

II-10

知識ベースを用いた実時間洪水流量予測

室蘭工業大学 ○学生員 逢坂 真由子
 室蘭工業大学 正会員 藤間 聡

1. はじめに

洪水災害の発生時には、正確かつ迅速な被害予測の情報が必要となる。特に大河川に比べ、中小河川では治水対策が不備であることが多く、地質の状態によっては短時間で急激な流出が生じる場合もある。緊急時には適切な洪水流量予測を行わなければならないが、しかし現状では予測精度や操作性などに関して不十分な場合が多く、簡単でより良い予測システムの開発が望まれている。

本研究はユーザが洪水予測に関する専門的知識を持たずとも、簡単に早く精度の良い実時間洪水流量予測を行うことのできる知識ベースを用いた予測支援システムの構築を目指し、観測洪水事例を用いて現段階でのシステムの説明と検証および予測精度の検討を行うものである。

2. 知識ベース

知識ベースは、図-1に示すように知識ベース・システムの基本的な構成要素のひとつである¹⁾。知識ベース内には、対象とする問題領域における事実関係、概念間の相互関係、推論関係などに関する知識が、組替え可能な小さな知識単位の集合として蓄積・管理されている。推論機構は、実際の問題に応じて知識ベースから有効な知識単位を選択し、その組み合わせを変えて適用することにより多様な状況における問題解決を行う部分である。作業記憶は、対象とする領域の状況や推論の結果など、具体的なデータの記録・管理を行うものである。



図-1 知識ベース・システムの基本構造

以上の3つが知識ベース・システムの基本的な構成要素であるが、水文分野では広範多岐な推論機構を設けることは難しく、そのため本研究では図-1の外枠で示されるように、知識ベースに推論機構を合わせたものを知識ベースと呼ぶことにする。

本研究では、この知識ベースを洪水流量予測に適用し、ユーザ自身は対象流域に関する特性や洪水流量の予測法を知らない場合でも、流域の状況を逐次入力するだけで最も良い結論を早く導き出すことのできる洪水流量予測支援システムを構築する。

3. 解析対象河川

本研究では、図-2に示される道内で有数の豪雨地帯である登別地方の胆振幌別川について解析を行う。この河川は流路長18km、流域面積105km²、山地の割合が流域面積の約90%の典型的な山地中小河川である。

また流域の地質特性は、下層に凝灰岩、その上に透水性の大きな粗粒砂および火山灰の層が薄く堆積している。このため、弱い降雨の場合雨水はほとんど浸透するが、強い降雨の場合には短時間で薄い表層が飽和し、その後急激な表面流出を生じる場合がある。

このような理由から、胆振幌別川流域では洪水時におけるハイドログラフは急であり、ピーク流量も大きく遅滞時間は短い特性



図-2 解析対象河川位置図

Real-Time Flood Runoff Forecasting by Knowledge-Base
 by Mayuko AISAKA, Satoshi TOHMA.

を有する。従って、緊急時には洪水流量予測支援システムが必要であると考えられる。

解析に用いるデータは、流域のほぼ中央に位置する鉾山町降雨観測所における降雨データと、河口から約4km上流部に位置する幌別ダムにおける流量データを用いる。なお、流量データの欠測部分に関しては、3次のスプライン曲線により補間した値を用いる。

4. 洪水流量予測モデル

本研究での流出解析および流量予測モデルとして貯留関数法を用いる。貯留関数法は、以下の式で表される。

$$S = K q^p \quad (1)$$

ここで、 S と q は貯留高(mm)と流出高(mm/h)、 K と p は貯留関数の定数である。また、連続の式は次式で表される。

$$\frac{dS}{dt} = f r - q \quad (2)$$

ここで、 f は一次流出率、 r は降雨強度(mm/h)である。データは1時間ごとに入力されるため $dt = 1$ とし、(2)式を差分化すると次式が得られる。

$$S_{t+1} = S_t + f r_t - q_t \quad (3)$$

(3)によって、時刻 $t+1$ の貯留高 S_{t+1} を時刻 t の貯留高 S_t 、降雨量 r_t と流量 q_t を用いて求めることができる。本研究では、(3)式に含まれる非線形の線形化に伴う誤差、および現時刻 t における観測値に含まれる誤差を減少させてから、時刻 $t+1$ での流量を予測するためにカルマン・フィルタ理論を適用する。

(3)式から、時刻 t における時刻 $t+1$ の予測流量は次式で与えられる。

$$\hat{S}_{t+1}(-) = \hat{S}_t(+) + f r_t - q_t \quad (4)$$

以下、(-)と(+)は、それぞれ最新の観測データの入力の直前と直後の値であることを表す。また、 $\hat{\cdot}$ は予測値または改善された値(最確値)を表す。時刻 $t+1$ において新しい観測値が得られた時、予測流量 $\hat{S}_{t+1}(-)$ と観測流量 S_{t+1} との間の重み付き和によって、次式のように最確流量 $\hat{S}_{t+1}(+)$ が決定される。

$$\hat{S}_{t+1}(+) = \hat{S}_{t+1}(-) + K_{t+1} (S_{t+1} - \hat{S}_{t+1}(-)) \quad (5)$$

ここで、 K_{t+1} はカルマン・ゲインと呼ばれる重みである。この改善された最確流量から再び(4)式により1時間先の予測流量を求めていく。

5. 予測システムの概要

実際にユーザが行う予測の流れを図-3に示す。また、この流れを以下に説明する。

①降雨の降りをはじめから現時刻までの観測降雨量および観測流量を入力。

②降雨の降り始めから何日前に何mm降ったかを入力。

以上の入力により予測のためのパラメータが自動的に決定される。決定の過程については次節で詳説する。

③1時間先流量予測の開始(観測降雨量・観測流量を入力する。画面上には現時刻までのハイトグラフおよび観測ハイドログラフ、1時間先の予測ハイドログラフ、誤差流量が表示される。)

④予測の精度の検証(不満足であればパラメータを変更する。)

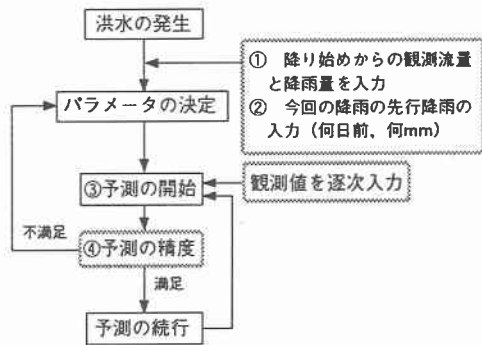


図-3 予測の流れ

6. パラメータの決定過程

予測パラメータは、遅滞時間 TL 、一次流出率 f 、貯留関数の係数 K と p の4つとする。胆振幌別川流域の既往洪水事象について、予測値と観測値との絶対誤差が最小となる時のパラメータを同定し、 TL および f の値、流域の湿潤状態から代表的なパラメータ同定値として表一に示すように分類した。 K の値は12.0～17.0、 p の値は0.55～0.70の範囲にある。また事前の解析結果から K 、 p の値が小さな場合は、1時間前との予測流量変化率が大きくなり、大きな場合は予測流量変化率が小さめに押さえられることが把握されているので、上記の範囲内において表一中の K 、 p の値を変えて予測することが可能である。この部分が知識ベース内の知識の単位に当たる。

表一 対象流域の予測パラメータ

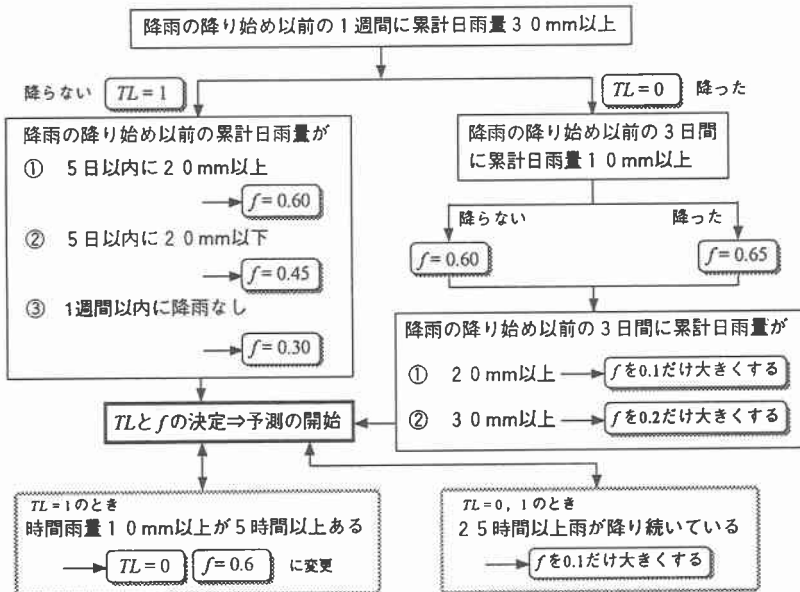
番号	流域の湿潤状態	遅滞時間 TL	一次流出率 f	貯留関数の係数	
				K	p
1	非常に湿潤	0	0.95	13.0	0.55
2			0.85		
3			0.75		
4	0.65				
5	やや湿潤	1	0.60	15.0	0.65
6	乾燥		0.45		
7	非常に乾燥		0.30		

次に、表一のパラメータ同定値の中からユーザの初期入力をもとに、最適な予測パラメータをいかに決定するかの具体的な条件および流れを図一に示す。この部分は推論機構に当たる。流域の地質特性により、強い降雨が続く場合は急激な表面流出を生じる。この時パラメータは大きく変化するため、図一に示すように時間雨量10mm以上が5時間以上ある場合は、 $TL=0$ 、 $f=0.60$ にパラメータを変更する。また、弱い降雨が長時間続く場合は流出域が徐々に大きくなるため、25時間以上雨が降り続く場合は、 f の値を0.1だけ大きくする。実例を用いたパラメータ決定過程については後述する。以上の過程から TL と f が決まり、再び表一により K 、 p の値が自動的に選択され予測を開始する。

现阶段の本システムでは、予測流量の誤差や変化率などからこれらのパラメータを自動的に変化させることはできない。パラメータを変化させる判断基準については検討中である。

7. 予測の実行・検証

2つの事例を挙げて説明する。初めの事例は、降り始めの6日前に1mm、7日前に22mmの日雨量のあった1984年9月10日の洪水事象を挙げる。①降り始め以前の1週間の累計日雨量は23mmなので、 $TL=1$



図一 パラメータ決定の流れ

が決定。②5日以内に20mm以下であるので、 $f=0.45$ が決定。以上より表-1の6番のパラメータが自動的に選択され、予測が開始される。③降り始めからの時間雨量10mm以上が5時間以上あるので、 $TL=0$ 、 $f=0.60$ に変更して予測を行う。

この事例の1時間先予測結果を図-5に示す。この洪水事象は観測された中で最もピーク流量の大きいものである。流量上昇部分において予測値は観測値より低い値になっているが、第2ピーク部分および減速部分においてはほぼ一致している。洪水ピーク時(7~30時間)の相対誤差は13.2%となっている。

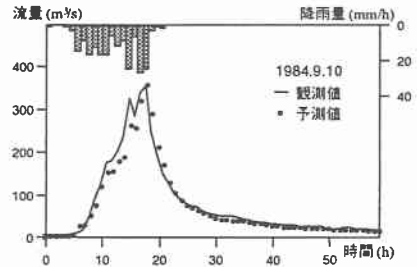


図-5 予測事例(1)

次に降り始めの2日前に28mm、5日前に12mmの日雨量のあった1989年9月20日の洪水事象を挙げる。①降り始め以前の1週間の累計日雨量は40mmなので、 $TL=0$ が決定。②3日以内に10mm以上であるので、 $f=0.65$ が決定。③さらに、3日以内に20mm以上であるので、 f を0.1だけ大きくし、 $TL=0$ 、 $f=0.75$ に決定。以上より表-1の3番のパラメータが自動的に選択され、予測が開始される。

この事例の1時間先予測結果を図-6に示す。ピーク部分では予測値は観測値に比べ大きな値となっているが、ピークが2回出現している場合においても流出形状をよく捉えているのがわかる。洪水ピーク時(5~30時間)の相対誤差は16.0%となっている。

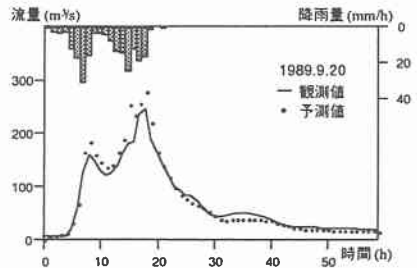


図-6 予測事例(2)

どちらの事例の予測においても、計算時間は1~3秒である。

問題点とこれからの課題をまとめると、

1) パラメータの決定過程において、累計降雨や降雨の継続時間のみの分類では全ての事象を表現することができない。2~3mm程度の降雨量の違いによって項目が分けられ、一次流出率が極端に変わる問題がある。

2) 初期パラメータで対応できない場合、予測流量と観測流量との誤差や変化率などから、パラメータを自動的に変化させることができない。

これらの点については、他の事象についてもさらに詳しく解析し、知識ベース内の知識の単位を細かくすること、および推論機構のレベル向上により対応していきたいと考えている。

8. 結び

知識ベースを用いて、ユーザが流域の状況を入力するだけで自動的にパラメータが決定され、1時間先実時間洪水予測を行うシステムを構築することができた。計算時間は数秒なので、遅滞時間の短い中小河川において、洪水災害時の避難誘導のための時間を作ることができると思われる。

ここで示されたシステムでは、全ての洪水事象に対応できないので、知識ベース内の知識の充実と、推論機構内の条件部分のさらなる検討が必要であり、今後の課題としてきたい。

謝辞

本研究について、貴重な水文観測資料を提供して頂いた北海道企業局室蘭地区工業用水道管理事務所幌別ダムの関係者の皆様に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 上野晴樹, 小山照夫: 知識工学講座⑤エキスパートシステム, オーム社, pp21-39, 1988.
- 2) 星清: 洪水予測システムの基本的検討(2), 土木試験所月報 No.386, pp48-54, 1985.