

八甲田山における積雪水量に関する研究*

八戸工業大学, 柿崎 志歩 佐々木 幹夫

1. はじめに

八甲田山に降り積もっている積雪層からの融雪水は地下に浸透し、地下水になり、7月までに青森県の東と西にある平野部の河川を潤している。川の水が飲料水やかんがい用水に利用されており、八甲田山の積雪層からの融雪水は、青森県において重要な水資源となっている。

八甲田山の雪質・積雪特性を調査することで河川への融雪水量を知ることが出来る。しかし、八甲田山の積雪水量については調査・研究例がなく、本研究が初めてである。八甲田山の積雪水量は、青森県において重要な水資源となっており、解明が急がれる。

2. 積雪特性の調査

積雪特性の調査地は、酸ヶ湯観測所とし、この地点における過去10年の積雪特性を調べた。積雪深の観測値は気象庁で公開されており、このデータを利用している。図1に2009年から2018年までの酸ヶ湯の積雪深を示した。図に示すように、2009年の積雪開始は11月5日、ピークは2010年2月21日、最大積雪深は同日に300cm、積雪終了は5月19日となっている。次に2012年の積雪開始は11月14日、ピークは2013年2月26日、最大積雪深は同日に566cm、積雪終了は6月5日であった。2015年の積雪開始は11月22日、ピークは2016年3月2日、最大積雪深は同日に323cm、積雪終了は5月13日であった。次に2016年の積雪開始は11月1日、ピークは2017年3月10日、最大積雪深は同日に383cm、積雪終了は5月22日であった。2017年の積雪開始は11月11日、ピークは2018年2月21日、最大積雪深は同日に429cm、積雪終了は5月19日であった。積雪は11月下旬から始まり、5月下旬に無くなっている。また、どの年もピークはだいたい2月下旬から3月上旬に迎えている。

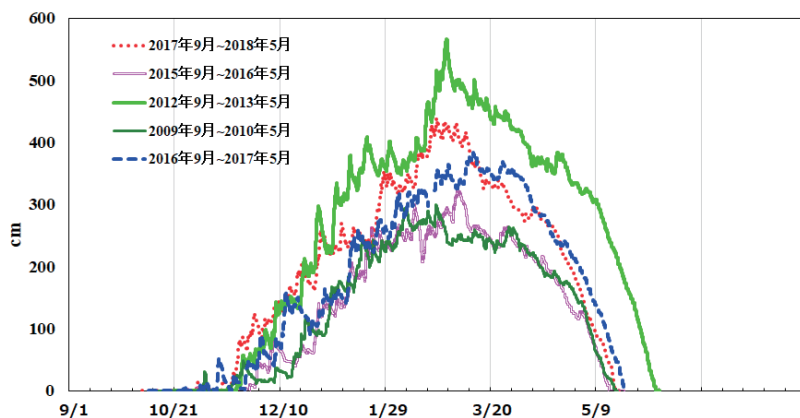


図1 八甲田山酸ヶ湯における積雪深

* Study on snow water on Hakkoda mountain by Shio Kakizaki and Mikio Sasaki

3. 積雪水量の予測

図1から積雪深は分かるが密度は不明のため積雪水量は分からない。そのため、八甲田山の水資源を明らかにするため、以下に示すように降水量と気温より積雪水量を積雪モデルおよび融雪モデルを用いて予測した。図2は積雪水量計算の流れを示している。

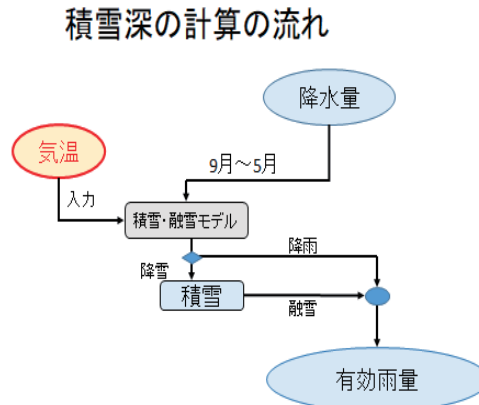


図2 積雪水量計算流れ

(1)降雪量モデル

降雪量 s は式(1)より次のように与えられる。

$$s = afr \quad \text{ここに} \quad a = \begin{cases} 0 & T \geq T_m \\ 1 & T \leq T_i \\ 1 - \frac{T-T_i}{T_m-T_i} & T_i \leq T \leq T_m \end{cases} \quad (1)$$

f : 高度上昇に伴い増加する降水量の係数

r : 降水量

T : 気温

降水量 s は、気温により雨になるか雪になるかの判定が必要である。 $T \geq T_m$ になると、降水は雨になる。ここに、 T は気温、 T_m は山域全体で降水が雨になる温度である。本研究では $T_m = 2^\circ\text{C}$ としている。また、 $T \leq T_i$ になると、気温が低くなり雪になる。ここに、 T_i は山域全体で降水が雪になる温度である。本研究では $T_i = 0^\circ\text{C}$ としている。 $T_i \leq T \leq T_m$ になると気温 T は 0°C から 2°C の間になり、 0°C に近くなると雪になる割合が高くなり、 2°C に近くなると雨になる割合が高くなる。

(2)融雪量モデル

融雪量 R_m は式(2)より次のように与えられる。

$$R_m = bcT \quad \text{ここに} \quad b = \begin{cases} 1 & T \geq T_m \\ 0 & T \leq T_i \\ 1 - \frac{T-T_i}{T_m-T_i} & T_i \leq T \leq T_m \end{cases} \quad (2)$$

融雪量 R_m は、温度 T に比例する。融雪係数 c は、 1°C 当たりどれくらい雪が融けるかを与える係数である。したがって、融雪係数 c が高ければ速く雪が融けることになる。式(2)における係数 b は雪が融けるかどうかを与える関数である。 $T \geq T_m$ になると温度が高くなり、雪が融ける。この時 $b = 1$ としている。また、 $T \leq T_i$ になると温度が低くなり、雪は融けない。この時、融雪は生じていないので $b = 0$ としている。 $T_i \leq T \leq T_m$ になると 0°C から 2°C の間になり、 0°C に近くなると雪は融けにくく、 2°C に近くなると雪は融けやすくなる。したがって、係数 b は気温 T の融雪への寄与率を表している。

(3)積雪深モデル

第 t 日目における積雪深 S_t は、その前日 $t-1$ 日目における積雪深 S_{t-1} に当日の降雪量 s_t を加え、当日の融雪量 R_{mt} を引いた深さとなる。よって積雪深 S_t は式(3)により与えられる。

$$S_t = S_{t-1} + s_t - R_{mt} \quad (3)$$

S_{t-1} : 第 $t-1$ 日目の積雪水量深

s_t : 式(1)より与えられる第 t 日目における降雪量

R_{mt} : 式(2)より与えられる第 t 日目における融雪量

ここに、添字 t および $t-1$ は第 t 日目および第 $t-1$ 日目の意味である。 S_t は t 日目の積雪水量深を表す。

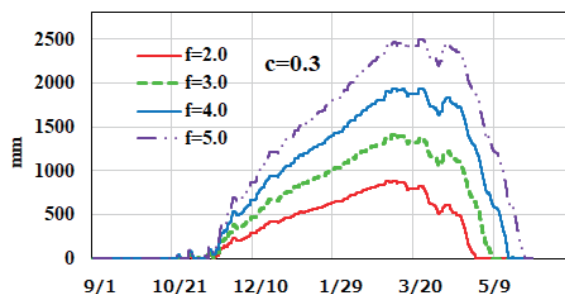


図3 2018年の積雪水量の予測,融雪係数 $c=0.3$

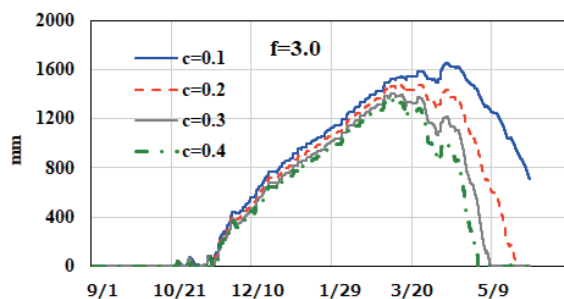


図4 2018年の積雪水量深の予測,降雪量係数 $f=3.0$

図3と図4は降水量係数 f と融雪係数 c をそれぞれ固定して求めた積雪水量の予測結果を示している。図3は融雪係数 $c=0.3$ とし、降水量係数を2~5で与えた場合の積雪水量の予測結果で

あり,図 3 に示すように降水量係数 f の値が大きいと積雪量が多くなるため,遅くまで雪が残る。図 4 は降水量係数 $f=0.3$ とし,融雪量係数 c を $0.1\sim 0.4$ で与えた場合の積雪水量の計算結果であり,図 4 の融雪係数 c の値が大きいと気温の融雪への寄与率が高くなるため,雪が速く融ける。

4. 現地観測

・観測位置

調査地点は図 5 で示す通り八甲田ロープウェーから 3km 離れた箇所であり,徒歩により移動した。

今回 2018 年 4 月 21 日は北八甲田に調査地点を設け測定を行った。調査箇所は北八甲田硫黄岳北側斜面にあり,東京座標では $N40^{\circ}38'47.6''$, $E140^{\circ}52'53.2''$ となっている。



図 5 八甲田山位置

5. 観測方法

前述のように観測は南八甲田山中か北八甲田山中において行ってきたが,今年は北八甲田山中にて行った(図 5)。測定は 2018 年 4 月 21 日に行い,天候は晴れ,標高は 1220m 観測対象の積雪面は鉛直に掘り,密度の測定を行った。観測積雪層厚は雪層の地面近く,低木草上端までの深さ 2m 程度としており,今回は 2.5m まで観測を行った。観測鉛直雪壁の製作には毎年 2 時間程度の時間を要している。今年も隔雪凍結が生じる気温上昇低下があり,幾つか氷の厚い層ができていた。下層は例年と同じく硬い雪の層となっており,鉄製のスコップでないと観測鉛直積雪面の成形は不可能であった。観測鉛直雪面の製作後,密度の測定を行っている。

密度の測定はおおよそ 40cm^3 の容器に入った雪の質量を測定し,密度を算定している。融雪期の自然の状態の雪の密度であり,乾燥密度でもなく,また湿潤密度でもない。

図 6 に密度の測定結果を示した。図 6 は 2017 年(○)と 2018 年の同一深さでの 3 回測定値の平均を示している。図より以下のことが言える。

2017 年は深さ 25cm や 125cm で急に密度が上昇している。これは気温が上昇と下降を繰り返す,氷の層にぶつかった為である。表層を除けば積雪層は融雪期の末期であったことが言える。

2018 年は深さ 10cm のところで急に密度が上昇している。これは 2017 年と同様に気温の上昇と下降が繰り返した為,10cm のところで硬い氷の層が出来たと考えられる。

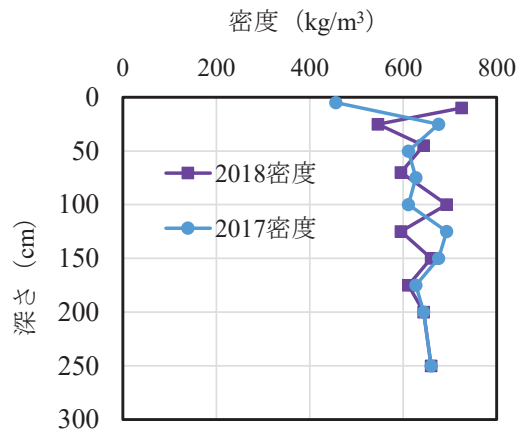


図 6 密度の測定結果

6. 積雪水量予測と観測積雪水量

図7に2017年の積雪水量予測と観測積雪水量を示した。式(1)における降雪量係数 f および融雪係数 c は、 $f=4.1, c=0.26$ と設定した。観測積雪深は平均密度と積雪深（酸ヶ湯）の観測値 235cm（2017年4月22日）より求めている。

ここに平均密度 ρ は次のように求めている。

$$\rho = (5 \times 456 + 20 \times 676 + 25 \times 611 + 25 \times 627 + 25 \times 693 + 25 \times 676 + 25 \times 627 + 25 \times 644 + 50 \times 660) / 250 = 644 \text{ kg/m}^3$$

上記の平均密度の計算において、積雪層の厚さは 250cm、上層から 5cm の密度は 456 kg/m^3 、次の 20cm の密度が 676 kg/m^3 、以下その下層 25cm 毎の密度が 611, 627, 693, 676, 627, 644, 660 kg/m^3 となっていることより平均密度 ρ を求めている。

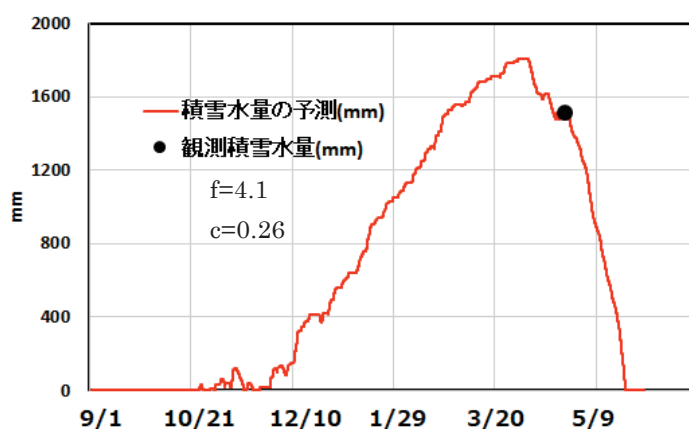


図7 積雪水量の予測と観測積雪水量 ●（2017年4月22日）

水換算の積雪深水量観測値 S_t を 2017年4月22日においては次のように求めている。

$$S_t = 2350 \text{ mm} \times 0.644 = 1513 \text{ mm}$$

図7の $f=4.1, c=0.26$ は計算値が観測値と一致している。図示してないが、積雪が 0cm になっている日も積雪水量予測結果と、観測積雪深とが一致している。

図8に2018年の積雪水量予測と観測積雪水量を示した。式(1)における降雪量係数 f および融雪係数 c は、 $f=3.6, c=0.28$ と設定した。観測積雪深は平均密度と積雪深（酸ヶ湯）の観測値 230cm（2018年4月21日）より求めている。

ここに平均密度 ρ は次のように求めている。

$$\rho = (10 \times 725 + 15 \times 546 + 20 \times 644 + 25 \times 595 + 30 \times 693 + 25 \times 595 + 25 \times 660 + 25 \times 611 + 25 \times 644 + 50 \times 660) / 250 = 639 \text{ kg/m}^3$$

上記の平均密度の計算において、積雪層の厚さは 250cm、上層から 10cm の密度は 725 kg/m^3 、次の 15cm の密度が 546 kg/m^3 、以下その下層 25cm 毎の密度が 644, 595, 693, 595, 660, 611, 644, 660 kg/m^3 となっていることより平均密度 ρ を求めている。

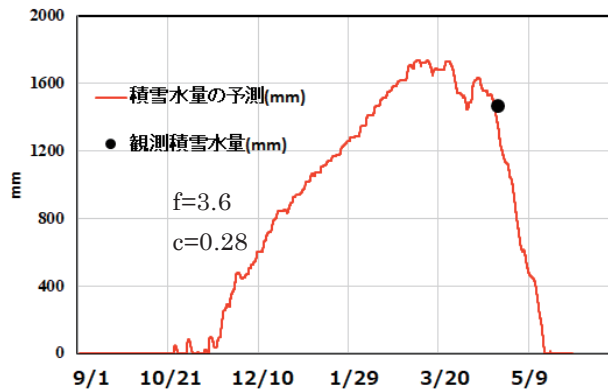


図8 積雪水量の予測と観測積雪水量 ● (2018年4月21日)

水換算の積雪深水量予測 S_{ot} を2018年4月21日時点で次のように求めている。

$$S_{ot} = 2300\text{mm} \times 0.639 = 1469.7\text{mm}$$

2017年の $f=4.1, c=0.26$ と2018年の $f=3.6, c=0.28$ について、これらの係数の途中経過は図示していないが、以下のように調整して決定している。2018年の係数を2017年の係数 $f=4.1, c=0.26$ にすると、積雪水量が4月21日時点で1870.9mm大きくなっている。これが観測値と一致するのが $f=3.9, c=0.286$ である。しかし $f=3.9, c=0.286$ にすると、積雪終了時期が5月25日になり計算値と6日ずれる。また、5月19日に積雪は終了するが予測値は5月25日になるので、 $f=3.6, c=0.28$ とすると積雪終了が5月19日になり、計算値が観測値と一致する。

7. まとめ

本研究により以下のことが明らかとなった。

- ①積雪は11月下旬から始まり5月下旬に0になる。
- ②積雪のピークは2月下旬から3月上旬に迎えている。最積雪深は2010年に300cm,2013年に566cm,2016年に323cm,2017年に383cm,2018年に429cmとなっている。最大積雪深は300~600cmになる。
- ③降水量係数 f が大きくなると降雪量が多くなり、遅くまで雪が残る。2017年は $f=4.1$,2018年は $f=3.6$ となり f の値は3.6~4.1となった。
- ④融雪係数 c が大きいと、雪が速く融ける。2017年は $c=0.26$,2018年は $c=0.28$ となり c の値は0.26~0.28となった。

雪・融雪モデルを使用すれば、山の残雪の正確な水量を算定することが可能になると考える。

参考文献

- (1)水本涼太,佐々木幹夫：八甲田山積雪特性,東北地域災害科学研究,vol.54,2017,pp.155-160.