豪雪地帯における貯水池の融雪流入予測に関する研究(3)

A study on snowmelt runoff prediction for reservoir operation

八田茂実 Shigemi HATTA

苫小牧工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授

要旨

本研究では、豪雪地帯の貯水池操作の合理化を目的として、夜間流入量の予 測を試みた.具体的には、予測の対象としている17時から翌日9時までの夜 間融雪量が、

1) 予測開始時点で既に計算可能な融雪量で構成されていること

2) 短期間では積雪域の変動や流域の湿潤状態の変動が小さい

ものと考え,前日の実績資料から推定した流出モデルのパラメータを使って 当日の計算融雪量で夜間の融雪流出量を予測するものである.本報告では,こ れまでに提案したダム管理所で観測されている気象資料のみを用いた融雪モデ ルを道内のダム流域に適用し,その汎用性を示した.さらに,予測日から3日 前までの資料で同定した流出モデルのパラメータを利用することによって融雪 最盛期の夜間の融雪流出予測を精度よく行えることを示した.

《キーワード:融雪;流出予測;貯水池操作》

1. はじめに

融雪期の融雪出水は量的に農業用水などの重要な水資源として利用される一方,融雪出水や雪崩等を 引き起こす災害要因でもある.このため,豪雪地帯に位置するダムでは,長期間にわたって水位維持の ためのダム操作が必要となる.特に北海道のダム流域では,融雪流出による流量のピークは19時以降に 発生することが多い.これは,融雪最盛期の数週間,夜間のダム操作が必要であることを意味しており, ダム管理者にとっては心理的にも大きな負担となっている.一方,融雪はほとんどが日中に生じるため, 融雪最盛期にあっても融雪の大半は18時までに終了している.すなわち,ダム操作で対象としている夕 方から夜間にかけて生じる融雪流出は,17時の時点でほぼ計算可能な融雪量によって生じていると考え られる.

丹波ら¹⁾は,昼間の融雪量を正しく評価することによって,夜間流入量の予測を試みている.しかし ながら,適用する融雪モデルが熱収支法に立脚していないため,対象とする流域を変えるたびにモデル パラメータを同定する必要があり,必ずしも実用的ではない.本研究では,これまでに提案されている 熱収支法に基づく融雪モデルを用いて,北海道内のダム流域に適用可能な夜間融雪流出予測手法の開発 を目的とする

本報告では,第2節で融雪モデルと流出モデルの概要と融雪流出量算定の手順の概要を説明し,第3 節で融雪流出モデルのダム流域への適用方法とその結果の再現性を確認する.更に第4節章で定山渓ダ ムを対象とした,融雪最盛期における夜間の融雪流出量の予測方法を示す.

2. 融雪流出量の算定

(1) 熱収支法に基づく融雪モデルの概要

融雪量は積雪表面・積雪下面の熱交換によって計算することが可能である²⁾³⁾⁴⁾.前者は放射収支量・ 顕熱交換量・潜熱交換量・雨による熱量・雪中の伝導熱量の和であり,後者は地中熱流量である.これら の熱量の要因となる熱源(放射・大気の乱れによる熱交換・凝結等)を項目別に観測して融雪量を求める のが熱収支法である.北海道のような寒冷地では積雪下面からの熱量は小さく,融雪のほとんどを積雪 表面の熱収支から説明できる⁴⁾.このため,融雪に作用する熱量 Q_M は,積雪表面での放射収支量 Q_R , 顕熱交換量 Q_A ,潜熱交換量lEを用いて,次式のように表すことができる.

$$Q_M = Q_R + Q_A + lE \tag{1}$$

融雪量は,計算された融雪熱量を氷の融解潜熱 $L_m(0.334\mathrm{MJ/kg})$ で除して求めることができる.

$$M = Q_M / L_m \tag{2}$$

式(1)中の顕熱交換量,潜熱交換量は以下のバルク式によって計算できる.

$$Q_A = c_p \rho C_H U(T_s - T_a) \tag{3}$$

$$lE = l\rho C_E U(q - q_{SAT}) \tag{4}$$

ここで, c_p は空気の定圧比熱 (1.05×10^3 J kg⁻¹K⁻¹), C_H , C_E はバルク係数 ($1.1 \sim 1.3 \times 10^{-3}$),U は風 速 (m/s), T_s , T_a は積雪及び空気の温度()である.これらの量はダム管理所で収集されている気象要素を直接利用できる.尚,積雪表面温度は次式のような太田⁵)の実験式を採用した.

$$T_s = \min(1.13T_a - 1.67, 0) \tag{5}$$

また,顕熱交換量,潜熱交換量の式中の ρ は空気の密度 (kg/m^3) ,qは比湿 $(kg kg^{-1})$ で,添え字のSAT は飽和時の値を意味している.これらは測定されている大気圧p(hPa),相対湿度の観測値にそのときの



図-1 融雪に関わる熱量

気温に対する飽和水蒸気圧 e_{SAT} を乗じて求められる水蒸気圧 e(hPa) を用いて計算される.計算式は以下の様である⁶⁾.

$$\rho = 1.293 \frac{273.15}{273.15 + T_a} \left(\frac{p}{1013.25}\right) \left(1 - 0.378e/p\right) \tag{6}$$

$$q_{SAT} = \frac{0.622(e_{SAT}/p)}{1 - 0.378(e_{SAT}/p)} \tag{7}$$

$$e_{SAT} = 6.1078 \times 10^{7.5T_a/(237.3+T_a)} \tag{8}$$

一方,正味放射量は雪面での短波長放射,長波長放射の和として以下のように表すことができる.

$$Q_R = (1 - ref)I + L \downarrow -\epsilon\sigma(T_s + 273.15)^4 \tag{9}$$

ここで, *ref* は雪面のアルベド, *I* は日射量, *L* ↓ は下向きの長波長放射, ϵ は雪面の射出率(0.9), σ はステファン=ボルツマン定数($5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)である.ダム管理所では日射量は測定されているが,その他の量については通常観測されていないため,何らかの推定式を当てはめる必要がある.本研究では,下向きの長波長放射量の推定には太田⁵⁾が提案している次式を用いた.

$$L \downarrow = (1 + 0.2(1 - C_c))(0.51 + 0.066\sqrt{e}) \times \sigma (T_a + 273.15)^4$$
(10)

$$C_c = (I/I_0)/F \tag{11}$$

ここで, I_0 は大気外の日射量,Fは見かけの大気透過率で,日照率(可照時間に対する日照時間の比)が 1のときの大気外放射量に対する全天日射量の比で表される.Fの値は観測されている日射量と日照時 間を用いて日照率と大気外放射量に対する日射量の比(I/I_0)をプロットし,日照率1に相当する I/I_0 の 値で定義することができる.図-2は1996年から1998年の札幌で観測されている日射量と日照時間から 日照率と大気外放射量に対する日射量の比を示したものであり,この結果から見かけの大気透過率Fを 0.71と設定した.また,大気外日射量は次式により計算される.

$$I_0 = \frac{I_{00}}{\pi} \left(\frac{d_0}{d}\right)^2 \left(H\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\sin H\right)$$
(12)

$$H = \cos^{-1}(-\tan\phi\tan\delta) \tag{13}$$

$$\left(\frac{d_0}{d}\right)^2 = 1.00011 + 0.034221\cos\eta + 0.00128\sin\eta + 0.000719\cos2\eta \tag{14}$$

$$+ 0.000077 \sin 2\eta \tag{11}$$

$$\eta = (2\pi/365) \times DOY \tag{15}$$



図-2 日照率 (N/N0) と日射量の比 (I/I0)の関係 (1996~98年; 札幌)

ここで, I_{00} は太陽定数 (1365 $m Wm^{-2}$), ϕ は地点緯度, δ は太陽赤緯,DOY は 1 月 1 日からの日数,H は日の出から太陽南中時の時角である.

雪面アルベドの推定には山崎ら⁷⁾の実験式を採用した.山崎らの式は以下のように表される.

$$ref_0 = ref_{max} \tag{16}$$

$$ref_n = \left(ref_{n-1} - ref_{min} \exp\left(-\frac{1}{k}\right) + ref_{min}\right)$$
(17)

$$ref_{max} = \begin{cases} -0.12T_a + 0.76 & (T_a \ge 0.1^o C) \\ 0.88 & (T_a < 0.1^o C) \end{cases}$$
(18)

$$k = \begin{cases} -4.9T_a + 4.5 & (T_a \le 0.1^o C) \\ 4.0 & (T_a > 0.1^o C) \end{cases}$$
(19)

ここで, ref_0 , ref_n は降雪日および降雪日から n 日目のアルベド, ref_{max} , ref_{min} は雪面の最大・最小ア ルベドで,本研究では $ref_{max} = 0.88$, $ref_{min} = 0.4$ を採用した.

(2) 流域内の融雪量の推定

先に示した融雪量モデルは,気象観測がなされている地点の融雪量を求めることが可能である.これ を用いて流域内の融雪量を推定するためには,融雪の発生する積雪域を明らかにするとともに,積雪の 存在する位置の地形に応じた気象データの補正が必要となる.本研究では,対象流域を等間隔のグリッ ドで分割し,各グリッドの積雪の有無を判定するとともに,流域の地形特性に応じた気象補正を行なっ たうえで融雪モデルを適用した.

地形の影響による気象データの補正は,融雪量算定に大きな影響を与える気温と日射量について行なう.気温については対象グリッドの標高から気温減率(-0.6 /100m)を用いて補正した.また,日射量については対象流域のグリッド標高値から作成した各グリッド点の斜面の勾配,斜面の向き,太陽高度から算出される受光係数と呼ばれる指標を用いて補正を行なった⁸⁾.なお,積雪域の推定については,ダム管理所で観測されている冬季間の雨量が流域に一様にあるものとし,各グリッド点の気温が2度以上で降雨,気温が2度未満で降雪として考え,前年11月から融雪開始前まで積算し,総融雪量がその地点の初期積雪水量に達するまでは積雪が存在するものとして計算を行なうこととした.

(3) 流出モデルの概要

本研究で採用した流出モデルは,地下水流出を考慮した貯留関数法である.このモデルは流出成分を 表面・中間流出成分と地下水流出成分とに分離し,比較的早く流出する表面・中間流出成分を1段目タ



図-3 対象としたダム流域の位置

| 流域名 | 流域面積 (km^2) 解析対象期間 | |
|-------|----------------------|-----------------------|
| 漁川ダム | 113.3 | $1999/4/20 \sim 4/30$ |
| 定山渓ダム | 104.0 | $2000/5/10 \sim 5/20$ |
| 鹿の子ダム | 124.0 | $2000/4/20 \sim 4/30$ |
| 札内川ダム | 117.7 | $2001/5/13 \sim 5/23$ |

表-1 対象流域の諸元

ンクで表現し,浸透による遅く流出する地下水流出成分を2段目タンクで表現することできる⁹⁾.この モデルは観測雨量,観測流量をそのまま用いて解析・予測を行うことができる.このため,入力値であ る融雪が連続して発生し,ハイドログラフの減衰部分が十分にとれず,流出率,つまり有効雨量を求め ることができない融雪出水を予測するのに適したモデルである.このモデルではc1,c2,c3の3つの未 知パラメータが含まれており,流出量計算時,これらのパラメータを同定する必要がある.これらにつ いては,既にパラメータの最適化も含め,北海道河川防災研究センターが発行しているツール¹⁰⁾¹¹⁾が公 開されているため,これを用いて計算した.

3. 融雪流出モデルのダム流域への適用

(1) 対象流域

前節で示した融雪流出モデルの適合性を検証するため,このモデルを北海道内のダム流域を対象に適用する.選定した流域は,なるべく地域的にばらつくように漁川ダム・定山渓ダム・鹿の子ダム・札内川 ダムの4流域とした.対象流域の位置を図-3に,それぞれの諸元と解析対象期間を表-1に示す.なお, 融雪期間中の気象観測資料には長い欠測期間がない資料を選定している.

(2) 流域地形モデルの作成

融雪は地形特性に大きく依存するため,流域融雪量の算定には,流域の地形モデルが必要になる.地 形モデルの作成にはグリッド型の DEM を使用した.利用する DEM のグリッドサイズは大きい方が計 算速度やメモリ節約の面から有利である.しかし,グリッドサイズが大きくなれば,地形が平均化され 各グリッドの融雪量を正しく計算できなくなる恐れもあり,計算に適切なグリッドサイズを選定する必 要がある.



図-4 数値地図のグリッドサイズと計算される地計量の分布 (漁川ダム) 上段は標高:グリッドサイズは左から 50m,100m,200m,250m 中段は斜面勾配角:グリッドサイズは左から 50m,100m,200m,250m 下段は斜面方位角:グリッドサイズは左から 50m,100m,200m,250m

本研究では,国土数値情報から 50m,100m,200m,250m のグリッドサイズの DEM を作成し,各 DEM で標高・斜面勾配角・斜面方位角を計算し,最小サイズである 50m グリッドの DEM で作成した 地形量を真値として,各サイズで計算された地形量の分布を比較し,地形情報が保存される最大のサイ ズを採用することとした.図-4 は漁川ダムの数値地図のグリッドサイズと計算される地計量の分布の例 である.いずれの地計量も100m グリッドまでは 50m グリッドの地計量分布を保存しているが,これを 超えるグリッドサイズでは地計量の分布形状は異なってくるのがわかる.他の流域についても同様の結 果が得られており,本研究で対象とした4つの流域では100m グリッドを融雪量算定に最適なサイズと して採用した.

(3) 冬季間雨量の補正

本研究で採用した融雪流出モデルでは,冬季間の降水量を雨雪判別し,降雪として判断されたものを 積算し,流域内の積雪水量の分布を算定している.しかし,冬期間の降水量は雨量計の捕捉率が低く,特 に降雪量は過小評価されることが多い.このため,降雪時には次式の横山ら¹²⁾が提案している補正式を







図-6 融雪流出量の算定結果

使用した.

$$P_{cor} = P_{obs} \times (1 + m \cdot U) \tag{20}$$

ここで, P_{cor} は補正降水量 (mm), P_{obs} は観測降水量 (mm),mは測定器及び降水の固体・液体によって決まる係数,Uは風速 (m/s) である.

本研究では雨雪判断には気温を用い,2 以下の場合に降水量を降雪量と考え,式(20)より降水量の 補正を行なった.また,mの値としては 0.213 を採用した.

図-5は,鹿の子ダムを除く3流域について1997年から2001年の冬季間の降水量の補正を行なった結果である.図中の縦軸は流出高,横軸は降水量を示している.補正前では流出高に対して降水量が小さく現れていたものが,補正後には流出高と一致する傾向が見られ,冬季間雨量の補正の効果がわかる.

(4) 融雪流出量の算定結果

以上の方法により,本研究で対象とした流域に融雪流出モデルを適用し,融雪流出量を算定した結果 を図-6 に示す.ここで,図中のハイエトグラフに相当する部分は融雪モデルにより計算された流域平均 融雪量と観測雨量の和を表している.

図によると,各流域共に融雪最盛期の流出量をよく再現できており,本研究で採用した融雪流出モデ ルを北海道内の融雪流出計算に利用することが可能であることがわかる.ただし,特に融雪期間中に大 きな降雨があった場合については,実測流量と計算流量が大きく異なっている.これは本研究で使用し た融雪モデルが降雨による影響を考慮していないためである.降雨が発生した場合,降雨そのものによ る融雪量はそれほど大きくはならないものの,降雨が積雪層に与える影響が流出に大きく関与している と考えられる.このため,本研究で採用した融雪流出モデルを適用する際には,融雪期間中に大きな降 雨があった場合,再現性が低下することを念頭に置く必要がある.

4. 夜間融雪流出量の予測

前節のように計算された融雪量を流出モデルへの入力値として夜間の融雪流出量を推定する.本研究 で対象としている融雪最盛期の17時以降の夜間融雪流出量は,17時の時点でほぼ計算可能な融雪量で 構成されていると考えてよい.また,融雪最盛期では,流域全体が積雪に覆われていることが多く,融 雪水が連続的に入力されるため,流出特性が極端に変動することは少ないと考えられる.

このような観点から,予測日直近の融雪量から実測流量を再現できるように同定した流出モデルのパ ラメータを予測日当日においても変動がないものと考え,そこで得られたモデルパラメータを使用し, 予測日当日融雪量から夜間融雪流出量を予測することが可能と考えられる.なお,予測を行なう際,予 測の計算に使用する融雪量は,予測日当日の17時までを既知と考え,それ以降の融雪量を0として,夜 間融雪流出量(翌日9時までの融雪流出量)の算定を行なう.

(1) 融雪流出量予測の手順

融雪流出量予測は以下の手順で行なう.

- 1. 気象データを融雪モデルに適用し,当日17時までの融雪量を算定する.
- 2. 計算された融雪量と予測パラメータを使用し,流出モデルに適用し,翌日9時までの融雪流出量 を求める.

夜間流出量の予測は,定山渓ダムの1996年,1999年,2000年融雪期を対象とした.これは,これ以外のダム流域では,流入量の実測値にノイズが多く,短期間の資料を使って流出モデルのパラメータ同定 を行うことは適切ではないと判断したためである.また,本研究で対象とした各年度から定山渓ダムの 1996年,1999年,2000年の融雪最盛期のハイドログラフを図-7に示す.

(2) 予測期間の流出モデルのパラメータの設定

実用的に夜間融雪流出量の予測を行なうためには,融雪最盛期で同一のモデルパラメータであることが望ましい.しかし,本研究では,流域平均融雪量を用いて融雪流出量を算定しているため,融雪量の空間分布の影響や融雪量の算定誤差は流出モデルのパラメータに含まれることになる.このため,予測 日直近の洪水データを用いてモデルパラメータを更新しながら予測を進める方法も考えられる.このような観点から,本研究では,

1. ある年の融雪最盛期で同定したパラメータを融雪最盛期の固定パラメータとした場合



図-7 融雪最盛期のハイドログラフ (定山渓ダム):上から 1996 年融雪期,1999 年融雪期,2000 年融雪期

| 期間 | C1 | C2 | C3 |
|-------------------------|---------|--------|--------|
| 1996/04/24 ~ 05/01 | 14.0689 | 0.1235 | 1.0074 |
| $1996/05/27 \sim 05/30$ | 32.4182 | 0.0654 | 1.4336 |
| $1999/04/23 \sim 04/27$ | 10.8045 | 0.1638 | 1.1734 |
| $1999/05/08 \sim 05/12$ | 15.5479 | 0.1005 | 1.4488 |
| $2000/05/05 \sim 05/10$ | 27.9079 | 0.0482 | 1.0936 |
| $2000/05/16 \sim 05/19$ | 19.6376 | 0.0736 | 1.1977 |

表-2 融雪最盛期のパラメータの同定



|図-8 定山渓ダムにおける融雪流出量の予測結果 (1)1996 年融雪期

2. 予測計算開始日より3日前までのデータでパラメータを更新する場合(以降, 3days」と記す.)

3. 予測計算開始日より5日前までのデータでパラメータを更新する場合(以降, 5days」と記す.)

について,融雪流出量を再現し,比較検討を行なった.なお,融雪最盛期の固定パラメータは以下の手順で決定した.

1. 融雪最盛期において,融雪流出量の波形がもっとも良く現れている期間を選定する.

2. それぞれの期間の洪水データで融雪流出量を再現し,流出モデルのパラメータを同定する.

3. それぞれの期間のパラメータセットを用いて,互いの期間の融雪流出量を再現する.

4. その中でもっとも再現性がパラメータセットをその流域の融雪最盛期の固定パラメータとする. 以上の手順に従い,定山渓ダムでは,図-7に示す融雪最盛期から固定パラメータを選定した.融雪最 盛期の固定パラメータの選定を行なった期間及びモデルパラメータを表-2に示す.これらのパラメータ セットを用いて他の期間の融雪流出の再現計算を行ったところ,1996年4月24日~5月1日の期間で同 定したモデルパラメータが他の期間の融雪流出に対してもよく実測値を再現できたことから,これを融 雪最盛期の固定パラメータとした(以降,「固定パラメータ」と記す).

(3) 夜間融雪流出量の予測結果

3days,5days,固定パラメータの3つの方法により,夜間融雪流出量を推定した.その結果を図-8~ 図-10に示す.図によれば,いずれの期間とも直近のパラメータによる予測は融雪最盛期初期・あるい は第2の融雪最盛期初期のハイドログラフをうまく予測できていないことがわかる.これは,パラメー タの同定期間が融雪流出の小さい時期を含むことにより,適切なパラメータが同定されないためと考え られる.しかし,融雪最盛期後期に入ってくると,3daysの同定期間で計算した場合が最もよく予測で きている.一方,固定パラメータによる予測は,局所的な精度は落ちるが,全期間を通じて予測はでき



図-9 定山渓ダムにおける融雪流出量の予測結果 (2)1999 年融雪期



図-10 定山渓ダムにおける融雪流出量の予測結果 (3)2000 年融雪期

ていることがわかる.

また,融雪期のダム管理を行なう際,夜間のピーク流量がもっとも重要になる.図-11 は夜間の実測 流量と計算流量のピーク流量の関係を示したものである.図を見ると,両者のピーク流量との間には多 少の差異が見られるが,全体としては実測値とよく一致しており,ピーク流量の予測は可能であるとい える.

5. おわりに

本研究では,融雪最盛期の流入量予測の基本モデルとなる融雪流出モデルについて,その汎用性を検 討するとともに,夜間融雪流出量の予測も行なった.融雪モデルの汎用性については,北海道内の流域 面積 100km² 程度のダム流域に適用した.この結果,冬季間の降雪量補正を行なうことにより,ダム管理 所で得られている気象データのみを使用して融雪最盛期の流出量を再現できることを確認した.しかし ながら,特に融雪期間中に大きな降雨があった場合については,実測流量と計算流量が大きく異なるこ とを確認している.また,夜間融雪流出量の予測については,流出モデルの予測パラメータとして,融 雪最盛期の固定パラメータと,直近の洪水データを用いた 3 days,5 days のパラメータを使用して予測 を行なった.この結果,融雪最盛期の初期においては,融雪最盛期の固定パラメータを,融雪最盛期か ら後半にかけては,3 days のパラメータを使用することが望ましい.さらに,より実用的な予測を行な



図-11 実測流量と計算流量のピーク流量の比較

うためにはパラメータの同定を行なう際,同定期間の内,融雪による流出が明らかに小さく現れている 洪水データは同定期間として除外するなどの工夫が必要である.

本研究で適用した融雪流出モデルは,流域融雪モデルと流出モデルから構成されている.このうち流 出モデルは「損失を含む貯留関数」で既に広く公開されているため,これを用いればよい.本研究で作 成した流域融雪モデルのプログラム(本報告の第2節,第3節部分)は既に簡単なマニュアルとともに整 備しており,配布可能である.このプログラムでは既存の流出モデルと組み合わせて,融雪流出計算な どに利用することが可能である.

謝辞: 本研究は財団法人北海道河川防災研究センター平成18年度研究助成「豪雪地帯における貯水 池の融雪流入予測に関する研究」(研究代表者:八田茂実)の援助を受けました.本研究の遂行にあたり, 北海道開発局からは水文資料及び融雪観測関連資料の提供を受けました.本校専攻科滝本慎二君(当時) にはデータ整理に際して多くの協力を頂きました.また,北海道河川防災研究センター前研究所長星清 氏からは研究の機会を頂くとともに,貴重なご助言を賜りました.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) 丹羽薫・盛谷明弘,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,2826,1990.
- 2) 中村睦男,雪氷調査法,142-151,北海道大学図書刊行会,1991.
- 3) 山崎剛・田口文明・近藤純正,積雪のある森林小流域における熱収支の評価,水文・水資源学会誌,44,71-77, 1994.
- 4) 八田茂実・西村哲治・藤田睦博,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,48,479-482,1992.
- 5) 太田岳史,森林内外における積雪面上の純放射量の推定と表層融雪量,水文・水資源学会学会誌,5(4),19-26, 1992.
- 6) 近藤純正,水環境の気象学,朝倉書店,1987.
- 7) 山崎剛・田口文明・近藤純正,積雪のある森林小流域における熱収支の評価,天気,41,71-77,1994.
- 8) 小池俊雄・高橋裕・吉野昭一,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,357,159-165,1985.
- 9) 北海道河川防災研究センター研究所,実践流出解析ゼミ [講義テキスト編],2006.
- 10) 北海道開発土木研究所河川研究室・北海道河川防災研究センター研究所,対話式洪水流出計算マニュアル, 2005.
- 11) 国土交通省北海道開発局建設部河川計画課・北海道河川防災研究センター研究所,単一流域を対象とした貯 留関数法の精度比較,2002.
- 12) 横山宏太郎・小南靖弘・川方俊和・大野宏之・井上聡,冬季降水量に対する捕捉損失補正方式の検討,2003 年度日本雪氷学会講演予稿集,52,2004.