

## II-47

## 融雪の分布特性を考慮した流域積雪水量の推定

苫小牧工業高等専門学校 ○正会員 八田茂実  
 専修大学北海道短期大学 正会員 山梨光嗣

## 1 はじめに

融雪の進行に伴い減少する積雪水量は、長期的なダムの流入予測や、融雪洪水の予測を行う上で重要な情報となる。融雪期間中の積雪水量を推定する方法としては、これまでに多くのものが提案されているが(例えば、小池ら<sup>1)</sup>、秀島ら<sup>2)</sup>など)、(1)融雪期間中の積雪面積率から推定するものと、(2)推定時点までの総融雪量を計算して初期積雪水量から差し引くものとに分類できる。それぞれ一長一短を持っているが、対象とする流域が大きくなってくると、リアルタイムな融雪量の算定を必要としない(1)の方法が有利になる。しかしながら、これまでに提案されている(1)に分類される方法は、積雪水量の初期分布のみに注目したものが多く、流域の地形特性によって大きく変動する融雪量の分布に関して考慮されていないのが現状である。

本研究では、融雪量の分布特性を踏まえ、積雪面積率を観測することにより流域積雪水量を簡便に推定する方法を検討する。

## 2 使用した融雪モデル

融雪現象は、日射・気温・降雨等の気象因子のみならず、積雪の位置している斜面の方位・勾配・標高などの地形的な因子の影響も大きい。本研究では、これまでに流域内の融雪量分布を精度良く推定できることが確認されている<sup>3)</sup>、地形情報とAMeDAS気象情報を用いた以下のような分布型融雪モデルを利用する。

$$M_{cat} = M_R + M_d + M_p \quad (1)$$

ここで、 $M_R$ 、 $M_d$ 、 $M_p$ はそれぞれ、放射収支・顕熱・降雨による融雪量を表している。放射収支による融雪量は、短波長放射収支 $M_{sw}$ 、下向きおよび上向きの長波長放射 $M_{tw \downarrow}$ 、 $M_{tw \uparrow}$ から構成され

ている。これらの成分は次式のようにモデル化されている。

$$\begin{aligned} M_R &= M_{sw} + M_{tw \downarrow} + M_{tw \uparrow} \\ M_{sw} &= (1 - ref)I \cdot S_N / L_m \\ M_{tw \downarrow} &= (1 + 0.2(1 - C_c)) \\ &\quad \times (0.51 + 0.66\sqrt{e})\sigma(T_a + 273)^4 / L_m \\ M_{tw \uparrow} &= \epsilon\sigma(T_0 + 273)^4 / L_m \\ M_d &= k \times d.h. \\ M_p &= \frac{pT_a}{238.8L_m} \end{aligned}$$

ただし、

$$T_0 = \begin{cases} 1.13T_a - 1.67 & (T_a < 1.47) \\ 0.0 & (T_a \geq 1.47) \end{cases}$$

である。

ここで、 $ref$ はアルベド、 $I$ は日射量、 $L_m$ は融解潜熱、 $d.h$ はdegree-hour( $^{\circ}C \cdot hr$ )、 $C_c$ は晴天率、 $\epsilon$ は雪面の射出率、 $e$ は蒸気圧(hPa)、 $\sigma$ はステファン・ボルツマン定数、 $T_a$ 、 $T_0$ はそれぞれ気温、雪面温度で、気温は積雪の存在する地点の標高によって決定される。 $S_N$ は受光係数と呼ばれる短波長放射収支の斜面の効果を表す指標であり、斜面の勾配 $\alpha$ (南向きを正、北向きを負とする)、斜面の向き $\chi$ (真北・真南からの角度)、太陽高度 $\lambda$ を用いて、次式のように表わされる。

$$S_N = \cos \alpha + \frac{\sin \alpha \cos \chi}{\tan \lambda} \quad (2)$$

以上のように、採用した融雪モデルでは、標高の効果は気温に、斜面向きと斜面勾配の効果は受光係数として短波長放射収支に反映されことになる。

## 3 数値実験の概要と結果

## (1) 数値実験の概要

本研究では、先に示した融雪モデルと流域内の初期積雪水量を用いて、積雪域を算定する。具体

Estimation of basin-wide snow water equivalent considering snowmelt distribution  
 by Shigemi HATTA and Mitsunori YAMANASHI

表-1 数値実験に用いた積雪水量の高度分布係数

runNo.	a(mm/m)	b(mm)	runNo.	a(mm/m)	b(mm)	runNo.	a(mm/m)	b(mm)
a0b0	0.5	0	a1b0	1.0	0	a2b0	2.0	0
a0b1		200	a1b1		200	a2b1		200
a0b2		400	a1b2		400	a2b2		400
a0b3		800	a1b3		800	a2b3		800

的には、対象流域のグリッド型数値地図を作成し、グリッド交点の地形特性（標高・受光係数）を算定して各交点に初期積雪水量を与えた後、流域内の各地点の融雪量の総和が当該地点の初期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判定を行った。

積雪水量は、様々な地形の影響を受け水平的に大きく分布するが<sup>4)</sup>、全体としては標高に対してほぼ直線的に増加することが知られている<sup>1, 5, 6)</sup>。本研究では、各交点の標高  $h$  における初期積雪水量  $SWE(h)$  を次式で与えた。

$$SWE(h) = ah + b \quad (3)$$

ここで、 $a$  は積雪水量の高度分布を表す係数、 $b$  は流域内の積雪水量の最小値である。

数値実験では、これまでの調査結果を参考にし、 $a, b$  の値を表-1のように設定し、AMeDASの1990～1997年の融雪期（春分以降）の気象情報を与えて、融雪量を求め、積雪域の推定を行った。数値実験の対象とした流域は、美唄市光珠内に位置する間の沢川流域で、流域面積が2.26km<sup>2</sup>、流域の高度分布が80～380mである。流域は主として北向き・南向きの2斜面から構成されている。

## (2) 数値実験の結果

山地流域における融雪期の積雪水量の分布は、初期積雪水量と融雪量の分布によって定まる。このため、融雪期の積雪面積率や積雪域も初期積雪水量と融雪熱量の構成により変動すると考えられる。

図-1, 2は初期積雪水量を変化させた場合の積雪水量と積雪面積率の関係を示している。初期積雪水量の高度分布を表す係数  $a$  を変化させた場合に積雪水量と積雪面積率が大きく変化することは、小池ら<sup>1)</sup>によって既にモデル化されている。一方、最低水量  $b$  を変化させた場合にも積雪水量と積雪面積率が変化している。これは初期積雪水量が同一の地点でも、地形特性が異なるため融雪量に差異が生じてくるためで、積雪水量が大きくなるほ

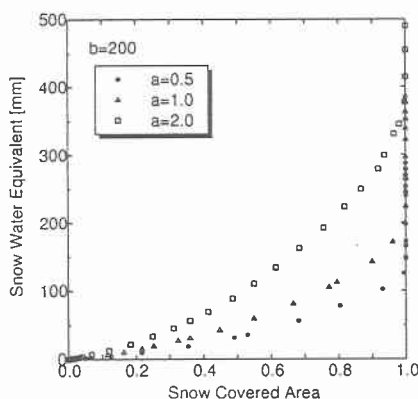


図-1 初期積雪水量分布による積雪水量と積雪面積率の関係の変化の一例（1997年、 $b=200\text{mm}$ ）

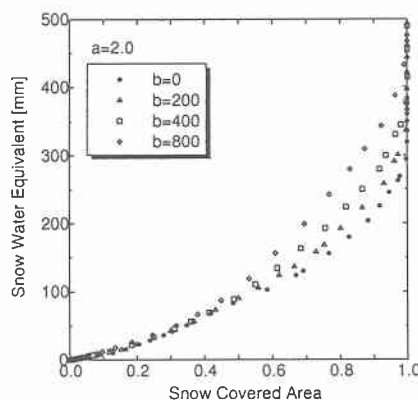


図-2 初期積雪水量分布による積雪水量と積雪面積率の関係の変化の一例（1997年、 $a=2.0\text{mm/m}$ ）

どこの影響が顕著に現れる。図-3は、各年の春分以降を融雪期として、積雪水量と積雪面積率の関係を示したものである。各年度によって若干のバラツキは見られるが、年度ごとの融雪熱量の差異は積雪水量と積雪面積率の関係に大きな影響を与えていない。このため、積雪水量と積雪面積率の関係は初期積雪水量のみで決定されると言える。

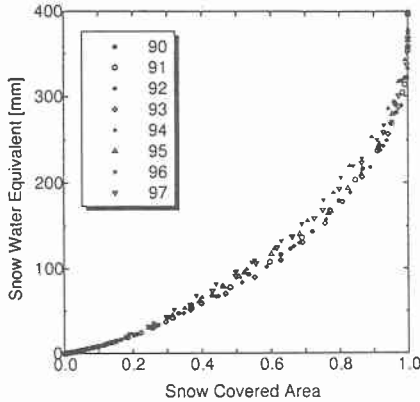


図-3 積雪水量と積雪面積率の関係の経年変化 (run-No.a2b1)

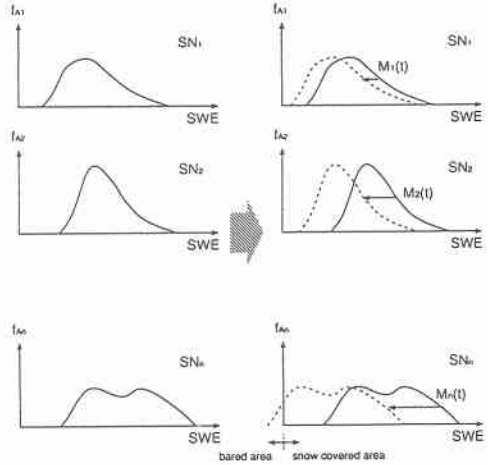


図-4 積雪水量・積雪域の推定方法

#### 4 積雪面積率・積雪域の推定

初期積雪水量の分布が一定であれば、積雪面積率と積雪水量の関係は融雪期間の気象条件の影響は小さく、ほぼ一定になることが確認された。小池ら<sup>1)</sup>や山田ら<sup>2)</sup>の調査結果によれば、流域全体が融雪状態になると、融雪量の標高依存性は見られず、同じ斜面特性を持つ地域であれば、融雪量はほぼ一定になると報告されている。これは、全融雪熱量に占める放射収支の割合が大きく、標高による気温の低減効果の融雪に与える影響が相対的に小さくなることを示している。このため、各標高帯で斜面特性の分布が同程度であれば、積雪面積率と積雪水量の関係は積雪水量の高度分布特性を表す係数  $a$  のみで決定できることになる。しかしながら、実際の流域では各標高帯毎に斜面特性の分布は異なっており、先に行った数値実験の結果の様に積雪水量の大・小によってその影響が大きく現れるか否かによって、積雪面積率と積雪水量の関係が変動することになる。

本研究で採用している融雪モデルでは、放射収支に直接影響を与える地形量として受光係数  $S_N$  を用いている。融雪期には、標高による気温の低減効果の影響が小さいものと考え、同一の受光係数帯では標高に係わず、融雪量は一定と考えることができる。つまり、図-4の様に受光係数帯  $i$  で、初期積雪水量の分布  $f_{Ai}(s)$  を予め求めておくと、融雪開始  $T$  時間後の積雪面積率  $SCA_i(T)$  と積雪水量  $SWE_i(T)$  は受光係数帯に見合う融雪量  $M_i(T)$  を推定することにより、次式より求める

ことができる。

$$SCA_i(T) = \int_{M_i(T)}^{\infty} f_{Ai}(s) ds \quad (4)$$

$$SWE_i(T) = \int_{M_i(T)}^{\infty} f_{Ai}(s)(s - M_i(T)) ds \quad (5)$$

$$= \int_{M_i(T)}^{\infty} s f_{Ai}(s) ds - M_i(T) SCA_i(T)$$

ただし、 $\int_0^{\infty} f_{Ai}(s) ds$  は各受光係数帯の面積率である。

流域全体の積雪水量・積雪面積率は全ての受光係数帯の積雪水量・積雪面積率の和を求めると良い。ここで、融雪開始後  $T$  における各受光係数帯の融雪量を求める必要がある。図-5は、受光係数帯を0.05毎に区切って、平坦地 ( $SN=1$ ) の日融雪量に対する各受光係数帯の日融雪量の比  $k_i$  を表したものである。日照率が小さい場合には短波長放射収支成分が小さくなるためパラッキは大きくなるが、日照率が0.2以上であれば各受光係数帯の融雪量は平坦地の融雪量に対して一定の大きさとなってくる。よって、受光係数帯  $i$  の融雪量  $M_i$  は、図-5から平坦地 ( $SN=1$ ) の融雪量  $M_{SN=1}$  に対する受光係数帯の融雪量の比の平均値  $\bar{k}_i$  を求め、以下の式で推定することとした。

$$M_i = \bar{k}_i \times M_{SN=1} \quad (6)$$

$\bar{k}_i$  を求める際に、日照率が0.2未満の場合の融雪量を除いている。日照率が0.2未満となるのは、今回対象とした美瑛の AMeDAS 資料では全融雪期間の20%程度で、融雪期の日照率が小さい場合には

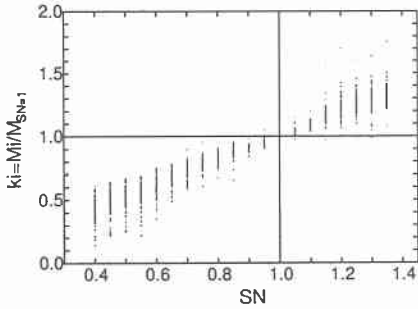


図-5 平坦地 (SN=1) の日融雪量に対する各受光係数における日融雪量の比, (日照率が0.2未満, 平坦地の日融雪量が0の場合を除く)

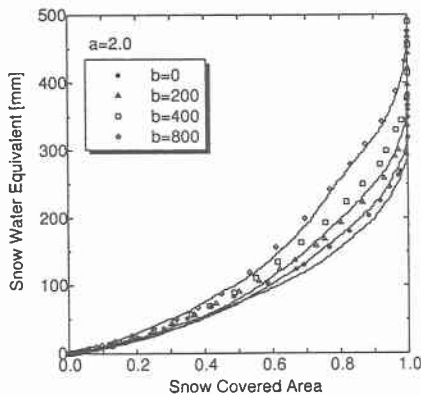


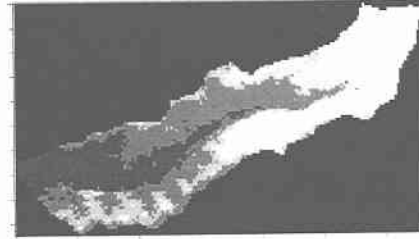
図-6 積雪面積率の推定結果の一例 (a=2.0mm/m) : 点はシミュレーションによる結果, 実線は式(4)~(6)による結果を示している

融雪量そのものがあまり大きくなりえないため, 日照率が0.2未満を除いて考えた場合でもその影響が大きくないものと推測される。

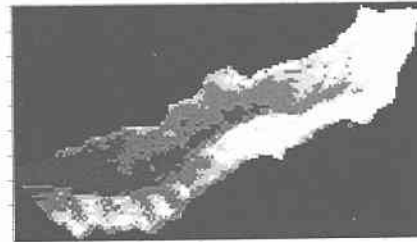
図-6は平坦地の融雪量として任意の値を与え, 式(4),(5)で計算した積雪面積率と積雪水量の関係を, 図-7は推定された無雪域を流域地図上に再配置して得られた積雪域の分布図を示している。初期積雪水量と融雪モデルから得られた積雪域の分布図とよく一致しており, 初期積雪水量分布が既知の下では, 本研究で示した方法によって気象情報を利用すること無く, 積雪面積率から積雪水量を簡便に推定することができる。

## 5 おわりに

今回示した方法では, 流域の地形特性と初期積雪水量の分布を与えることによって, 融雪量の分



(a) simulated



(b) calculated

図-7 積雪域の推定結果の一例 (runNo.a2b1) : 濃度の高い順にそれぞれ積雪面積率 80,50,30%の時の無雪域を表している

布特性を反映させた形で積雪面積率から流域積雪水量を推定することが可能である。また, 本研究で示した方法は任意の積雪面積率に対する積雪域の分布も推定できるため, 融雪流出解析を行う場合にも有用であると考えられる。

今後は, 実際の観測資料を用いてその適合性を検討するとともに, 融雪流出を集中定数的に取り扱うためのツールとして利用する予定である。

## 参考文献

- 1) 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, vol.357, pp.159-165, 1985.
- 2) 秀島好昭, 星清, 日融雪定数を使った山岳地初冬の積雪情報の観測法, 開発土木研究所月報, No.465, pp.2-12, 1992.
- 3) 八田茂実, 西村哲治, 嵯峨浩, 藤田睦博, 観音沢川流域における融雪流出解析, 土木学会北海道支部論文報告集, vol.49, pp.515-518, 1993.
- 4) 山口甲, 長谷川茂, 融雪流出の予知に関する研究, 北海道開発局土試験所報告, vol.64, pp.1-31, 1975.
- 5) 山田知充, 西村寛, 水津重雄, 若濱五郎, 大雪山の積雪水量分布, 低温科学物理篇, vol.38, pp.63-71, 1979.
- 6) 北海道電力株式会社, 貯水池の出水予測の精度向上に関する研究, 1992.