

II-130

ファジィ推論を用いた融雪流出予測(第2報)

苫小牧工業高等専門学校 正員 八田茂実
 北海道大学 工学部 正員 藤田睦博
 北海道電力 正員 西村哲治

1. はじめに

春先の融雪出水は量的にも流出時間特性からも、都市・発電・農業用水等の重要な水資源であり、同時に洪水や雪崩を引き起こす災害要因でもある。このため、北海道のような多雪地帯においては、雪の水資源としての利用を図る一方で、融雪被害を最小限にとどめる必要があり、融雪流出予測システムの開発は河川の維持管理上重要な課題となっている。

前報¹⁾では、ファジィ推論手法を数時間先の短期融雪流出量の予測に適用し、一般に入手が容易な気温と流出量のみによる短期融雪流出予測手法を提案した。この手法では、従来の融雪流出手法で最も収集の困難であった流域の積雪域資料を必要としないため、過去の出水に対して十分な観測資料が整備されていない場合でも、提案した流出予測システムの利用が可能であることを示唆している。本稿では、前報で提案された融雪流出予測手法を、特別な観測のされていない流域へ適用し、その汎用性を検討した。

2. ファジィ推論による融雪流出予測手法

ファジィ推論による流出予測については、これまでに発表されている論文(例えば文献2,3など)に譲ることとし、ここでは要点のみを示す。

時刻 t における流域への流入量を $I(t)$ 、流出量を $O(t)$ とすると、流出系の一般的なシステム方程式は次式のように考えられる。

$$O(t) = f\{I(t-1), \dots, I(t-n), O(t-1), \dots, O(t-m)\} \quad (1)$$

融雪流出では、流入量(融雪量)は他の気象要素から推定されるため、式(1)の流入量を融雪に関わる気象要素で置き換え、 $O(t)$ に流出量 $Q(t)$ ・流出変化量 $\Delta Q(t) = Q(t) - Q(t-1)$ を、 $I(t)$ には一般的に観測されている気温 $T(t)$ を考え、融雪流出のシステム方程式を次式とする。

$$\Delta Q(t) = f\{Q(t-1), T(t-1)\} \quad (2)$$

$\Delta Q(t), Q(t), T(t)$ のメンバーシップ関数をそれぞれ

$M_{\Delta Q(t)}, M_{Q(t)}, M_{T(t)}$ によって表せば、以下のような条件つき命題に書き直すことができる。

$$\text{If } M_{Q(t-1)} \text{ and is } M_{T(t-1)} \text{ then } M_{\Delta Q(t)} \quad (3)$$

式(3)の条件つき命題は時刻毎に変動し、これを $P(t)$ と書くと、時刻 t までには、 $P(1), P(2), \dots, P(t)$ の条件つき命題が得られるので、時刻 t における全体のファジィ関係 $\Pi(t)$ は次式のように表すことができる。

$$\Pi(t) = P(1) \cup P(2) \cup \dots \cup P(t) = \Pi(t-1) \cup P(t) \quad (4)$$

このようにして合成されたファジィ関係は、時刻 t までの出水経験に対応している。また、過去の資料や、流出モデルにより模擬発生させたデータを式(4)に適用し、出水終了時におけるファジィ関係 $\Pi(te)$ を予測計算の初期値として次のように利用することも可能である。

$$\Pi(t) = \Pi(te) \cup P(1) \cup P(2) \cup \dots \cup P(t) \quad (5)$$

式(5)において、右辺第一項は過去の出水の知識の集積、第二項以下は現在の出水の時刻 t までの知識の集積を示す。

従って、1ステップ先の予測値 $\Delta Q(t+1)$ のメンバーシップ関数 $M_{\Delta Q(t+1)}$ は、次式によって計算することができる。

$$M_{\Delta Q(t+1)} = M_{Q(t)} \diamond M_{T(t)} \diamond \Pi(t) \quad (6)$$

ここに、記号 $\diamond$ はファジィ合成演算を意味する。更に、2ステップ、3ステップ先の流出量は、予測されたメンバーシップ関数を式(6)に順次代入することにより計算される。

積雪面積率の減少による流出特性の変化は、 n ステップ前のファジィ関係 $P(t-n)$ を全体のファジィ関係、 $\Pi(t)$ から削除することにより考慮される。時刻 t における全体のファジィ関係 $\Pi(t)$ から時刻 i のファジィ関係 $P(i)$ の削除は次式による。

$$\Pi(t) \text{ and } \sim P(i) \rightarrow \Pi(t) \quad (7)$$

ここで、記号 $\sim$ はNOT演算を示す。

3. 実流域への適用

対象とした流域は、豊平川流域に内包される簾

舞川流域(流域面積9.7km²)、百松沢川流域(流域面積14.6 km²)である。両流域とも92年、93年の融雪期に流出量の観測が行われているが、積雪調査資料はなく、従来の融雪モデルと流出モデルを組み合わせた予測手法の適用は困難である。ファジィ推論のシステム方程式は、92年のデータを用いて、予測精度と計算所要時間を判断基準として、試行錯誤的に選定した結果、観音沢川上流域と同様の式(2)が最適であった。両流域で採用したメンバーシップ関数を図-1に示す。予測計算は、92年の観測資料を学習データとして与え、この学習結果を利用して93年の融雪流出量の予測を行った。また、融雪流出予測に用いる予測気温は、翌日の天気予報の日最高・最低気温から計算される¹⁾。図-2, 3にそれぞれの流域の3時間先、6時間先の融雪流出量の予測結果を示す。比較的強い降雨のあった期間を除いて、予測した流出量は実測値とよく一致しており、十分な観測資料が得られていない流域でも、ファジィ推論により短期の融雪流出量を精度よく推定できることが示された。

4. おわりに

本研究のファジィ推論による予測手法では、予測の対象としている出水の流出量を入手できない条件での適用は困難であるが、流出量を逐次入手できる場合には6時間先程度までの予測が可能である。実用上は予測時点での観測情報を必要としない予測手法が望まれるが、従来の融雪流出量の予測手法に比して、必要とする観測情報が少ないため、本研究による方法での融雪流出予測システムの構築は比較的容易である。

本研究による方法では、予測された流出量増分のメンバーシップ値を再度入力値として数ステップ先の予測値を求めるため、リードタイムの長い予測では、予測値の曖昧さが累積されることとなる。現在行っている手法では、一方的に予測を進めるだけで、予測誤差が次のステップの予測に反映されていない。予測精度の向上のためには、予測誤差の大小により条件付き命題を修正するようなアルゴリズムの開発が必要と考えられる。

尚、本研究の一部は北海道河川防災センター研究助成(代表者:嵯峨浩)の援助を受けました。こ

こに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 八田・藤田・西村(1994): ファジィ推論を用いた融雪流出予測, 土木学会北海道支部論文報告集, **50**, pp. 346-349.
- 2) 朱・藤田・橋本・工藤(1994): ファジィ推論手法によるリードタイムの長い流出予測, 水文・水資源学会誌, **7**(2), pp. 83-89.
- 3) Hatta, S, Fujita, M and Nishimura, T. (1993): Snowmelt runoff prediction using the fuzzy reasoning method, *Proceedings of Workshop on Hydraulics and Hydrology in Cold Regions*, pp. 159-168.

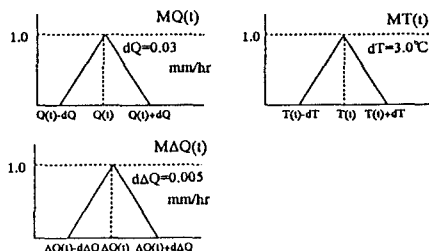


図-1 採用したメンバーシップ関数

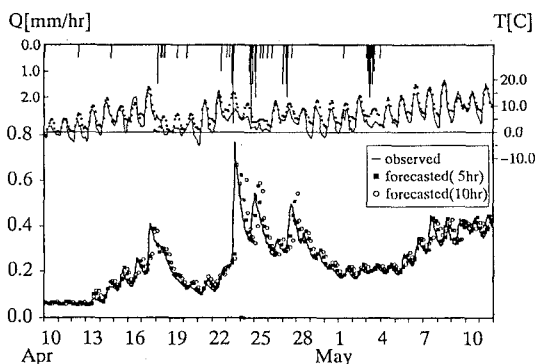


図-2 簾舞川流域における流出予測結果(1993年)

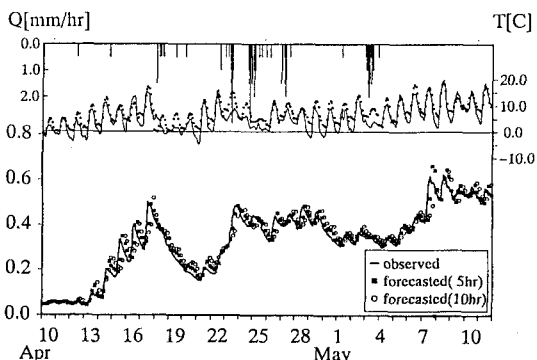


図-3 百松沢川流域における流出予測結果(1993年)