

気象予測情報に基づいた融雪洪水の予測精度

ACCURACY OF SNOWMELT RUNOFF FORECAST BASED ON WEATHER FORECAST

臼谷友秀¹・中津川誠²

Tomohide USUTANI, Makoto NAKATSUGAWA

¹ 正会員 (財) 日本気象協会 北海道支社 (〒064-8555 札幌市中央区北 4 条西 23 丁目 1-18)

² 正会員 工博 室蘭工業大学 建設システム工学科 (〒050-8585 室蘭市水元町 27-1)

This paper discusses the accuracy of snowmelt runoff estimated from weather forecasts. The study was conducted for the basin of the Hoheikyo Dam (134 km²), a dam on the Toyohira River of the Ishikari River System. Snowmelt runoff is estimated for the snowmelt seasons of 2006 and 2007. So that estimation would be practical to conduct, we set the estimation procedure as follows: 1) obtain weather forecast data online; 2) use that data to estimate hourly snowmelt and runoff volumes for the upcoming 24 hours; and 3) calculate the estimation accuracy by comparing the estimated snowmelt runoff volume to measured snowmelt runoff volume.

Of the various types of weather data used for estimation, the accuracy of rainfall estimation had the greatest influence on the accuracy of snowmelt runoff estimation. Also, the longer was the lead-time for estimation, the greater was the margin of error. It was found that snowmelt runoff can be accurately estimated for lead times of up to 6 hours.

Key Words : Forecast accuracy, Snowmelt runoff, Weather forecast

1. はじめに

積雪寒冷地において融雪水は貴重な水資源であるとともに融雪洪水の原因でもある。したがって、融雪期の多目的ダムでは利水の確保を目指す一方、出水時の洪水調節も不可欠であり、貯水位管理として相反した運用が要求される。しかも、近年は地球温暖化による融雪期の早まりや夏期出水期以外の大雨も懸念されるなか¹⁾、治水と利水の安全度の両立を図る多目的ダムでは、水文予測情報を活かした事前動作の必要性が高まっている。しかしながら、実際の融雪や降雨の予測精度には必ずしも満足できない例もみられ、予測誤差を許容しながらの運用も考えていく必要がある。そのためには、まず、予測誤差を明らかにしておくことが不可欠である。

本研究は、これまで実用的観点から評価された例が少ない融雪期の洪水についての予測精度を示し、予測情報を多目的ダムの効果的な運用にどのように活かせるかを考察した。

筆者らは、札幌市の豊平峡ダム流域(流域面積:134km²)を対象にして流入量予測をルーチン的に行い、予測値と実績値とを比較した。予測計算は2006年と2007年の融雪期において実施した。流入量の予測手順は実際の運用を想定したものであり、日々の積雪分布をダム管理用のルーチンデータからモデル計算によって推定し、その分

布に基づいて24時間先までの時間単位の融雪量・流入量を融雪・流出モデルによって算出した。用いた気象予測情報は、気象庁・数値予測情報(GPV)と(財)日本気象協会・短時間降水予測情報である。GPVは、51時間先までの各種気象要素が1時間単位で予測された値であり、1日2回最新の値に更新される。GPVは更新間隔が12時間と長く、次の更新までに予測雨量が実態から乖離する場合がある。そこで、6時間先までの予測雨量には、1時間毎に更新される短時間降水予測情報を用いた。

以上の予測計算を通し、融雪期における流入量予測の精度について次のことがわかった。

- 1) ピーク比流量が1.0m³/s/km²を超えた降雨を伴う出水では、流入量のピークの約5時間前から出水規模が判断し得る予測値となっていた。一方、融雪が主な原因の出水については、的確な予測値となっていた。
- 2) 予測流入量の誤差はリードタイムが長くなることに伴い増加し、予測情報として有効なリードタイムは6時間程度までと考えられた。
- 3) 流入量を計算する過程で様々な気象要素の予測値を用いているものの、融雪期の予測流入量の精度を決定付ける最大の要因は、降雨予測であることがわかった。

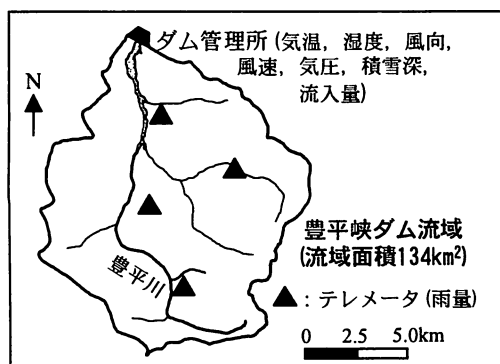


図-1 解析対象流域（豊平峡ダム）

表-1 気象・水文データ（豊平峡ダム）

項目	備考
気温、湿度、風速、気圧	ダム管理所
流域平均雨量	
日射量、日照時間	定山溪ダムの観測値を使用
積雪深	ダム管理所、テレメータ地点
流入量	

2. 対象流域

予測の対象とした流域は、札幌市の南部に位置する豊平峡ダム流域（流域面積：134km²）である（図-1）。流域の標高は400～1,300mの範囲にあり、全体の50%は700～900mにある。

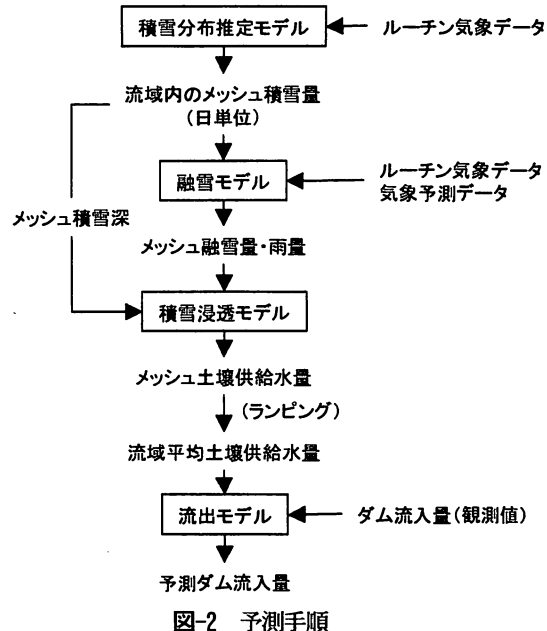
積雪期間は11月下旬～翌年5月下旬の約6ヶ月間で、融雪に伴う出水は4月下旬～5月下旬に見られる。年間降水量は2,000 mm程度、その約50%が降雪である。

豊平峡ダムでは、ダム管理所（図-1）において気象・水文データ（表-1）が観測されており、本研究ではこれらの観測値を1時間毎に入手して計算に用いた。なお、豊平峡ダムでは日射量の観測は行われていないので、近傍の定山溪ダムでの観測値を用いた。

3. 融雪流出量の予測手法

(1) 気象予測データ

流入量の予測にあたっては、気象庁数値予測情報(GPV)と(財)日本気象協会 短時間降水予測情報を用いた。GPVは、51時間先までの各種気象要素が1時間単位で予測された値であり、1日2回最新の情報に更新される。一方、短時間降水予測情報は、レーダで捉えた雨域の移動から降水量を予測したものであり、1時間毎に更新される。降水量を除く気象要素にはGPVを用い、降水量についてはGPVと短時間降水予測情報を組み合わせた。具体的には、予測降水量は、1～6時間先までには短時間降水予測情報、7～51時間先まではGPVの値を用いることができる。なお、降水短時間予測情報では、豊平峡ダム流域の



地形情報を使い、地形による雨雲の発達・減衰状況をモデル計算によって取り入れている²⁾。

(2) 予測手法

流入量の予測手順を図-2に示す。計算は、まず、流域内の積雪分布を推定し、融雪水の発生する範囲を特定する。積雪分布の推定にあたっては、積雪状態（積雪深、積雪相当水量）、降水量、蒸発散量が的確に推定でき、かつ、長期的な水収支を担保できるような手法が必要となる。そこで、水・熱フラックスの計算に植生の効果が考慮できる近藤ら³⁾の2層モデルに基づいて、長期水・熱収支を計算する手法⁴⁾を用いた。なお、積雪分布は、実測された気象データに基づく計算であり予測は行わない。これは、予測する時点から今後24時間の中で、融雪に伴って積雪分布が大きく変化することはないと考えたためである。

次に、気象データの実測および予測値を用いて24時間先までのメッシュ融雪量を1時間単位で算出する。このとき、降水の雨雪判別も同時に行う。算出した融雪量と雨量を積雪浸透モデルへ入力し、積雪底面から土壌に供給される水量（以下、土壌供給水量と呼ぶ）を算定する。以上で得たメッシュ毎の土壌供給水量をランピングし、その値を流出モデルに入力して流入量を算出する。融雪モデル・積雪浸透モデル・流出モデルは、臼谷・中津川・星ら⁵⁾の提案する方法を採用した。なお、流出計算にあたっては、1時間毎に入手した流入量に基づきカルマンフィルタを用いて計算値ならびに流出モデル定数を更新した⁶⁾。

以上の手順によって、2ヶ年（2006年・2007年）の融雪期で豊平峡ダムにおける流入量を予測した（図-3参照）。予測では24時間先までの1時間単位の流入量を算

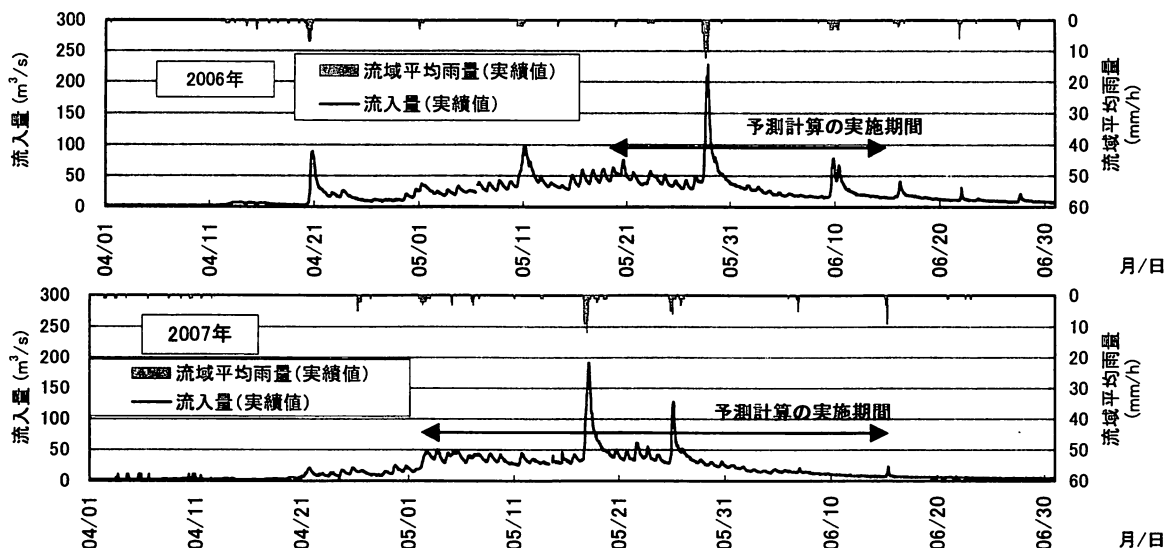


図-3 豊平峡ダムにおける3月～6月の降雨・流出状況と予測計算期間（上段：2006年，下段：2007年）

出し、この計算を1時間毎に行った。

4. 出水時の予測流入量

(1) 降雨時の予測

図-3によれば、2006年と2007年においてピーク比流量が $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ 以上となる出水が3度観測された（ピーク流量、2006年5月28日： $228 \text{ m}^3/\text{s}$ 、2007年5月18日： $191 \text{ m}^3/\text{s}$ 、同年5月26日： $128 \text{ m}^3/\text{s}$ ）。総降水量は、2006年5月28日～29日： 116 mm 、2007年5月17日～18日： 92 mm 、2007年5月25日～26日： 50 mm である。

図-4は、これらの出水時に予測されていた流入量を示したものである。図中、灰色の面は実績流入量、黒色の実線は1時間おきに計算された予測流入量である。これら予測流入量の内、最も早い時点で実績流入量に近い予測波形が得られた時刻に●印を付け、そのときの予測流入量を太い実線で示した。上段から、2006年5月28日～29日、2007年5月17日～19日、同年5月25日～26日のものである（以下、それぞれ、事例1、事例2、事例3と呼ぶ）。

図-4によると、いずれの事例とも、流出開始前の予測流入量は過少な値となっている。しかしながら、事例1・事例2は流出が開始してからは実績波形に近づくように予測値は変化している。事例1の場合は、流入量のピークが観測された時刻から7時間前に $250 \text{ m}^3/\text{s}$ 規模の出水が予測され、事例2では4時間前に $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 規模の出水となることが予測されていた。一方、事例3は流出が開始してからは過大な予測流入量となっており、予測値から出水規模を判断することのできない計算結果であった。このような予測流入量の変化を、予測雨量との対応から比較する。

図-5は上述した3種類の事例において計算に使われた予測雨量を示したものである。上段から、事例1、事例2、事例3の順に示した。図中、○印の付いた実線は各時刻

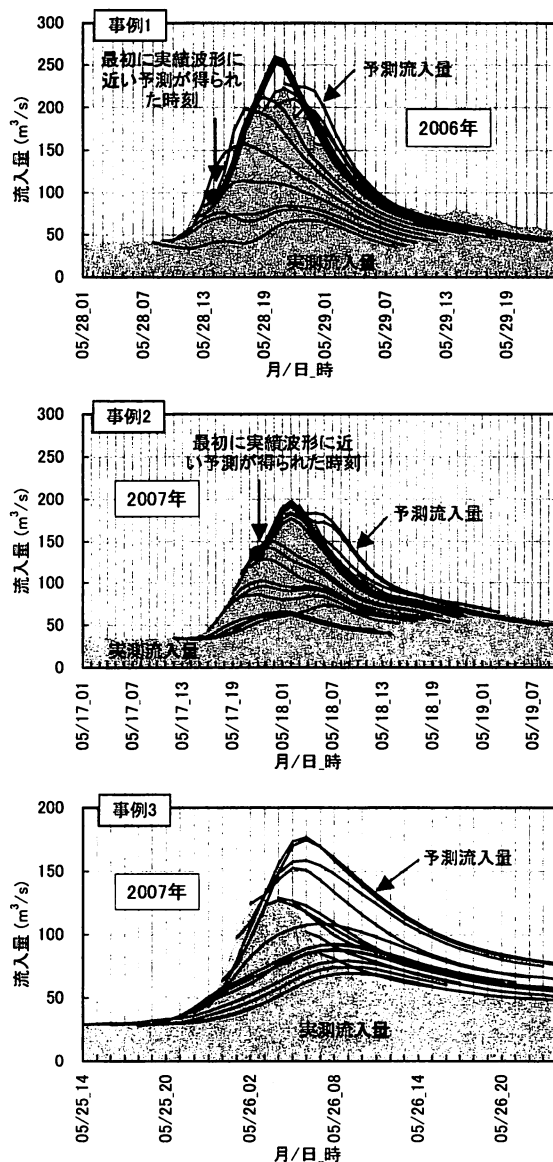


図-4 降雨時の予測流入量

上段：2006年5月28日～29日，中段：2007年5月17日～19日，下段：2007年5月25日～26日

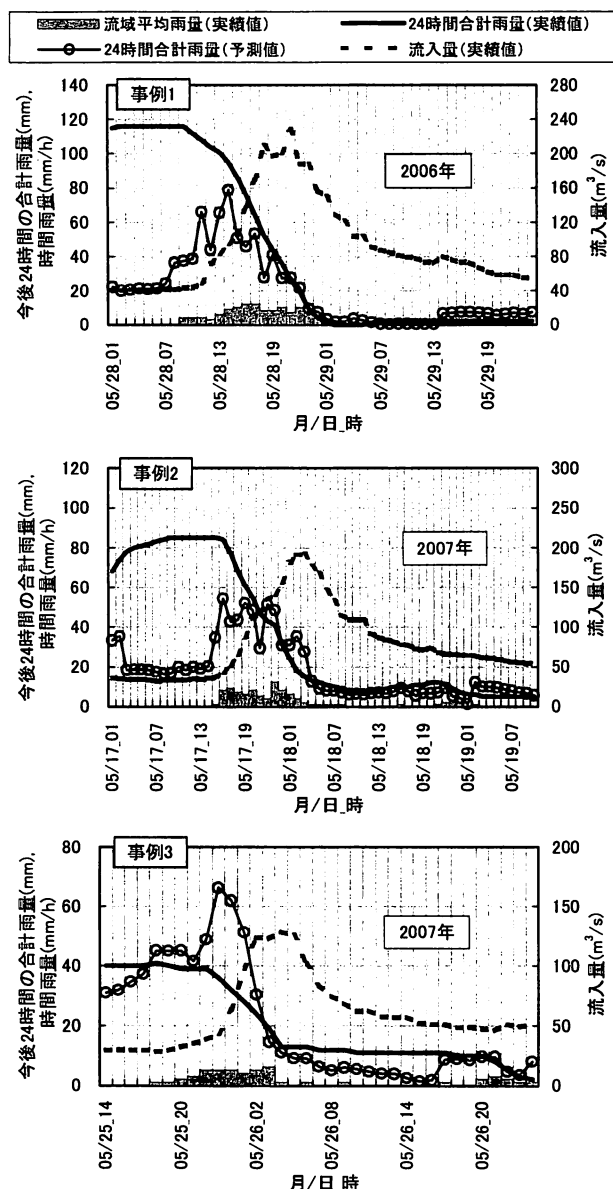


図-5 出水時の雨量予測状況

上段：2006年5月28日～29日，中段：2007年5月17日～19日，下段：2007年5月25日～26日

の計算に用いた予測雨量の合計値（24 時間合計），黒色の実線は当該時刻から 24 時間先までの実績雨量の合計値である。両者が一致していれば，量的には正しい予測雨量であったということの意味する。破線は実績流入量，灰色の棒グラフは実績の流域平均雨量である。雨量は左側の縦軸，流入量は右側の縦軸に従って図示した。

図-5 によれば，事例 1 の場合は，降雨開始前の予測雨量（24 時間合計値：図中，○付きの実線）は 20 mm 程度，一方，実績雨量（24 時間合計値：図中，太い実線）は 100 mm を超えており，予測雨量が過少であったことが分かる。降雨開始後，予測雨量（24 時間合計値）は増加し，13 時を過ぎたあたりから実績に近い値となっている。このような予測雨量の変化の様子は，事例 2 にも見られる。図-4 で示したように，流出が開始してから予測流入量が実績に近づいた理由は，予測雨量が実際に近い値へと変

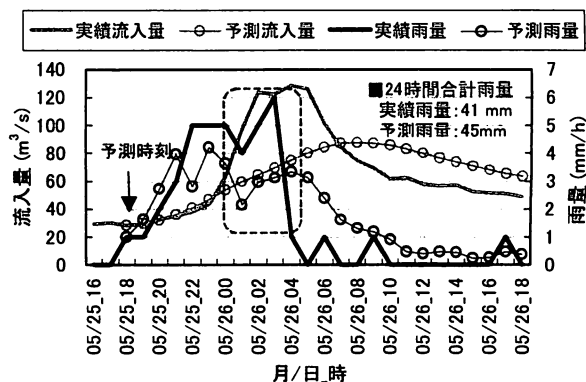


図-6 2005 年 5 月 25 日の降雨予測状況

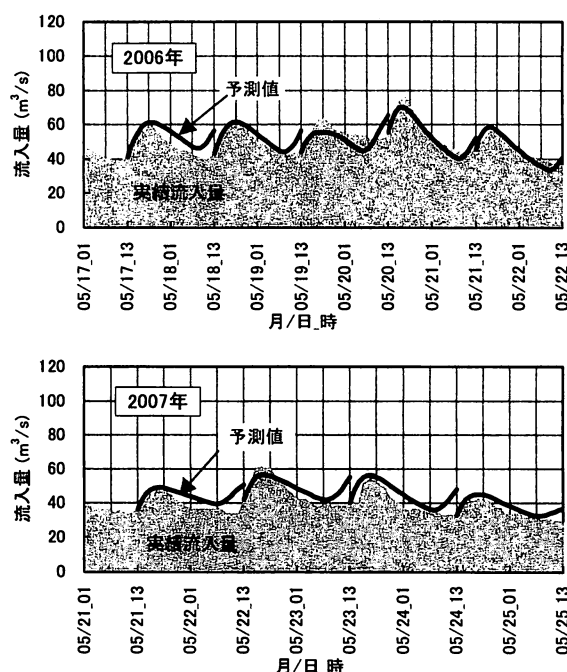


図-7 融雪最盛期における予測結果

上段：2006 年 5 月 17 日～22 日，下段：2007 年 5 月 21 日～25 日

化したことによるものといえる。

一方，事例 3 は，流出が開始する時間までの予測雨量と実績雨量（両者とも 24 時間合計値）は 40 mm とほぼ同量であったものの，この間の実績と予測のハイドログラフは類似していない。そのときの降雨予測を図-6 に示すが，予測雨量（図中，○印の付いた黒色の実線）は 5 月 26 日 1 時以降，実績雨量（図中，黒色の太い実線）の 1/2 程度の値となっており（図中，破線で囲んだ箇所），実績と予測のハイドログラフが類似しない理由はここにある。融雪期の土壌は比較的湿潤状態にあることから降雨に対する流出応答が早い。このため，融雪洪水を予測する上では，予測雨量が量的に一致することに加え，波形をも的確に予測されていることが重要と考えられる。

(2) 降雨を伴わない融雪出水の予測

融雪期の流出量を計算する際の入力としては，雨量と

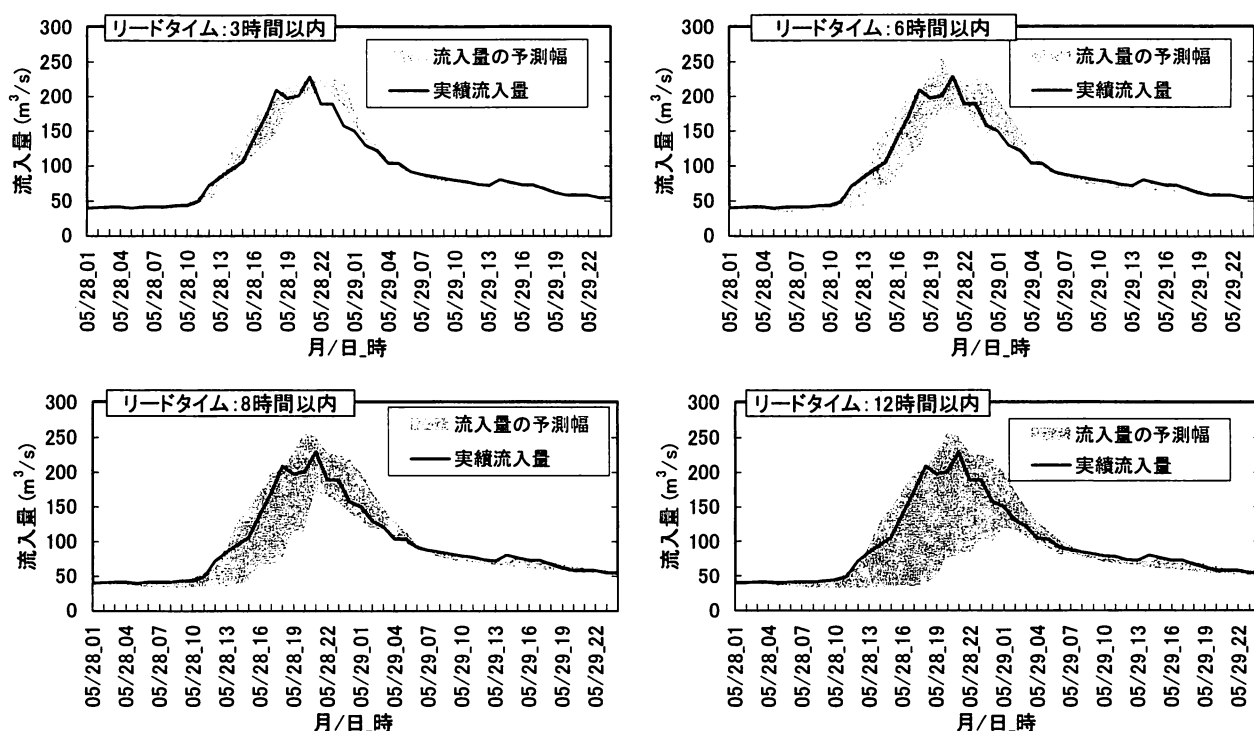


図-8 出水時における流入量の予測幅（2006 年）

融雪量がある。前節では、降雨を伴った出水を取り上げ、予測状況を整理した。その結果、当然ではあるが、予測流入量は予測雨量の誤差を反映したものとなっていた。

入力値のもう一方である融雪量は、種類の異なる複数の気象データから計算される。したがって、予測される融雪量は、複数の予測気象データの誤差を反映した値となる。このため、融雪量に基づいて計算される流入量は、種々の誤差が重なり、大きな誤差を持つことが懸念される。そこで、降雨を伴わずに融雪のみで出水した例を取り上げ、そのときの予測状況を見る。

図-3によれば、2006 年・2007 年とも、5 月 21 日の前後の期間は、まとまった降雨の無い中で顕著な流入量の日変化が見られ、融雪による出水と判断される。このとき予測されていた流入量は図-7 のとおりである。図中、灰色の面は実績流入量、黒色の実線は毎日 13 時に予測された流入量である。13 時の値を示したのは、13 時に最新の GPV が入手されることによる。上段の図は 2006 年 5 月 17 日～22 日、下段は 2007 年 5 月 21 日～25 日のものである。

図によれば、予測計算を行った日の翌日は、ハイドログラフの立ち上がりが若干早いものの、夜間に出現する流入量のピークは的確に予測されていた。

以上の結果は、融雪量の推定に関わる予測気象データに含まれる誤差は、流入量の予測精度を大幅に低下させるほどの大きさではないことを示唆している。融雪に関わる気象データの予測誤差がどれだけ予測流入量に対して影響を与えているのかについては、機会を改めて検討したい。

5. 流入量の予測幅と予測誤差

図-8 は、2006 年 5 月 28 日の出水時における予測流入量の幅を示したものである。図中、黒色の実線は実績流入量、灰色の面は予測された流入量の包絡範囲を表している。図には、リードタイムが 3 時間以内、6 時間以内、8 時間以内、12 時間以内の場合を示した。これらによると、予測流入量の予測幅は、リードタイムが長くなるのに伴い拡大している。リードタイムを 12 時間までとった場合は、予測幅が広すぎ、ダム管理に活用することは難しいものといえる。管理上有効なリードタイムとしては、6 時間までであろう。

図-9 は、2006 年・2007 年に計算した全ての期間について 6 時間先までの流入量の予測幅を示したものである。図によると、予測幅と実測値はほぼ一致しており、リードタイムが 6 時間以内であれば、安定した予測情報が得られることがわかった。降雨のあるときは、4(1)節で述べた理由から予測幅がやや広がっているものの、融雪に伴う出水は高い精度で予測が可能といえる。

図-10 と表-2 には予測誤差を整理した。図-10 は出水時（ここでは、実績流入量が $50 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の場合）の 6 時間予測における誤差分布であるが、誤差の多くは、 $\pm 5 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲内にある。また、表-2 はリードタイム別の予測誤差であるが、リードタイムが 6 時間以内の場合の RMSE は $8.59 \text{ m}^3/\text{s}$ であった。以上の結果は、6 時間先までの予測流入量が有効な情報であることを示したものである。

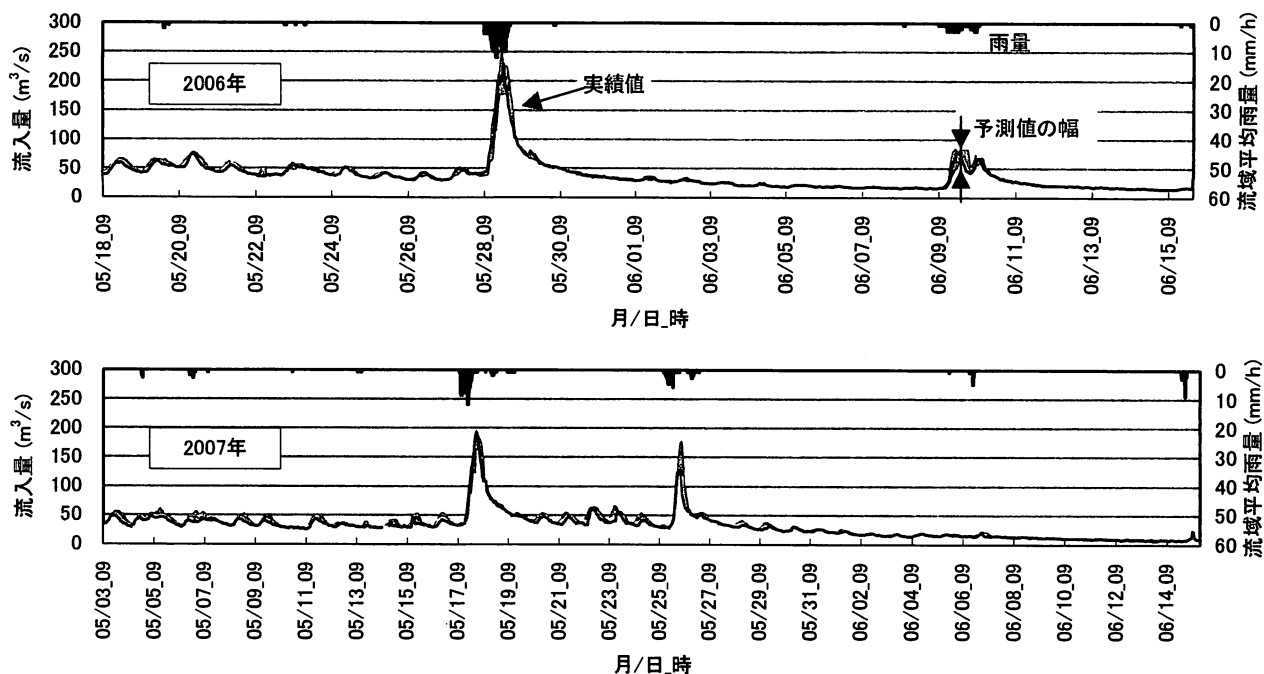


図-9 6時間先までの予測流入量の範囲（上段：2006年5月18日～6月15日，下段：2007年5月3日～6月15日）

表-2 リードタイム別 RMSE（単位：m³/s）

リードタイム	1時間以内	3時間以内	6時間以内	12時間以内
RMSE	3.15	5.25	8.59	13.89

流入量が50m³/s以上の場合の誤差分布

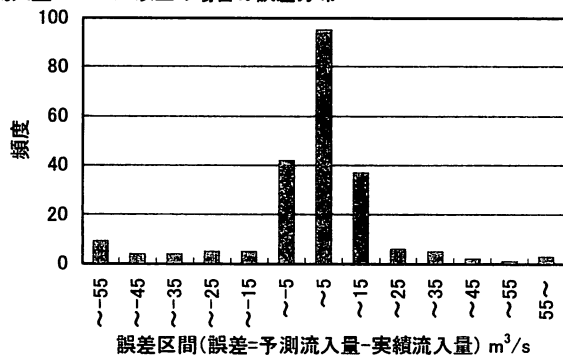


図-10 6時間先までの予測流入量の誤差分布

6. まとめ

本報告では、2006年・2007年に行った融雪出水予測の予測精度を整理した。結果は以下のとおりである。

- 1) 降雨を伴う融雪出水の予測は、降雨開始前は過少な予測になっていた。しかしながら、降雨開始後においては、出水規模を的確に予測できる場合があった。いずれにしても、予測される流入量は、予測雨量に大きく左右されていた。
- 2) 降雨を伴わずに融雪のみで出水した事例について状況を整理した。その結果、良好な予測値が算出されていたことがわかった。

- 3) 流入量の予測幅を整理した結果、リードタイムが長くなることに伴って予測幅が拡大することがわかった。管理上有効なリードタイムとしては6時間程度と考えられる。

今後は、降雨予測の精度向上と合わせて、予測誤差評価、それに基づくダムの事前放流など治水安全度向上の方策について検討を進めていきたい。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、石狩川開発建設部豊平川ダム統合管理事務所からデータ提供等で協力いただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 白谷友秀，中津川誠：北海道における冬期温暖化の傾向と水循環へ与える影響，地球環境シンポジウム論文集，第13回，pp. 1-6，2005。
- 2) 立平良三：雨滴成長を考慮した地形性降雨の計算，天気，23，pp. 27-32，1976。
- 3) 近藤純正：水環境の気象学，朝倉書店，337p.，1994。
- 4) 口澤寿，中津川誠：熱・水収支を考慮した流域スケールの積雪と蒸発散量の推定，北海道開発土木研究所月報，No. 588，pp. 19-38，2002。
- 5) 白谷友秀，中津川誠，星 清：積雪浸透を考慮した実用的融雪流出モデルの開発，水文・水資源学会誌，Vol. 20，No. 2，pp. 93-105，2007。
- 6) 国土交通省・北海道開発局建設部河川管理課 監修（財）北海道河川防災研究センター・研究所 編集・発行：「実時間洪水予測システム理論」解説書，396p.，2004。

(2008.4.3 受付)