

融雪出水の予測精度

Forecast accuracy of snowmelt runoff

日本気象協会 北海道支社 ○ 正 員 臼谷友秀 (Tomohide Usutani)
室蘭工業大学 建設システム工学科 正 員 中津川誠 (Makoto Nakatsugawa)
日本気象協会 北海道支社 フェロー 藤田睦博 (Mutsuhiro Fujita)

1. はじめに

融雪水は水資源であるのと同時に融雪洪水を引き起こす要因となる。このため河川管理においては、融雪出水を的確に予測する手法が必要とされる。このような課題に対し、融雪出水の予測に関する研究報告は多数ある。しかしながら、これらの報告はモデル開発に主眼が置かれ、過去の融雪ハイドログラフの再現性から手法の妥当性を論じたものがほとんどである。融雪流出モデルを用いて、実際に日々の流出量を予測したとき、どれだけの予測精度を持つのかを明らかにした報告例は、筆者の知る限りでは無い。

筆者らは、2006 年・2007 年の融雪期において、気象予測情報と融雪流出モデルとを組み合わせ、24 時間先までの流出量（ここでは、ダム流入量）を 1 時間毎に予測した。本報告では、ここで得られた流出量の予測値と実績値とを比較し、融雪出水の予測精度を示す。

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、本報告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. 融雪流出量の予測方法

3.1 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、24 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、7～24 時間先までは GPV の値を用いた。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た。

3.2 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、植生の効果が考慮できる近藤ら¹⁾の 2 層モデルに基づいて、長期水・熱収支を計算する手法²⁾を用いた。なお、積雪分布は、実測された気象データ

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 流域平均雨量	ダム管理所
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	

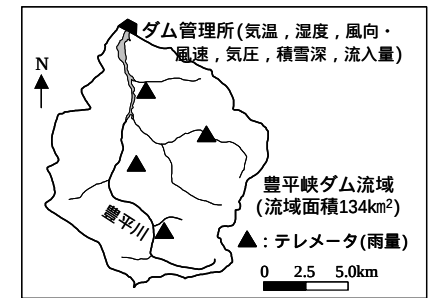


図 - 1 予測対象流域（豊平峡ダム流域）

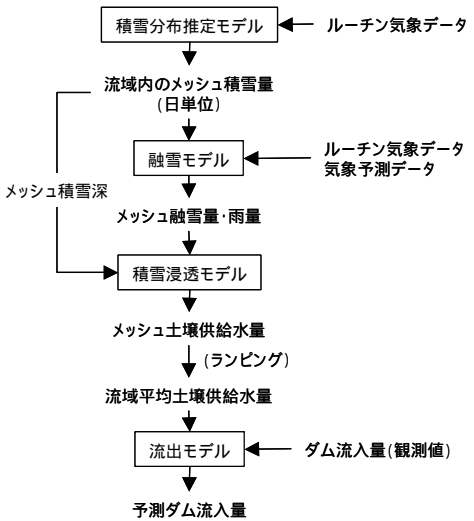


図 - 2 予測手順

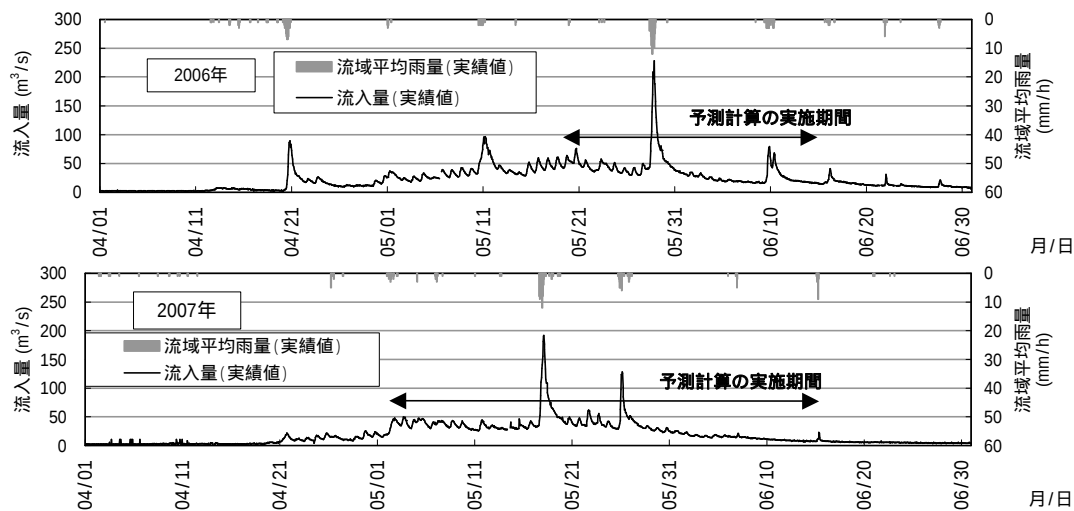


図 - 3 豊平峡ダムにおける3月～6月の降雨・流出状況と予測計算期間（上段：2006年，下段：2007年）

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³⁾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．

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

4.1 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）．

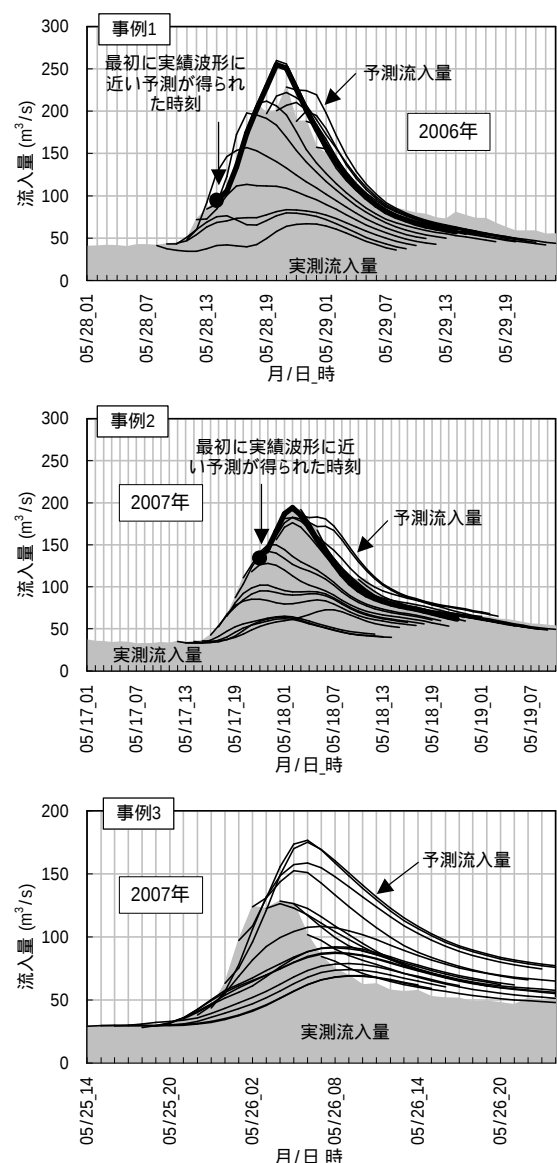


図 - 4 降雨時の予測流入量

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

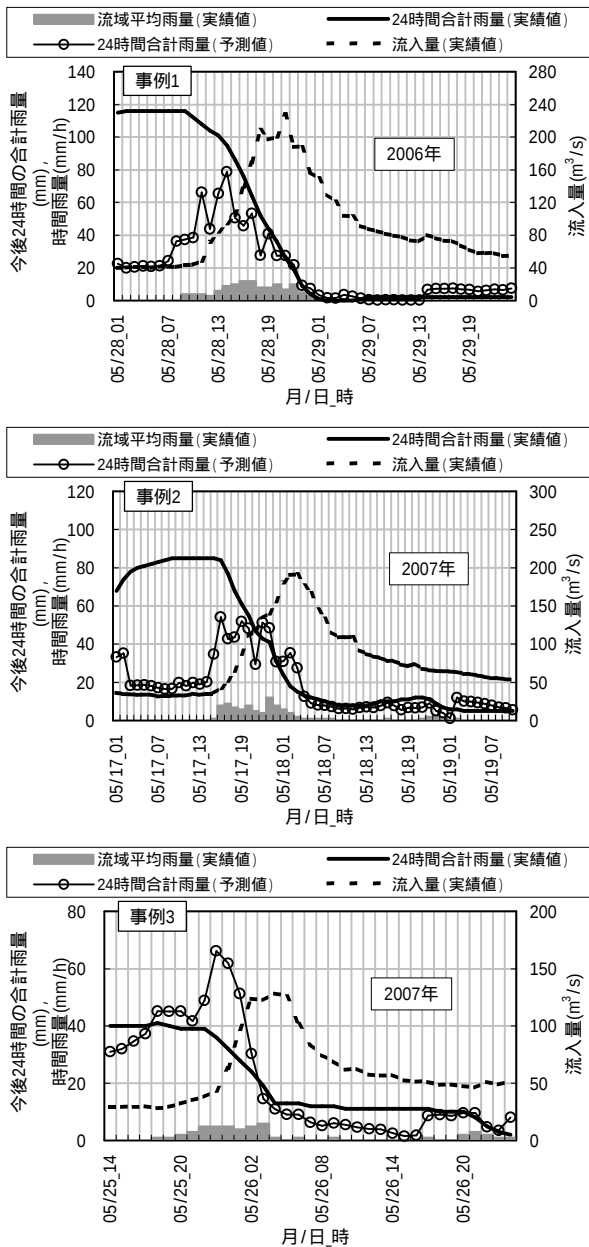


図 - 5 出水時の雨量予測状況

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

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の計算に用いた予測雨量の合計値（24 時間合

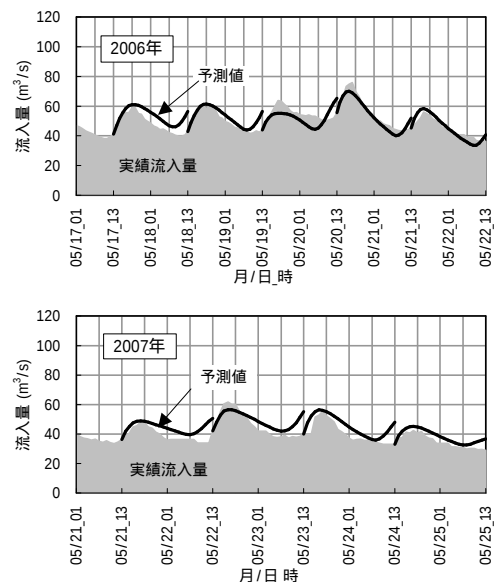


図 - 6 融雪最盛期における予測結果

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

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。しかしながら、この間の実績と予測のハイドログラフは類似せず、原因は毎時雨量の波形が実績値と予測値で異なっていたためである。予測雨量は、量的に一致することに加え、波形も的確に予測されていることが重要といえる。

4.2 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。このため、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。従って、このような融雪量から計算される流入量は大きな誤差を持つものと想像される。そこで、降雨を伴

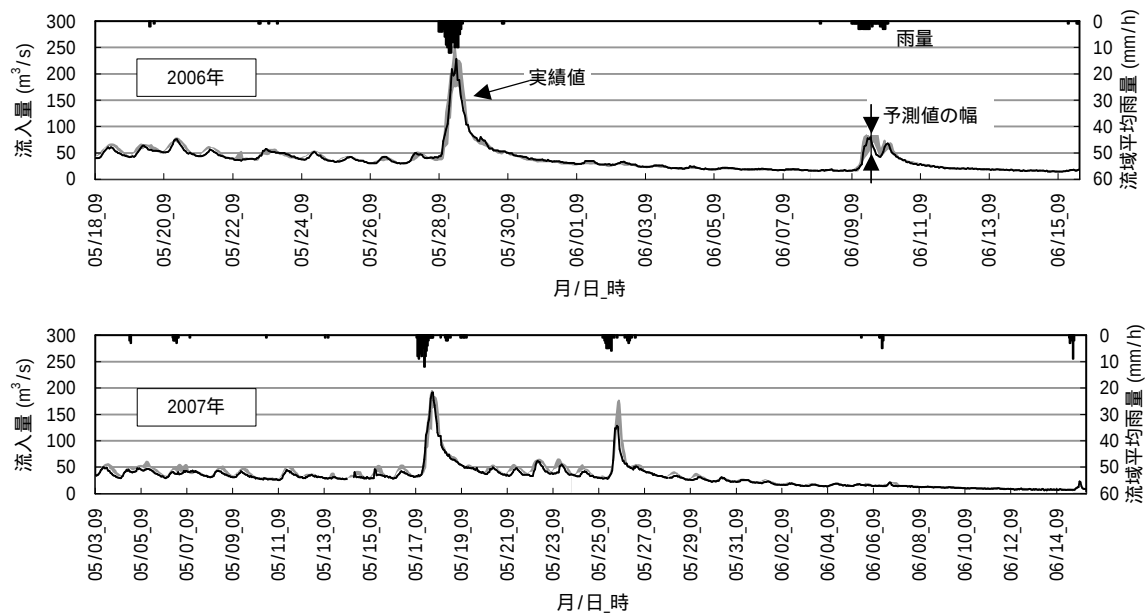


図 - 7 予測流入量の範囲(上段: 2006 年 5 月 18 日 ~ 6 月 15 日, 下段: 2007 年 5 月 3 日 ~ 6 月 15 日)

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 - 6 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、予測した日の翌日のハイドログラフの立ち上がりは若干早いものの、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情報に多少の誤差があったとしても、予測される流入量を大きく変化させるものではないことを示しているように考えられる。融雪に関わる気象データの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

図 - 7 は、2006 年・2007 年に計算した 6 時間先までの予測流入量を図示したものである。図中、黒色の棒グラフは実績雨量、黒色の実線は流入量の実績値、灰色の面は予測された流入量の包絡する範囲を表している。すなわち、毎時間計算された 6 時間先までの予測流入量は、全て灰色の面の中に入っている。

図によると、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。しかしながら、予測幅と実績値はほぼ一致しており、河川管理の支援情報として役立つものと考えられる。2006 年・2007 年の例では、リードタイムが 6 時間の場合、予測誤差 (RMSE) は $8.6 \text{ m}^3/\text{s}$ であった(表 - 2)。

表 - 2 リードタイム別 RMSE (単位: m^3/s)

リードタイム	1時間	3時間	6時間	12時間	24時間
RMSE	3.15	5.25	8.59	13.89	16.14

6. おわりに

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分かった。
- 3) 流入量の予測幅を整理した結果、降雨時は予測雨量の影響で予測幅は広くなるものの、その他の期間では実績流入量から大きく外れるものはなかった。

今後は、降雨予測の精度向上と合わせてリードタイムと誤差の関係把握、さらには、ダム運用に対する融雪流出情報の活用について検討を進めていきたい。

謝辞: 本報告をまとめるにあたり、石狩川開発建設部豊平川ダム統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) 近藤純正: 水環境の気象学, 朝倉書店, 337p., 1994.
- 2) 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, pp19-38, 2002.
- 3) 臼谷友秀, 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.