

ファジィ推論の短期融雪流出予測への適用

八 田 茂 実*・藤 田 睦 博**・嵯 峨 浩***

An application of fuzzy reasoning method to snowmelt runoff prediction

Shigemi HATTA, Mutsuhiro FUJITA, Hiroshi SAGA

要 旨

融雪流出予測においては、実用的な観点から、収集が容易な気温資料を指標として用いることが多い。しかし、熱収支的には気温の融雪に与える影響は小さく、融雪流出の予測指標としては曖昧なものと考えられる。本研究では、曖昧な情報を効果的に扱うことのできるファジィ推論を用い、気温資料のみによる実用的な融雪流出予測手法を提案した。天気予報から得られる予想最高・最低気温から一日先の気温を予測し、これを提案したファジィ推論手法と、degree-hour法に基づく融雪流出モデルの2つのモデルへの入力値として与え、両手法による融雪流出予測を行った結果、ファジィ推論を用いた方が効果的に流出量を予測できることを示した。次に、提案した手法を豊平川水系の2流域に適用し、本研究による融雪流出予測手法の妥当性を検討した。

Abstract

In general, to make a long lead time snowmelt runoff forecasting and to improve the prediction accuracy, it is necessary to observe a large number of meteorological factors such as air temperature, humidity, net radiation, insolation and wind velocity. However, it is difficult to observe all the hydrological and meteorological data in practice. Therefore, in a real forecast situation, simple empirical methods (e.g. degree hour factor method) have mainly been employed to forecast snowmelt runoff. In this paper, fuzzy reasoning method based on only air temperature are presented for the snowmelt runoff prediction. Considering the effects of the snow cover rate, past flood experiences are eliminated from the general fuzzy relation. A daily weather forecast by a meteorological agency is used to forecast the temperature 1-day ahead. The actual applicability of the model is compared 3-hr and 6-hr lead time forecast of runoff with observed hydrograph in experimental basins. Forecast results by the proposed model, using the weather forecast data, are higher degree of accuracy in comparison with the snowmelt runoff model based on degree-hour factor method.

1. はじめに

本研究で対象とした豊平川は、大都市札幌の中心部を流れる都市河川であり、河川敷には公園も多く、都市のオアシスとして市民にも親しまれている河川である。この水系の上流には北海道開発局が管理する豊平峡ダムと定山溪ダムがあり、そ

の下流には北海道電力の砥山ダムと藻岩ダムがある。このうち、藻岩ダムはこの水系の最下流に位置し、加えて札幌市の近郊に位置することから流水管理のうえで最も重要なダムと考えられる。ダムの効率的運用に当たって、リードタイムの長い出水予測及びその予測精度の向上は最重要課題のひとつである。北海道のような多雪地帯では、春先の融雪水による異常出水、夏秋期の台風・低気圧による異常出水が流出予測の対象となるが、特に春先の融雪出水は水資源としての利用価値も高く、一方では融雪洪水などの災害要因となること

* 助 手 土木工学科

** 教 授 北海道大学

*** 助教授 北海学園大学

から、実用的な融雪流出予測モデルの構築は急務である。

融雪流出予測手法の構築においては、出水の原因となる融雪量とそれに伴う流出量を精度良く推定できることが重要であり、これまでに多くの融雪流出解析手法が提案されてきた。これらの手法は、(1)degree-hour 法等に代表される、融雪に関する熱収支項の内、最も取り扱いの容易な観測資料を指標として融雪流出量を推定するものと、(2)熱収支法あるいは熱収支法に基づく融雪量算定モデルと流出モデルを組み合わせたもの（例えば、小池ら¹⁾）に大きく分類される。筆者ら²⁾は、(2)の方法に基づき、週間天気予報を利用した一週間先までの融雪流出予測を試みている。しかし、この予測手法では、過去の水文情報も含め、より多くの種類のリアルタイムな観測資料を必要とするため、水文資料の観測システムが十分に整備されていない流域への適用は困難であり、実用的な融雪流出予測手法の構築には、(1)の方法に基づくものが有利である。本研究では、藻岩ダムに流入する河川の流域を流出試験地とし、実用的な融雪流出予測手法の構築を目的として、気温資料のみを用いた融雪流出予測手法を検討する。

2. 解析対象流域および観測資料の概要

解析の対象とした流域は札幌市を流れる豊平川中流部に位置する観音沢川上流域で流域面積1.0km²、流域の高度分布が390–800mの南向き斜面の卓越する小流域である。流域内は主に植林された落葉樹の疎林地が大半を占めており、融雪期にはそのほとんどが積雪荷重によって押し倒されている。流域内の積雪調査は1992年、93年の融雪開始直前に行い、谷沿いと林道沿いに設定した調査コース上の比較的開けた地点で、スノーサンプラーを用いて積雪深・積雪水量・積雪密度を収集した。また、流域の大半が見渡せる地点を流域内に数箇所設け、融雪期間中ほぼ週に一度の頻度で、目視観測による積雪域分布の調査も行っている。流域の概要とスノーコースを図-1に示す。

一方、本研究における融雪観測は北海道電力(株)砥山ダム管理所地内にて行われた。観測項目は積雪深・融雪量および気象要素で、それぞれ10分間隔で収集されたデータを1時間単位の平均値あるいは積算値に変換して解析資料とした。

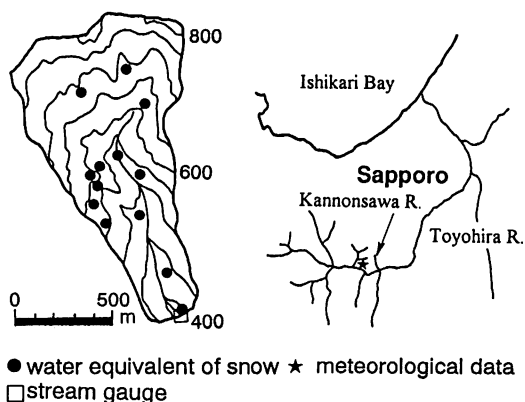


図-1 対象流域の概要

3. degree-hour 法に基づく融雪流出量の算定

3-1 融雪および流出モデルの概要

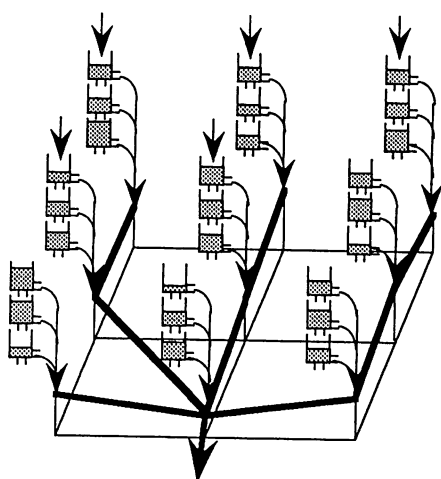
degree-hour 法に基づき、時刻 t における融雪量は次式のように表される。

$$M(t) = k \cdot T(t) + \frac{R(t) \cdot T(t)}{Lm} \quad (1)$$

ここで、 $M(t)$ 、 $T(t)$ 、 $R(t)$ はそれぞれ時刻 t における融雪量、気温、雨量、 k は気温時間融雪率、 Lm は氷の融解潜熱である。

式(1)において、 k の値を如何に定めるかが重要な問題となる。本研究では、砥山ダムのダムサイトで観測されている融雪量・気温・降水量のデータを用いて、式(1)により計算される融雪量の総和と総融雪量の観測値が等しくなるように k の値を同定した。この結果、 $k = 0.191 \text{ (mm/}^\circ\text{C} \cdot \text{hr)}$ が得られた。また、流域における融雪量は、20m間隔で流域の標高を読み取ったデジタルマップを作成し、各交点毎に、標高による気温の低下を考慮しながら、積雪の存在する地点について式(1)を適用して計算する。

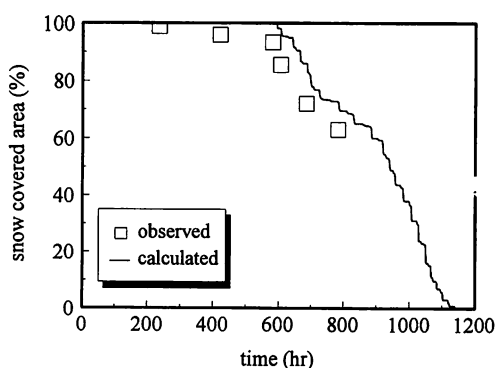
融雪流出量は、融雪量がメッシュ交点毎に計算されることを考慮して、流域デジタルマップの各交点を結ぶ流路網系を考える。これは、各交点の廻り8点のうち、最急勾配方向を選定し、この間を仮想流路で結んだものである。各交点で計算された融雪量は、直列3段のタンクを介して、流路への流入量に変換される。流域の流出量は、各格子点からの流出が流路に沿った距離のある伝播速度で流下し、途中の河道効果による出水波形の変化は考慮せず、河道末端で合成して得られるものとした(嵯峨ら³⁾)。流出モデルの概念を図-2に示す。



図－2 流出モデルの概念

3-2 融雪流出量の算定

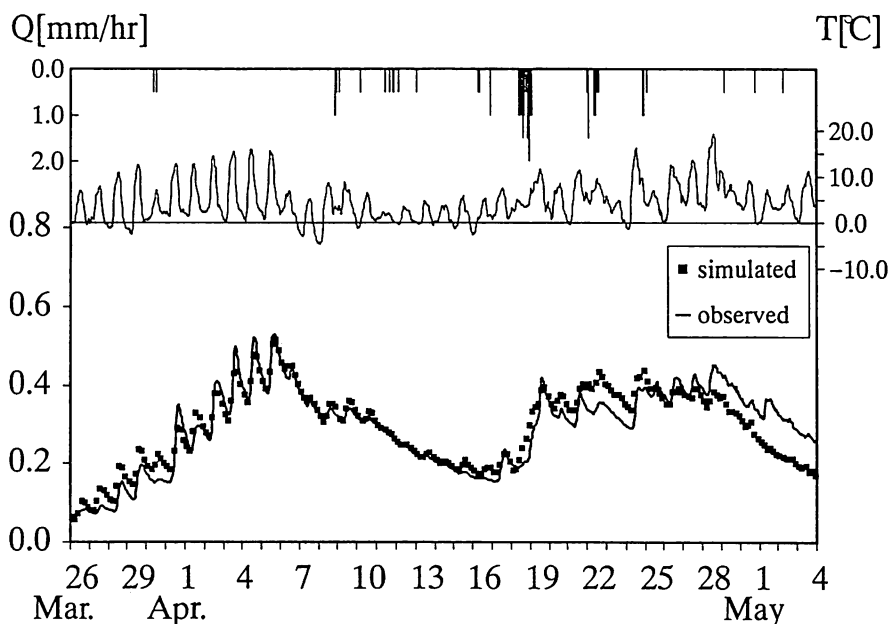
積雪域は融雪の進行によって減少していくため、流域内の融雪量の算定にあたっては、積雪域の変化を考慮する必要がある。本研究では、積雪調査で得られた標高と積雪水量の関係から、初期積雪水量分布を推定し、ある格子点の融雪量の総和が初期積雪水量に達するとき、その点を無雪域にするものとする。この方法を1992年の融雪期に適用し、融雪開始日からの経過時間と計算された積雪面積率との関係を示すと図－3のようになる。図



図－3 積雪面積率の時間的变化

中の□印は、観測した積雪面積率を示しており、計算された積雪面積率は実測値よりやや大きめになっているが、目視観測の精度を考えると、ほぼ妥当な結果といえる。

以上の積雪域の推定手法を加え、前の項で述べた融雪・流出モデルを観音沢川上流域に適用し、融雪流出量を算定した結果を図－4に示す。計算は1992年3月26日から5月3日までの比較的降雨の少ない期間について行い、流出モデルのパラメータは流域内で一定とし、試行錯誤的に求めた。3月26日から4月15日までの融雪期前半部では計算値と実測値はよく一致しているが、それ以降では次第に計算流出量は実測値よりも小さくなる傾向が見られた。



図－4 融雪流出モデルによる流出量の再現結果

4. 融雪流出量の予測

これまでは、気温の実測値を入力値として、言い替えれば、気温の予測が完全になされた場合の流出量について検討してきた。実際の流出予測においては、この気温の入力が問題となる。ここでは、毎日発表される天気予報の最高・最低気温の予報値から、一日の任意時刻における気温を予測し、これを融雪流出モデルの入力値として実流域での流出予測を試みる。

4-1 天気予報による気温の予測

毎日18時に発表されている天気予報では翌日の予想最高・最低気温も併せて発表されている。図-5は、解析対象期間中に観測された最高・最低気温の実測値と、前日に発表された予測気温との関係を示したものである。最高気温はやや低めに、最低気温はやや高めに予測されているものの、予測値と実測値はよく一致している。

一方、気象観測が十分になされておらず、一日の最高・最低気温のみが観測されている場合に、一日の気温の変動パターンを予め最高・最低気温で無次元化して、任意時刻における気温を推定する方法がある（例えば、丹羽・盛谷⁴⁾）。気温の無次元化は次式による。

$$T^*(t) = \frac{(T(t) - T_{LO})}{(T_{HI} - T_{LO})} \quad (2)$$

ここで、 $T^*(t)$ は、時刻 t における無次元化した気温、 T_{HI} 、 T_{LO} は、それぞれ日最高、日最低気温である。

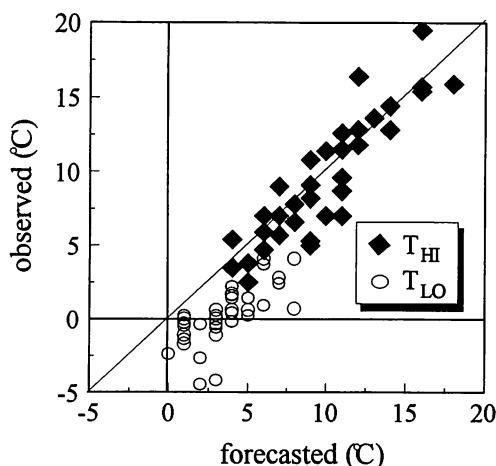


図-5 日最高・最低気温の予報値と実測値の比較 (札幌, 1992年)

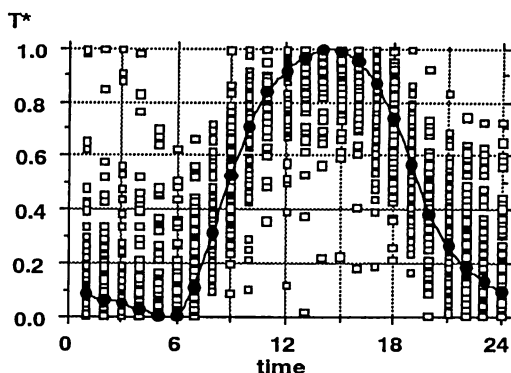


図-6 一日の気温変動の無次元化

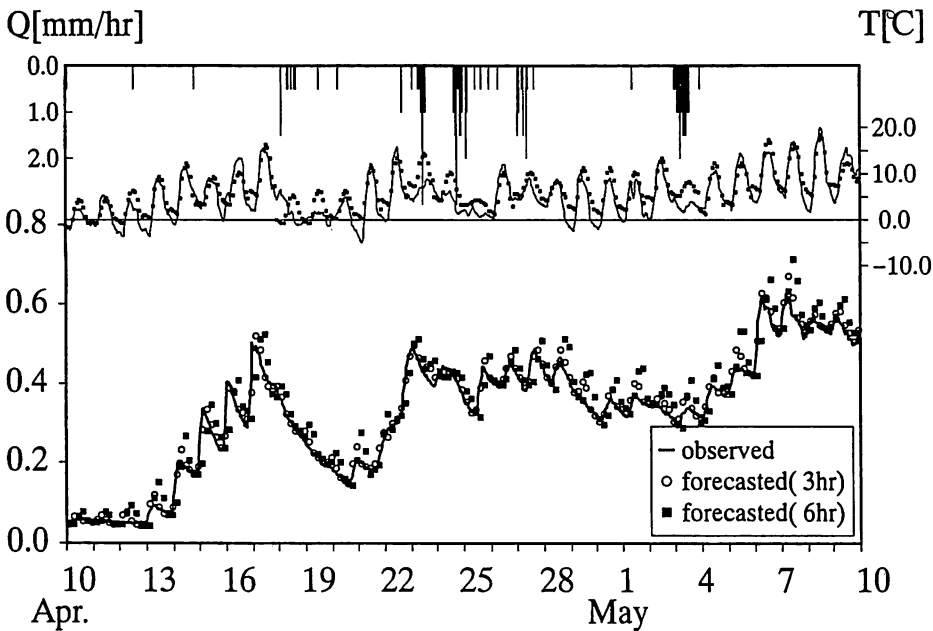
本研究では各時刻における気温を、式(2)により予め無次元化するものとし、1992年の融雪期の気温データを用いて、平均的な一日の気温変動を図-6の様に定めた。翌日の任意時刻 t における気温、 $T(t)$ は、天気予報から得られる予想最高・最低気温を入力として次式のように計算される。 $\overline{T(t)} = \overline{T_{LO}} + T^*(t) \cdot (\overline{T_{HI}} - \overline{T_{LO}})$ (3) ここで、記号 $\overline{}$ は予測値を意味している。

4-2 融雪流出量の予測結果

天気予報から得られる最高・最低気温を用いて、1日先の気温を予測し、これを融雪流出モデルの入力値として流出量の予測を行った。予測計算は1993年の融雪期を対象とし、融雪流出モデルのパラメータの同定は1992年の観測資料を用いた。また、予測計算では予測時点までに得られている気温・降雨・流量の観測データを用いて、逐次流出量の再現を行い、過去12時間の流出量を再現するように最下段のタンク貯留量を同定した。図-7に融雪流出モデル3、6時間先の流出量の予測結果を示す。図中の気温部の■印は入力値として与えた予測気温を示している。融雪流出モデルを用いた場合は、気温の予測誤差の影響を受けやすいため、リードタイムの増加に伴って、流出量の予測誤差が大きくなる傾向が見られる。

5. 融雪流出問題へのファジィ推論の適用

融雪流出過程は非常に複雑な現象であり、その物理的な機構は必ずしも明らかにされているわけではなく、更に実用的な流出予測問題では、予測気温のような予測誤差を含んだ情報の利用も考えられる。Zadeh⁵⁾によって提案されたファジィ集合の理論は、曖昧な情報を有効に扱うことができ、



図ー7 融雪流出モデルによる流出量の予測結果
(観音沢川流域, 1993年)

システムが複雑で数式による記述が困難である場合でも、入出力のファジィ関係から、これらのシステムを記述できるという特徴を持つ。このことを融雪流出過程に置き換えてみると、融雪流出モデルでは多くの観測資料とパラメータによって融雪流出過程を記述するのに対し、ファジィ理論では融雪流出に関わる気象要素などと流出量の関係からシステムをブラックボックス的に扱えることとなり、流出予測等の実用的なモデルの構築に有用である。

本研究では、ファジィ推論手法を融雪流出過程に適用し、気温資料のみによる融雪流出量の予測を試みる。予め与える学習データは、観測資料に制限のある場合を想定して、degree-hour法に基づく融雪流出モデル、または他年度の観測資料を用いるものとし、本手法による流出量の予測精度を検討する。

5-1 ファジィ推論による流出予測

ファジィ推論の流出予測問題への適用は、藤田⁶⁾、朱ら⁷⁾により詳細に述べられているので、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。

$$O(t) = f\{I(t-1), \dots, I(t-n), O(t-1), \dots, O(t-m)\} \quad (4)$$

$I(t)$ 、 $O(t)$ のメンバーシップ関数を $M_I(t)$ 、 $M_O(t)$ によって表せば、式(4)は以下のような条件つき命題に書き直すことができる。

$$\text{If } I(t-1) \text{ is } M_I(t-1) \text{ and } \dots \text{ and } I(t-n) \text{ is } M_I(t-n) \text{ and } O(t-1) \text{ is } M_O(t-1) \text{ and } \dots \text{ and } O(t-m) \text{ is } M_O(t-m) \text{ then } O(t) \text{ is } M_O(t) \quad (5)$$

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。

$$\Pi(t) = P(1) \cup P(2) \cup \dots \cup P(t) = \Pi(t-1) \cup P(t) \quad (6)$$

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。

$$\Pi(t) = \Pi(te) \cup P(1) \cup P(2) \cup \dots \cup P(t) \quad (7)$$

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

従って、1ステップ先の $O(t+1)$ のメンバーシップ関数を、次式によって計算することができる。

$$M_{O(t+1)} = M_{I(t)} \diamond \dots \diamond M_{I(t-n+1)} \diamond M_{O(t)} \diamond \dots \diamond M_{O(t-m+1)} \diamond \Pi(t) \quad (8)$$

ここに、記号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(8)に順次代入することにより計算される。即ち、2ステップ先の流出量 $O(t+2)$ のメンバーシップ関数は、次式によって計算される。

$$M_{O(t+2)} = M_{I(t+1)} \diamond \dots \diamond M_{I(t-n+2)} \diamond M_{O(t+1)} \diamond \dots \diamond M_{O(t-m+2)} \diamond \Pi(t) \quad (9)$$

式(9)では、式(8)で予測された $M_{O(t+1)}$ が右辺に含まれている。

5-2 融雪流出への適用

(1) システム方程式の選定

融雪流出では、流入量、すなわち融雪量は他の気象要素から推定されるため、式(4)の流入量を融雪に関わる気象要素で置き換えることとする。本研究では、式(4)の $O(t)$ 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 $(T(t))$ とその変化量 $(\Delta T(t) = T(t) - T(t-1))$ を考え、量的にもあまり多くない融雪期間中の降雨量を無視する (Hatta et al.⁸⁾)。

最適システム方程式を構成するため、これらの項目をいくつか組み合わせて流出系のシステム方程式を仮定し、これに基づいて12時間先まで各時刻の流出量をそれぞれ計算した。計算にあたっては、融雪期の気温上昇を考慮しながら、気温データを模擬的に発生させ、これと前述の融雪流出モデルにより計算した流出量の関係を、予め10数パターン学習させた。数ステップ先の流出量の計算には予測気温が必要となるが、ここでは最適システム方程式の選定を目的としているので、実測した気温を予測値として扱っている。また、採用したメンバーシップ関数を図-8に示す。表-1は仮定したシステム方程式を3月25日から4月8日までの融雪期前半部に適用し、1, 3, 6, 12時間先の推定値の相対誤差の平均値を示したものである。表中の式番号(1)~(5)は、予測の対象とする出水の流量データをリアルタイムに入手できない場合を想定したものであるが、この条件の下では十分な予測精度が得られないため、流出量が時々刻々と入手できる場合についてのみ考えるこ

ととした。観測流量との一致度、計算に要する時間を考慮して、本研究では、融雪流出予測に、表(6)の

$$\Delta Q(t) = f\{Q(t-1), T(t-1)\} \quad (10)$$

のシステム方程式を採用することとした。

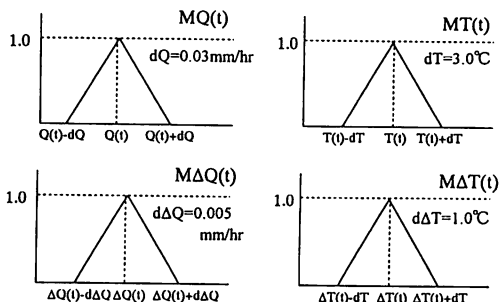


図-8 採用したメンバーシップ関数

表-1 システム方程式による予測値の相対誤差の平均値

		1-hr prediction	3-hr prediction	6-hr prediction	12-hr prediction
(1)	$Q(t)=f(T(t-1))$	0.3314	0.4754	0.4718	0.4616
(2)	$Q(t)=f(\Delta T(t-1))$	0.3419	0.4986	0.4931	0.4824
(3)	$Q(t)=f(T(t-1), T(t-2))$	0.3315	0.4653	0.4619	0.4524
(4)	$Q(t)=f(\Delta T(t-1), \Delta T(t-2))$	0.3553	0.4940	0.4886	0.4782
(5)	$Q(t)=f(T(t-1), \Delta T(t-1))$	0.3449	0.4596	0.4561	0.4464
(6)	$\Delta Q(t)=f(Q(t-1), T(t-1))$	0.0205	0.0446	0.0650	0.0920
(7)	$\Delta Q(t)=f(Q(t-1), \Delta T(t-1))$	0.0387	0.1274	0.2413	0.3671
(8)	$\Delta Q(t)=f(\Delta Q(t-1), T(t-1))$	0.0236	0.0727	0.1320	0.2067
(9)	$\Delta Q(t)=f(\Delta Q(t-1), \Delta T(t-1))$	0.0236	0.0719	0.1271	0.1685
(10)	$\Delta Q(t)=f(Q(t-1), T(t-1), \Delta T(t-1))$	0.0198	0.0402	0.0510	0.0874
(11)	$\Delta Q(t)=f(\Delta Q(t-1), T(t-1), \Delta T(t-1))$	0.0200	0.0413	0.0597	0.0900

(2) 積雪面積率の考慮

融雪末期の積雪面積率の効果を考慮するためには、いくつか方法が考えられる。本研究では、直接的に積雪面積率の効果をとり込む方法と間接的にその効果を考える方法について検討した。

〈A. 直接的に積雪面積率の効果をとり込む方法〉

この方法として考えられるのは、選定されたシステム方程式に、新たに積雪面積率の項 $As(t)$ を加える方法である。通常、積雪面積率は観測されていないので、直接入力することは困難である。このため、積雪面積率も何らかの指標を用いて推定する必要がある。一般に積雪面積率と流域積雪水量は密接な関係があることが知られており、積雪面積率を用いた流域積雪水量の算定手法も提案されている (小池ら⁹⁾)。本研究では、式(1)と初期流域積雪水量 $Ss(0)$ から時刻 t における流域積雪水量 $Ss(t)$ を計算し、これを積雪面積率の指標として扱うこととした。具体的には、

$$Ss(t) = Ss(0) - k \cdot \sum_0^t T(t) \quad (11)$$

によって各時刻における積雪水量を計算し、流出量の増分を次式によって計算するものである。

$$\Delta Q(t) = f\{Q(t-1), T(t-1), S_s(t-1)\} \quad (12)$$

〈B. 間接的に積雪面積率の効果を考慮する方法〉

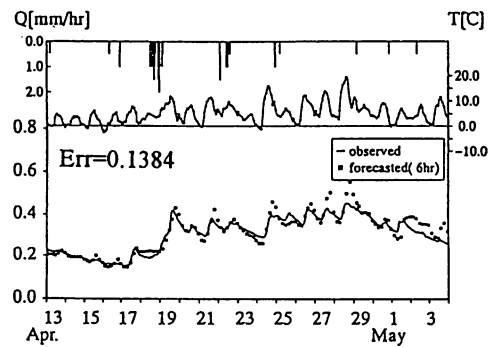
一方、積雪面積率の効果をシステム方程式に積極的に取り込むという立場とは逆に、 n ステップ前のファジィ関係 $P(t-n)$ を全体のファジィ関係 (t) から削除する方法が考えられる。これは、積雪面積率が数日間では大きく変化しないこと、融雪流出量の時間的変化が比較的緩やかであることを考慮して、過去数日間より前の出水経験を忘れながら、予測を進めるものである。時刻 t における全体のファジィ関係 $\Pi(t)$ から時刻 i のファジィ関係 $P(i)$ の削除は次式による。

$$\Pi(t) \text{ and } \sim P(i) \rightarrow \Pi(t) \quad (13)$$

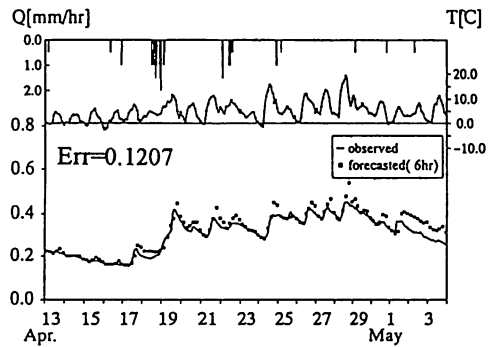
ここで、記号 $\sim$ は NOT 演算を示す。

図-9(a)–(c)は、融雪期後半部分について6時間先の融雪流出量の予測精度の比較を行ったものである。尚、図中の数値は計算値の相対誤差の平均値を示している。図-9(a)は積雪面積率の効果を考慮しない場合、図-9(b)は上記の修正手法Aを適用した結果を示している。予測値は採用したシステム方程式に積雪面積率の効果を組み込むことによって改善されることが確認できる。また、図-9(c)は、予め学習した部分以外の5日以前のファジィ関係を上記手法Bによって、全体のファジィ関係から削除して得られた6時間先の流出予測結果を示している。ここで、5日間としたのは、現在の出水に対する学習結果を予測値に反映させるためには、最低限5日間程度の学習データが必要となり、これ以上短ければ予測不能なケースが多くなるためである。単純な計算ではあるが、積雪面積率をシステム方程式に加えた場合より良い結果が得られた。

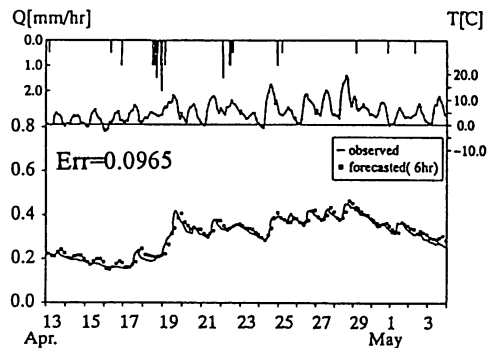
以上2つの方法で融雪末期の流出量の精度向上が可能であることが確認された。実際に予測計算を行う場合、新たに積雪面積率の効果を組み込む方法では計算時間・計算容量が大きくなるという問題や、流域の初期積雪水量を積雪調査等で明らかにしておかなくてはならないという実用上の問題がある。一方、過去の学習を削除する方法では、急な気温上昇などの変化に対しては、積雪面積率の効果を加える方法よりも予測精度が落ちる可能性もあるが、計算時間・積雪調査等の面からは、有利な点が多い。以上のことから、本研究では、積雪面積率による流出量の変化を、過去のファジィ関係を削除することで考慮することとした。



(a) 積雪面積率を考慮しない場合



(b) 積雪面積率をシステム方程式に組み込む場合



(c) 5日以前のファジィ関係を削除する場合

図-9 ファジィ推論による6時間先融雪流出量の予測結果

6. ファジィ推論による融雪流出予測

6-1 ファジィ推論による融雪流出予測結果

天気予報から得られる最高・最低気温を用いて、1日先の気温を予測し、これを融雪流出モデル、ファジィ推論手法の2手法の入力値として流出量の予測を行った。予測計算は1993年の融雪期を対象とし、初期のファジィ関係の合成は1992年の観測資料を用いた。図-10に両手法による6時間先

の流出量の予測結果を示す。図中の気温部の■印は入力値として与えた予測気温を示している。また、図-11は両手法によるリードタイムと予測値の平均相対誤差の関係を示す。もし、平均相対誤差が15%程度の予測を必要とするならば、融雪

流出モデルによる予測では6時間先程度の予測が限界であるのに対して、ファジィ推論による予測では12時間先程度の予測が可能であり、気温の予測値のような誤差を含む入力に対しても効果的に流出量を予測することができる。

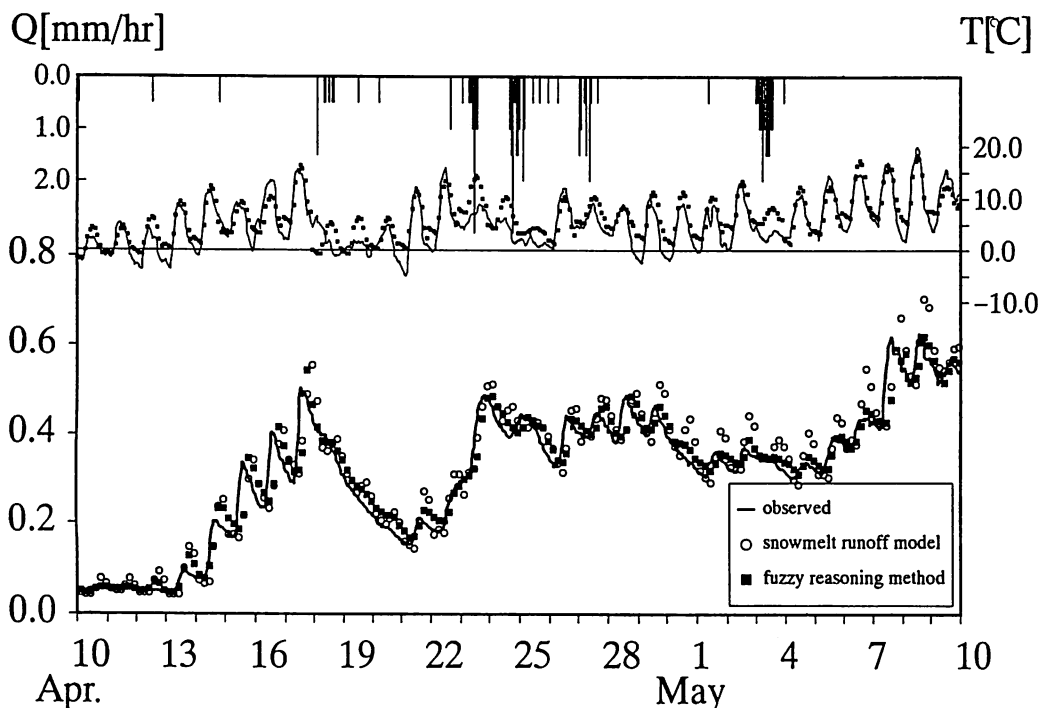


図-10 融雪流出モデルとファジィ推論手法による
6時間先融雪流出予測結果の比較(1993年)

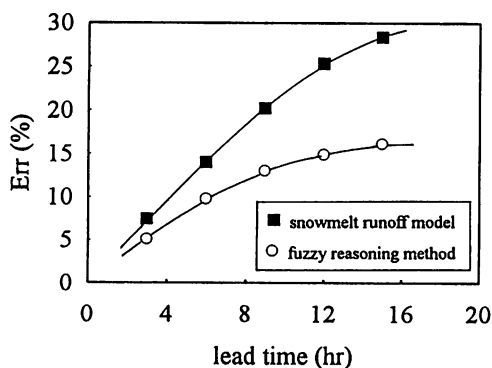


図-11 リードタイムと予測値の平均相対誤差の関係(観音沢川流域, 1993年)

6-2 他流域への適用

本研究により得られたファジィ推論による予測手法を他の流域に適用して、その妥当性を検討す

る。対象とした流域は、観音沢川上流域の近隣の簾舞川流域(流域面積9.7km²)、百松沢川流域(流域面積14.6km²)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、従来の予測手法の適用は困難である。推論のシステム方程式は、92年のデータを用いて、本稿の5-2節の方法に従って選定した結果、観音沢川上流域と同一の表-1の式(6)が最適であった。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、積雪面積率の効果は観音沢川流域と同様に、5日以前のファジィ関係を削除することによって考慮している。図-12、13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。また、表-2は両流域の予測値の平均相対誤差を示している。本研究の手法では降雨を考慮していないため、比較的

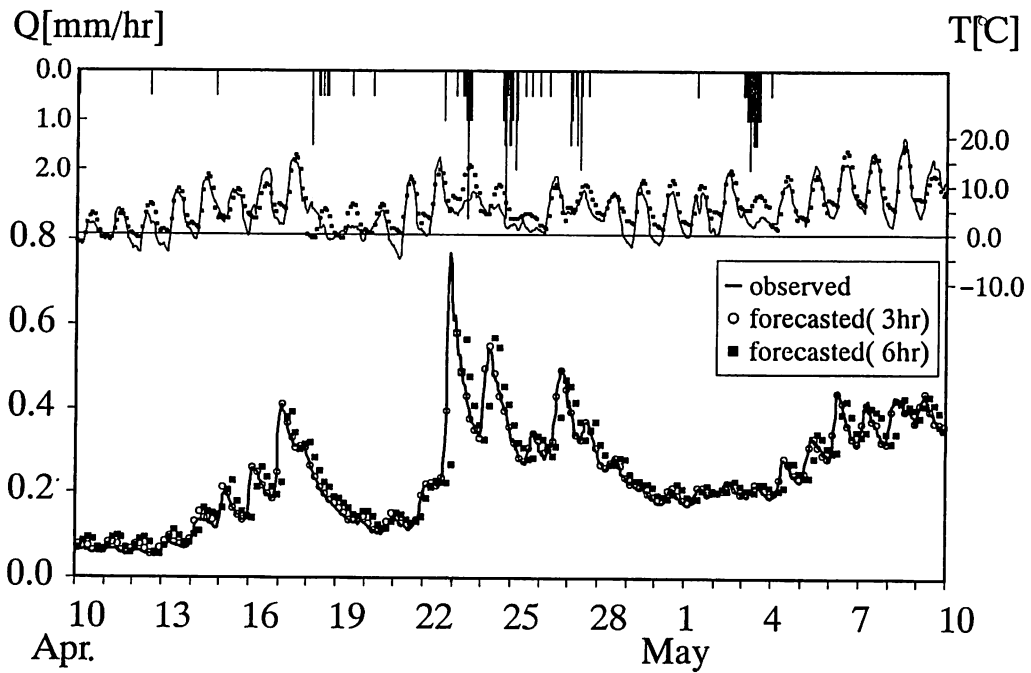


図-12 簾舞川流域における流出予測結果 (1993年)

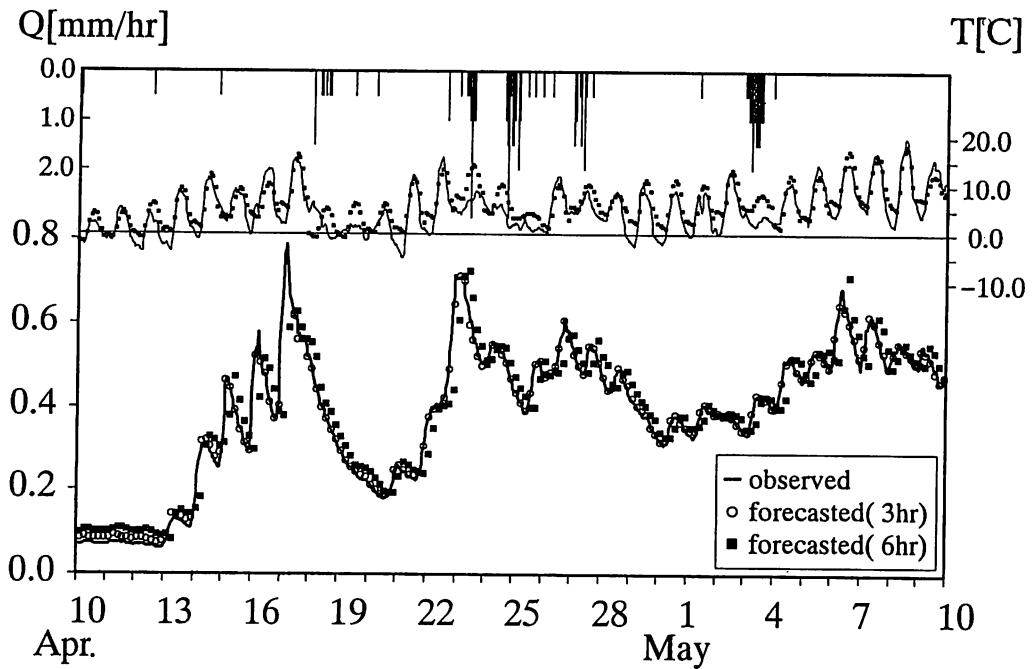


図-13 百松沢川流域における流出予測結果 (1993年)

強い降雨があると、予測値の平均相対誤差も大きくなるが、この期間を除くと、表-2の括弧内の値となる。比較的強い降雨のあった期間を除いて予測値と実測値はよく一致しており、ファジィ推論による流出予測手法の妥当性が示された。

表-2 簾舞川・百松沢川流域への適用結果

	3-hr prediction	6-hr prediction
Misumai R. Basin	0.1429 (0.1030)	0.2407 (0.1767)
Hyakumatsu R. Basin	0.0876 (0.0761)	0.1518 (0.1270)

7. 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、同様の予測条件でも、degree-hour法に基づく融雪流出モデルを用いた予測よりも効果的な流出量の予測が可能であり、少ない観測資料を用いた融雪流出予測にはファジィ推論手法が有効と考えられる。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。

謝 辞

本研究で使用しました水文資料の一部は北海道電力㈱から提供されました。また、積雪調査にあ

たりましては、本校土木工学科柳谷技官、高橋技官の協力を得ました。ここに記して関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 小池・早川・後藤・古谷・八田(1989): 魚野川流域における融雪流出解析の総合化, 水理講演会論文集, **33**, pp. 127-132.
- 2) 八田・藤田・嵯峨(1995), 分布型融雪流出モデルを用いた融雪流出予測に関する研究, 苫小牧工業高等専門学校紀要, **30**, pp. 79-89.
- 3) 嵯峨・西村・藤田・坂本(1992), 豊平川上流域の擬似河道網による流出解析, 土木学会年次講演会概要集, **47(2)**, pp. 478-479.
- 4) 丹羽・盛谷(1990): ダム流入量予測のための融雪流出のモデル化, 建設省土木研究所資料, **2826**.
- 5) Zadeh, L. A. (1965): Fuzzy sets, Information and control, **8**, pp. 338-353.
- 6) 藤田(1985): Fuzzy 集合理論の流出予測問題への応用, 水理講演会論文集, **29**, pp. 263-268.
- 7) 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.
- 8) Hatta, S., Fujita, M. and Nishimura, T. (1993): Snowmelt runoff prediction using the fuzzy reasoning method, Proc. of Workshop on Hydraulics and Hydrology in Cold Regions, pp. 159-168.
- 9) 小池・高橋・吉野(1985): 積雪面積情報による流域積雪水量の推定, 土木学会論文集, **357**, pp. 159-165.

(平成6年11月16日受理)