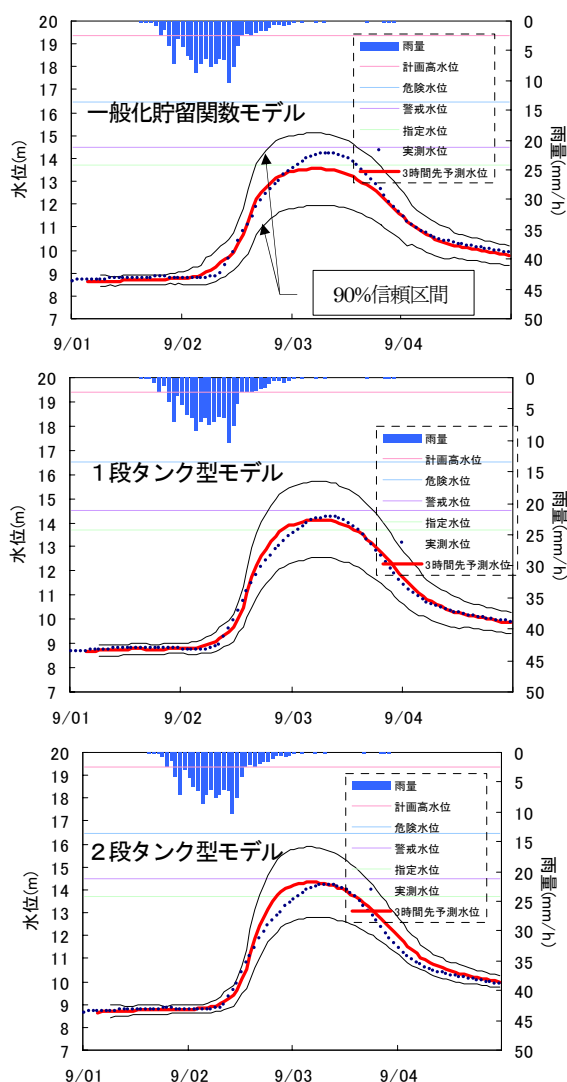


図-3 菅平地点平成12年9月洪水再現結果

8. 予測精度の比較検討

気象協会配信による予測雨量を用いた洪水予測シミュレーション結果をもとに、一般化貯留関数モデル・1段タンク型貯留関数モデル・2段タンク型貯留関数モデルでの予測精度の比較検討を行う。

本報告での精度検証には、誤差評価関数として RMSE（平均二乗誤差の平方根）を用いることとする。この関数の特徴は、カイ二乗の評価関数などに比べて、ピーク近傍での適合度が良好であることが知られている。

本報告では3時間先予測値に対する精度指標を比較検討の基準とする。このとき、1時間～2時間先予測値では、どのモデルも誤差が微小なことから優劣をつけるのは困難であり、また、4時間～数時間先予測値では、計算結果が予測雨量の精度に大きく依存することが分かった。

各予測地点の3時間先予測値における予測モデルの適合性を検証する。図-4は解析洪水例（190洪水）のRMSEヒストグラムである。いずれのモデルにおいても平均誤差が20cm以下と良好な結果である。

また、図-5は、RMSEを基準として解析洪水ごとに適合性が最も高いモデルを抽出し、整理したものである。

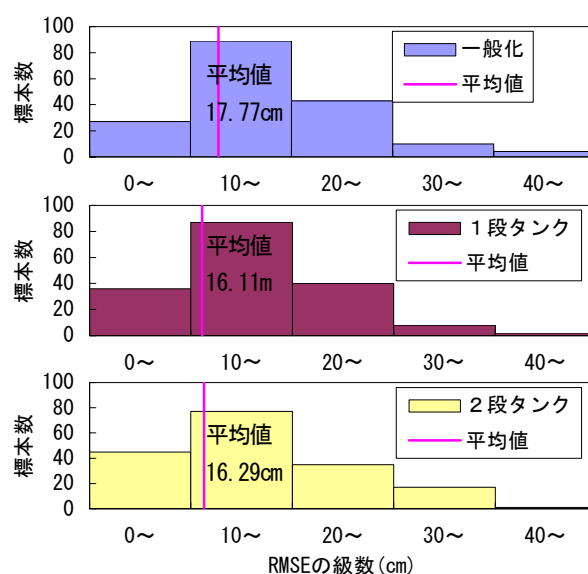


図-4 3時間先予測誤差 RMSE のヒストグラム

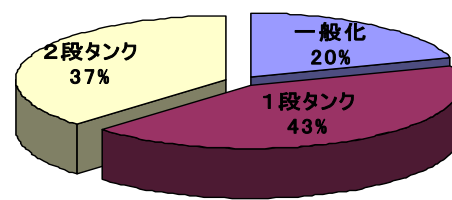


図-5 予測精度が良好なモデルの割合

解析対象流域では、43%の洪水例で1段タンク型貯留関数モデルが最も適合性が高い結果となった。しかしながら、水位予測誤差やハイドログラフの形状には顕著な差異はみられない。このため、3つの予測モデルの中から1つのモデルを選定するには非常に困難である。したがって、旭川開発建設部では、1段タンク型貯留関数モデルをメインモデルとして選定し、バックアップシステムとして、一般化貯留関数モデル・2段タンク型貯留関数モデルを採用することにした。

9. まとめ

石狩川上流・天塩川上流域の洪水例を用いて、洪水予測モデル選定過程を紹介した。なお、これまでの解析結果、北海道内の他の河川流域では、十勝川・鶴川・沙流川流域では2段タンク型モデル、石狩川下流・留萌川流域では1段タンク型モデルが適合性の高い洪水流出モデルに選定されている。

参考文献

- 1) 北海道開発局:北海道開発局の洪水予測システム, 432p., 1995.
- 2) 片山直樹・星 清・橋本識秀: 予測雨量の誤差を考慮した実用的洪水予測モデルの開発, 土木学会北海道支部論文報告集, 第60号, pp. 292-295, 2004.
- 3) 片山直樹・星 清・橋本識秀: 2003年台風10号による沙流川二風谷ダム流入量予測, 土木学会年次学術講演会講演概要集, II-041, pp. 81-82, 2004.
- 4) 東海林 勉・星 清・橋本識秀: 洪水予測における予測降雨の推定誤差指標の総合化, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2-018, pp. 35-36, 2005.
- 5) 片山直樹・星 清・橋本識秀: 北海道開発局洪水予測システムの改良, 土木学会年次学術講演会講演概要集, 2-055, pp. 109-110, 2005.