

融雪流出予測における週間気象予報の利用について Study on the Snowmelt Runoff Forecasting Using the Weekly Weather Forecast

八田 茂実*・西村哲治**・嵯峨 浩***・藤田 睦博****

By Shigemi HATTA, Tetsuji NISHIMURA, Hiroshi SAGA and Mutsuhiro FUJITA

Abstract

This paper presents an attempt to apply the weekly weather forecast data for a snowmelt runoff prediction. The basin is 1.0km² in area and elevation ranges from 390 to 800 m above sea level. The snowmelt model makes use of digital terrain data with 20 m grid spacing. Energy balance components are calculated for each grid element taking topographic variations of solar radiation into account. In order to use the snowmelt model in the forecast situation, it is necessary to predict the meteorological data for any future time period. In this study, 1) the insolation is calculated by the forecasted percentage of sunshine, which is divided into 15 weather conditions; 2) and the temperature is calculated as a function of time elapsed. One week ahead forecasting results by the snowmelt runoff model using the weather forecast data are accurate enough for practical purpose.

Keywords : streamflow forecasting, snowmelt, weather forecast

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・東北・北陸の様な多雪地帯において、水源地の積雪水量の推定、融雪出水の予測・制御システムの構築は利水上、河川の維持管理上重要な課題となっている。

融雪流出予測は目的に応じて、洪水処理のための短期予測（時間単位）、貯水池操作のための中期予測（日・週単位）、水資源管理のための長期予測（月単位）の大きく3つの期間に分けて考えることが出来る。これらのうち、短期予測では、予測の対象とする時点までの融雪量と流出に至るまでの time lag を¹⁾、長期の流出予測では、予測する時点での流域積雪水量をどの程度の精度で見積もれるかが問題となる²⁾。これらの短期・長期流出予測は、これまでに検討されている例があるが、貯水池の操作上、有用と考えられる日単位・週単位の予測に関しては検討されている例が少ない。これは中期の融雪量予測に、1)融雪量を計算すべき地点の予測、2)融雪量計算に必要となる気象要素の予測、の2つの予測手法を必要とするためである。このうち、融雪量を計算すべき地点（積雪域）に関しては、流域の初期積雪水量分布を推定し、これと分布型融雪モデルを組み合わせることによって融雪に伴う積雪域の減少を推定することが可能である³⁾。一方、気象要素の予測については、我々が容易に収集できる気象予測情報として、気象庁から提供される気象予報がある。本研究ではこのような気象情報から得られる天気概況・気温概況から、融雪量算定に必要とされる日射量・気温を推定し、分布型融雪量算定モデルを用いた融雪流出量の予測を試みた。

2 解析対象流域と観測データの概要

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流域で、流域面積 1.0 km²、高度分布が 390 - 820 m 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粗林地が大

*	正会員	苫小牧工業高等専門学校助手	(〒059-12 苫小牧市錦岡443番地)
**	正会員	工修 北海道電力(株)総合研究所	(〒004 札幌市豊平区里塚461-6)
***	正会員	工博 北海学園大学助教授	(〒064 札幌市中央区南26西11)
****	正会員	工博 北海道大学教授	(〒060 札幌市北区北13西8)

半を占めている。

積雪調査は1992年の融雪開始直前の3月22日に行い、スノーサンブラーを用いて積雪深・積雪水量・積雪平均密度を収集した。一方、融雪量及び融雪の発生に関わる気象要素(放射収支量・気温・日射量・雨量・風速・湿度)については、対象流域から3kmほど離れた砥山ダムのダムサイト(標高230m)で観測した。流域の概要とスノーコースを図-1に示す。

3 融雪流出量の算定

3・1 融雪モデル

流域への入力値となる融雪量は、積雪の位置している地点の斜面向き・勾配・標高・森林等の被覆状況等によって大きく異なる。これは、融雪を発生させる熱源(気温・日射量等)が、これらの地形特性によって大きく異なるためである。このため、融雪量の算定においては流域内の地形特性に応じて気象要素を適切に評価し、それぞれの位置での融雪量の分布を求めることが重要であり、これを算定できる分布型融雪量モデルが開発されてきている(例えば文献4))。本研究では砥山ダム地点で行われている融雪量関連の観測から、小池らのモデルに従い、放射収支・degree-hour・降雨融雪の3つのモデルから構成される以下のような融雪量算定モデルを適用した。

$$M = M_R + M_d + M_p \quad (1)$$

$$M_R = \{ I \cdot (1 - \alpha) + \Delta R \} / L_m \quad (2)$$

$$M_d = 0.082 \times d.h \quad (3)$$

$$M_p = P \cdot T_p / L_m \quad (4)$$

ここで、 M : 融雪量, L_m : 氷の融解潜熱, I : 全天日射量, α : アルベド, ΔR : 有効放射量, $d.h$: degree-hour
 P : 降水量, T_p : 雨滴の温度

(2)式は放射収支による融雪量を示し、右辺第1項が短波長放射収支、第2項が長波長収支を示す。長波長放射収支量の推定は、晴天率を考慮した太田ら⁹⁾の方法を用いた。

一方、短波長放射収支に関してはアルベドの推定が重要となる。太田らは積雪表層密度の増加と共にアルベドが低下することから、圧縮粘弾性解析により、表層密度を計算してアルベドを推定している⁹⁾。本研究では、融雪量の総和である積雪水量と積雪深から推定される積雪平均密度を用いてアルベドを推定することとした。これは、計算上のアルベド(α_{cal})と積雪平均密度(ρ_{mean})の間に

$$\alpha_{cal} = a + b \cdot \rho_{mean} \quad (\rho_{mean} \leq 0.50) \quad (5)$$

の様な関係が成立するものとして、係数 a , b の値を同定するものである⁹⁾。図-2は砥山ダム地点において観測されている放射収支量から両係数の同定を行った結果であり、 $a=0.95$, $b=-0.65$ が得られた。

以上のようにして得られた融雪量算定モデルは、20m間隔でメッシュ化された流域のメッシュ交点ごとに斜面特性による補正を加えながら適用して、融雪量の算定を行った。

3・2 流出モデル

融雪流出量の検討は、流出モデルの入力値となる融雪量がメッシュの格子点で計算されることを考慮して、流域内の格子点を結ぶ流路網系を考える。これは、各格子点の回りの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。流路への入力値は格子点のみで考え、融雪水は直列2段のタンクにより流出量に変換される。各格子点からの流出は、河道に沿った距離を、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などは考慮せず、河道末端で合成される⁷⁾。

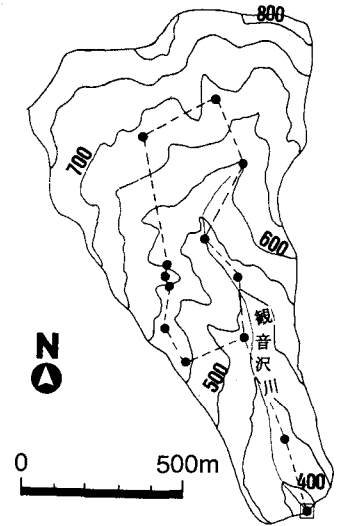


図-1 対象流域の概要
(--- スノーコース)

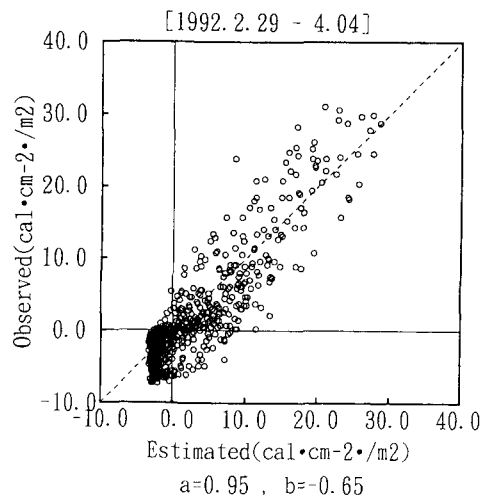


図-2 係数 a , b の決定

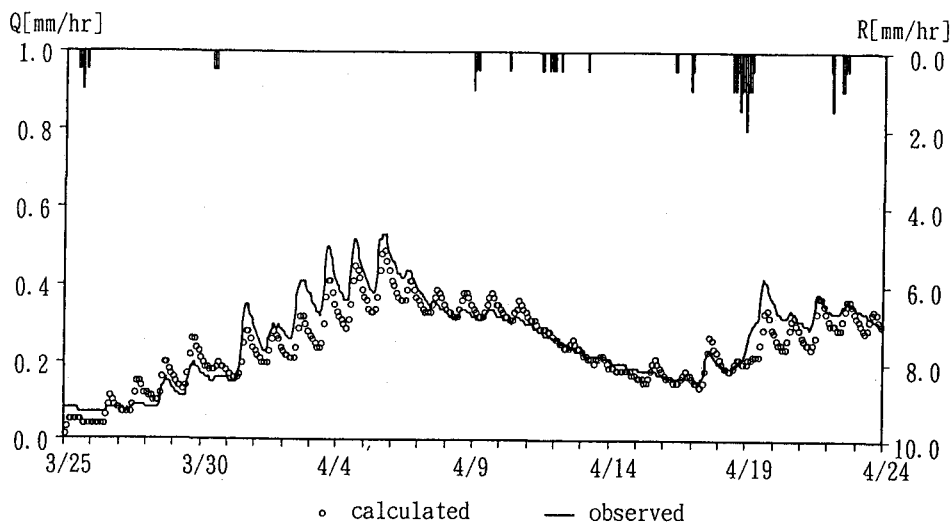


図-3 融雪流出量の算定 (1992.3.25 - 4.23)

3・3 融雪流出量の算定

積雪域は融雪の進行に伴って減少していくため、融雪流出量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、初期積雪水量分布を積雪調査から得られた標高との一次式で与え、各地点の融雪量の総和が当該地点の積雪水量に達したとき、その地点は無雪域になるものとして積雪域の推定を行った。

融雪モデル・流出モデルを比較的降雨の影響の少ない期間に適用して融雪流出量を算定した結果、図-3が得られた。降雨日には流出量はやや小さめに現れているが、全体的には流出量をよく再現することができた。

4 融雪流出予測

4・1 気象データの予測

本研究で用いた融雪量モデルに必要な気象要素は気温・日射量・降水量である。これらのうち、特に気温と日射量は融雪量の算定に大きな影響を与えており、これらの気象要素の予測は融雪流出予測に欠くことはできない。本研究で対象とする融雪流出の予測期間は日或は週単位の予測であり、毎週火・金曜日に発表となる週間天気予報の利用が考えられる。ここでは、週間天気予報から得られる向こう7日間の天気・気温の全般的傾向から融雪流出量を予測することを試みる。

(a) 日射量の予測

一般に、日照時間 n から全日射量 I を推定する経験式は、日照時間 n と日照時間の N の比である日照率 n/N を用いて、(6)式で表される。

$$I/I_0 = a + b \cdot (n/N) \quad (6)$$

ここで、 I_0 は単位時間あたりに水平面に入射する大気外放射量である。

一方、気象庁から提供される天気概況は、雲がかかるか否かという日照率の予報と考えることが出来る。図-4(a)-(c)は

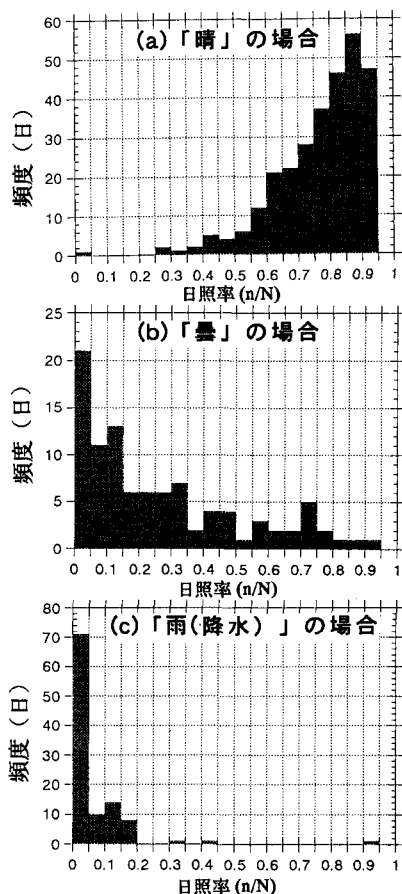


図-4 天気概況と日照率の頻度分布 (1989 - 1991年 札幌)

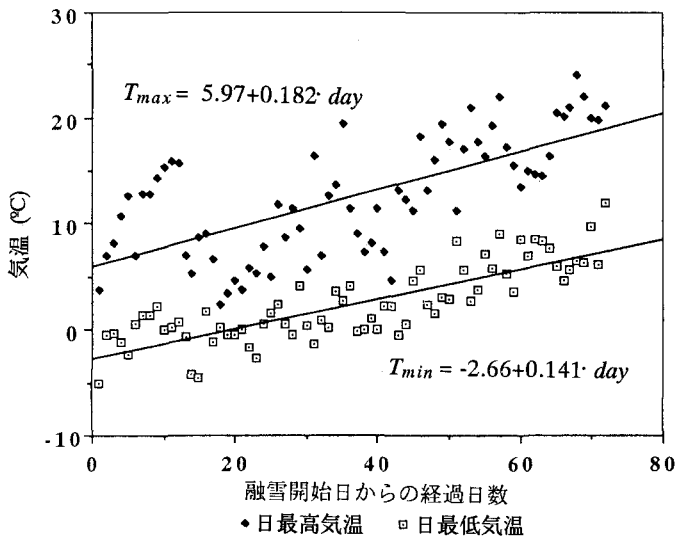


図-5 日最高・最低気温の上昇 (1992.3.27 - 6.5)

天気概況	日照率
晴	0.771
晴一時曇	0.521
晴後曇	0.507
晴一時雨	0.498
晴後雨	0.468
曇	0.264
曇一時晴	0.349
曇後晴	0.366
曇一時雨	0.163
曇後雨	0.106
雨	0.059
雨一時晴	0.269
雨後晴	0.346
雨一時曇	0.145
雨後曇	0.103

表-1 天気概況による日照率の平均値 (1989 - 1991年 札幌)

1989年から1991年の期間の札幌における6-18時の天気概況（実況）別に見た日照率の出現頻度を示したものである。それぞれ、ばらつきはあるものの、天気概況によって日照率の出現頻度は異なる。本研究では、天気概況を15パターンに分類し、それぞれ平均値をとって、15種類の天気概況に対する日照率を表-1の様に定めた。この様にして定めた日照率は一日を通じて一定であると考え、小池ら⁸⁾の方法にしたがって1時間あたりの日射量を算定することとした。

(b) 気温の予測

図-5は1992年の融雪期の日最高・最低気温の変化を示している。ばらつきは大きいものの、融雪開始日からの経過日数に従って、気温は直線的に高くなる傾向がみられる。一方、週間予報から得られる気温に関する情報は、平年値に対して高いか・低いかの傾向を示すものである。本研究では、日最高・最低気温は融雪開始日からの経過日数の直線式で表されるものとし、この直線に対するばらつきを週間予報から得られる平年値に対する高低で推定することとした。すなわち、d日目の最高・最低気温は、

$$T_{max,d} = 5.97 + 0.182 \cdot d + \Delta T_{max} \cdot f \quad (7)$$

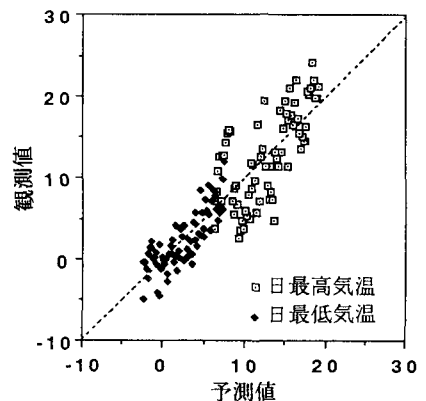
$$T_{min,d} = -2.66 + 0.141 \cdot d + \Delta T_{min} \cdot f \quad (8)$$

ここで、 $T_{max,d}$ 、 $T_{min,d}$ ：融雪開始日からd日目の最高・最低気温、 d ：融雪開始日からの経過日数

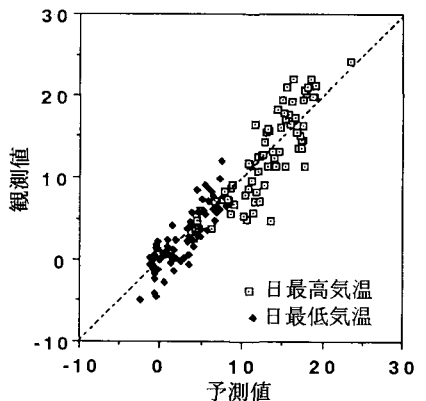
ΔT_{max} 、 ΔT_{min} ：週間予報による最高・最低気温の補正値

f ：補正にかかる係数(平年並: 0, 平年高: +1, 平年低: -1)

で表される。1992年の週間予報と観測されている日最高・最低気温から残差の平方和が最小になる様に ΔT_{max} 、 ΔT_{min} を同定した結果、それぞれ 5.2, 1.2(°C)が得られた。図-6(a), (b)はそれぞれ経過日数のみから推定した場合、週間予報による補正を加えた場合の日最高・最低気温の推定値と実測値の関係を示したものである。図から、週間予報による補正を加えることで気温推定値が改善されることが分かる。



(a) 経過日数のみを考える場合



(b) 週間予報による補正を加えた場合

図-6 日最高・最低気温の予測 (1992.3.27 - 6.5)

気象観測が十分にされておらず、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・最低気温でパラメータ化して、任意時刻の気温を推定する方法がある。本研究では各時刻の気温をこの方法を用いて推定することとし、1992年の気温データを用いて一日の気温の変動パターンを図-7の様に定めた。

4・2 融雪流出量の予測

以上の方法によって、毎週金曜日に提供される週間予報から気温・日射量を予測した結果、図-8、図-9が得られる。全体としては気温・日射量とも予測値と実測値は一致しており、週間予報を用いてこれらの気象要素を予測できることが示された。また、図-10は降雨は考えず、予測された気温・日射量を融雪モデルへの入力値として融雪流出量を一週間単位で算定したものである。図中の破線は気象予報データが収集される日を示しており、前日の流出量を再現するようにタンク内の貯留量を定めた。降雨日および気象予報の後半での流出量の予測精度は落ちるものの、全体的には予測値と実測値は一致する傾向が得られた。

5 結論

本研究では、融雪モデルへの入力値となる気温と日射量を気象予報データから、

- (1) 日射量は15パターンに分類された天気概況の平均日照率を用いて推定する。
- (2) 気温は融雪期の気温上昇の平均的な傾向と、気象予報からの平年値に対する高・低をもって予測する。

以上の方法を用いて予測し、これを用いた一週間先の融雪流出量の予測を試みた。予測された流出量は実用的には十分な結果が得られ、気象予報データを用いたは有力な情報を与えることが示された。

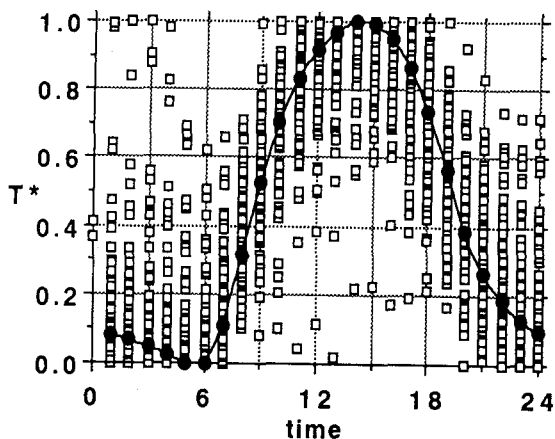


図-7 一日の気温の変動パターン
(1992年 砥山ダム)

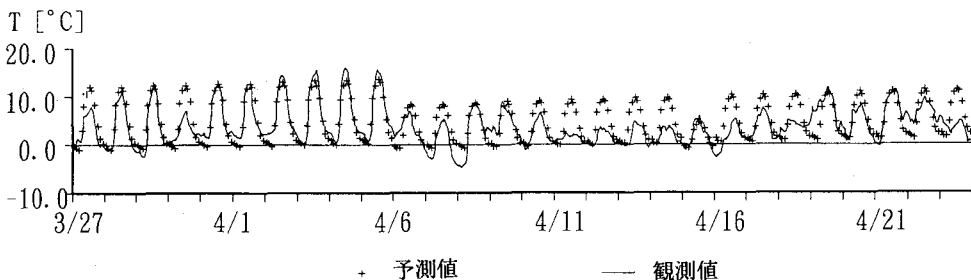


図-8 気温の予測結果 (1992.3.27 - 4.23)

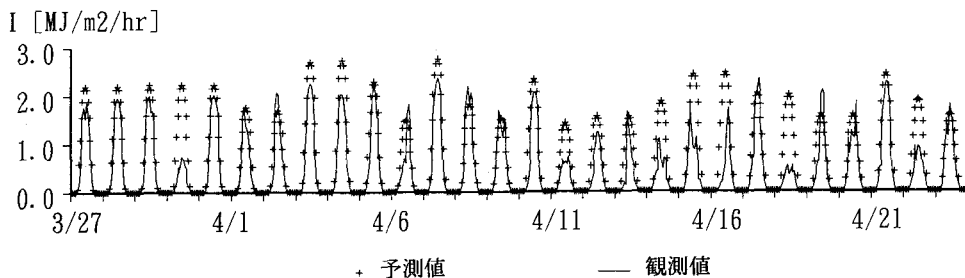


図-9 日射量の予測結果 (1992.3.27 - 4.23)

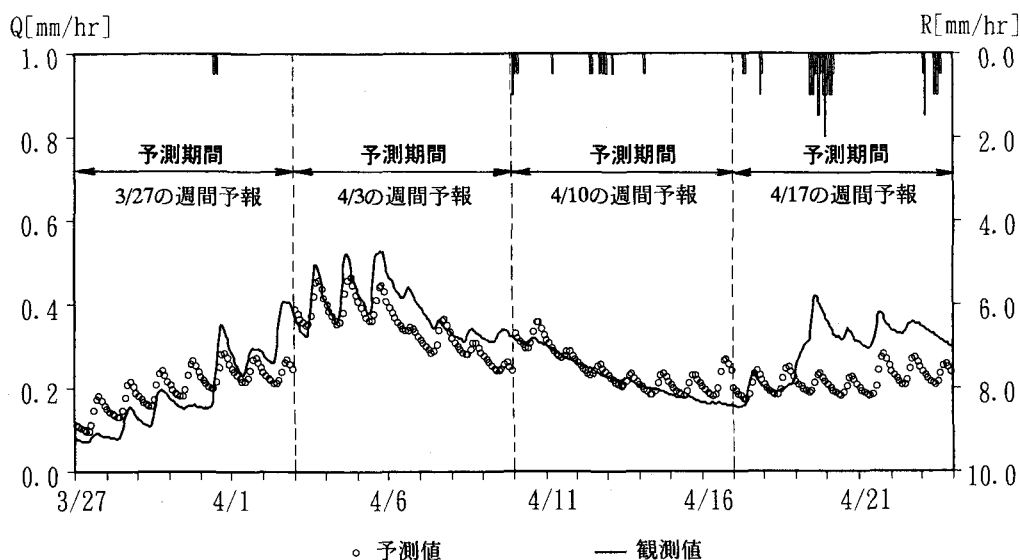


図-10 予測融雪量と計算融雪量の比較 (1992.3.27 - 4.23)
(予測期間は一週間)

謝辞

積雪調査に際しては、北海学園大学：川俣技官、苫小牧高専：柳谷技官・高橋技官の協力を得ました。また、本研究の一部は河川情報センター研究開発助成「融雪・降雨流出の分布型流出予測モデルの開発」(代表：山口甲)によりました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 盛谷, 丹羽: 融雪流入量の予測精度向上に関する検討, 第45回土木学会年次講演会概要集, pp.106-107, 1990.
- 2) 小池, 高橋, 吉野: 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, 1985.
- 3) 八田, 小池, 陸: 積雪水量分布の推定と融雪流出解析, 水工学論文集36号, pp.317-622, 1992.
- 4) 小池, 高橋, 吉野: 融雪量分布のモデル化に関する研究, 土木学会論文集, 363, pp.195-174, 1985.
- 5) 太田, 橋本: 落葉樹林内外における雪面上純放射量の推定と表層融雪量, 水文・水資源学会1991年研究発表会概要集, pp.18-21, 1991.
- 6) 八田, 西村, 藤田: 豊平川支流部における融雪観測とその解析, 土木学会北海道支部論文報告集48, pp.479-482, 1992.
- 7) 嵯峨, 西村, 藤田, 坂本: 豊平川上流域の擬似河道網による流出解析, 第47回土木学会年次講演会概要集, pp.478-479, 1992.
- 8) 小池, 佐渡, 橋本, 坂本, 西館: AMeDAS日照時間による日射量推定の総合化, 水文・水資源学会1991年研究発表会概要集, pp.26-29, 1991.