

八甲田山積雪特性*

八戸工業大学 水本涼太

八戸工業大学 佐々木幹夫

1. はじめに

八甲田山の雪質、積雪特性を調査することにより7月までに流れる河川の水量について知ることができる。東北地方および北海道において山の雪は地下水を涵養し4月～7月に飲用水やかんがい用水に利用される為、残雪からの融雪水は水資源として重要となっている。しかし、山に残る雪の密度、保水量、硬度、透水性など積雪特性については未解明な点が多く、解明が急がれる。



図1 八甲田山位置図

2. 観測位置

調査は青森県のほぼ中央に位置する八甲田山の山中において実施している。八甲田には八甲田山という単独峰(山)は存在せず、18の成層火山や溶岩円頂丘で構成される火山群の総称である。八甲田は笠松峠(標高1,040m)を超える道路により南北に分けられており、国道103号・国道394号の重複道路を境に北側が北八甲田、南側が南八甲田と呼ばれている。図1に八甲田の位置図を示した。調査は北八甲田や



図2 調査地点 ○は観測地点

南八甲田に測定地点を設けて行ってきたが、調査地点まで2時間から5時間かけて山中を歩き測定を行っている。基本的に南八甲田は徒歩により調査地点に辿り着いているが、北八甲田にはロープウェイがあるのでこれを利用して調査を行っている。しかし、強風時にはロープウェイは運休となるため、その場合は調査地点に近い道路から徒歩での移動となる。今回2017年4月22日は北八甲田に調査地点を設け測定を行った。調査地点は図2で示す通り八甲田ロープウェイから3km離れた箇所であり、徒歩により移動した。スキーでも移動可能な為多くの調査隊員はスキーを利用しての移動

*Snow characteristics in Hakkoda mountain terrain by Mizumoto Ryota and Sasaki Mikio

となった。調査箇所は北八甲田赤倉岳北側斜面下にあり、東京座標では N40° 40′ 44.4″、E140° 53′ 21.3″ となっている。(表 1 参照)

3. 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(写真 1)。測定は 2017 年 4 月 22 日 13 時から 16 時に行い、天候は晴れ、標高は 1063m 地点である。観測対象の積雪面は写真 1 に示すように鉛直に掘り、密度、保水量、硬度、透水性の測定を行った。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 1 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整形は不可能であった。観測鉛直雪面の製作後、密度を測定し、硬度、雪の保水量並びに浸透能の測定を行っている。保水能力は密度測定後に 0 度近くまで冷やした水に雪塊を浸透させ、十分水中に浸かった後に取り出し、水を切り、水を内部に含み水滴が落ちない程度になった雪塊の質量を測定し、保水量を算定した。積雪特性については酸ヶ湯の過去 10 年の気温、降水量、積雪量をダウンロードする。そして降雪量、融雪量等を求め特性を明らかにする。



写真 1 雪質測定

4. 観測結果

(1) 密度

表 2 に観測結果を示した。表において深さ 150cm での観測において、湿潤密度が 1067kg/m³ となり、最大値を超えているので最大 970kg/cm³ と補正している。ここに、比重 0.97 は流雪溝の実験において、密度 0.2g/cm³ の雪塊を水中に置き、湿潤後に測ったとき水を含んだ雪の密度が 0.97g/cm³ であったことにより、最大値はその程度になるものとしている。表より、下層 2m の密度が大きくなっているが雪の自重により下層が圧雪されるためだと考えられる。表を見ると保水能力と密度が関係あるように見えるが 250cm で密度が高いのに対して保水能が 300 以下であるため、保水能と密度に関係ないようである。この保水能の測定は雪塊を浸潤させ、十分水を吸わせ、水中から取り上げ、水が雪塊から滴り落ちない程度まで水を雪塊内部に保水させた状態のことで、重力により水が雪塊から落ち切っ

表 1 測定地点と天候

調査日時	2017 年 4 月 22 日(土)	
測定地点	北八甲田山中赤倉岳北側斜面下	
座標	N40° 40′ 44.4″	E140° 53′ 21.3″
天候	気温 -1℃ 晴れ	
標高	1063m	

た状態の密度であり、雪塊が表面張力により水を内部に保有している状態を意味している。したがって、雪がしまり雪のようにクラスター同士の隙間が狭ければ多くの水を保有できることを意味している。表層はザラメ雪の雪層なので密度が大きくても保水能力は小さい。これは間隙が大きいので表面張力が働きにくくなっているからである。ガラスの細管は表面張力の作用で毛管高が大きく、太い管は毛管高が小さいのと同じである。

図 3 に密度の測定結果を示した。

図より以下のことが言える。深さ 25cm や 150cm で急に密度が上がる。これは気温上昇により表層が解け、気温低下により固まり、そのように雪が降り、この工程でできた氷のような硬い雪の層にぶつかった為である。表層を除けば、25cm 以降密度が 600 に近く、積雪層は融雪期の末期に入りつつあることを示している。密度の測定はおおよそ 40cm³ の容器に入った雪の質量を測定し密度を算定しており、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。表層から 50cm 程度までの上層の積雪層はザラメ状の雪となっており、硬さはなく、掘削時にはスコップが入りやすい硬さとなっている。25cm 以降、だいたい 600kg/m³ から 650 kg/m³ となっている。最小値は深さ 5cm の 456kg/m³ で最大値は深さ 125cm の 693kg/m³ となっている。密度の最小および最大は深さに関係していない。この層の雪は硬く掘削時にはスコップが簡単には雪の中に入らず、観測雪面を鉛直に作り出すのに時間と労力が必要となってくる。毎年、深さ 2m 程度の観測雪面を作り出すために鉄製のスコップ 2 丁でおおよそ 2 時間かけて雪を掘っている。時間がかかっているのは前述の中層及び下層の雪の硬さのためと、深さが 2m と深いためである。4 月

表 2 測定結果 (2017 年 4 月 22 日、八甲田山)

深さ cm	密度 kg/m ³	保水能力 kg/m ³	湿潤密度 kg/m ³	硬度 Pa
0	—	—	—	—
5	456	126	583	37
25	676	212	888	823
50	611	285	896	322
75	627	293	921	219
100	611	318	929	430
125	693	253	945	631
150	676	391	970	889
175	627	293	921	1711
200	644	301	945	1277
250	660	293	953	1950

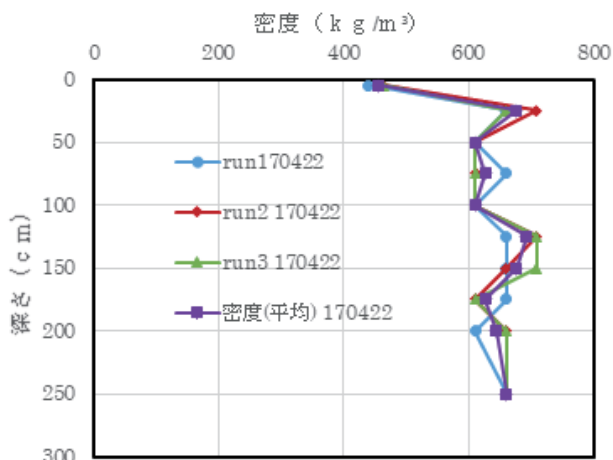


図 3 八甲田山積雪層の密度

の下旬で八甲田山中の積雪層は4~5mほどあった。

山の雪は西側斜面では早く解けて消失するが東側の斜面の雪は遅くまで残っている。これは外気温の影響で西側斜面の外気は午後も暖められ東側斜面より気温の高い状態が続くために西側斜面の融雪が早く進むことに起因していると考えられる。雪の密度は12月積雪初期には $0.05\sim 0.1\text{g/cm}^3$ にあるが、これが1,2,3月と進むに従い、 $0.2, 0.3\text{g/cm}^3$ と大きくなり、4月上旬には 0.5g/cm^3

を超え、本格的な融雪期に入ると 0.5 から 0.6g/cm^3 の周りに変化する。暖冬が続けば4月上旬にも4月下旬の密度が見られ、寒い日が続けば 0.5g/cm^3 を下回る密度の時もある。

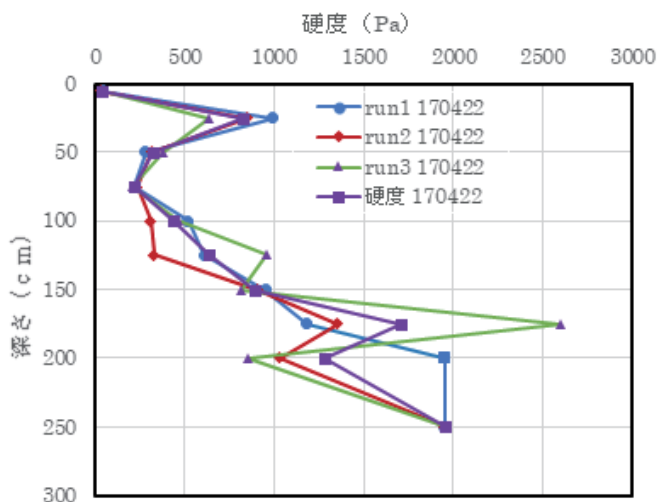


図4 八甲田山積雪層の硬度

(2) 硬度

図4に硬度の測定結果を示した。測定は直径14mmの円形板を垂直に一定の力で5cmほど雪層に押し込んだ時の最大垂直力をその雪層の硬度として単位面積当たりの力として算定している。深さ175cmの地点で極端に硬度が上がるのは前述のように気温上昇低下でできた硬い雪の層にぶつかったためである。それを除けば深さが増すにつれ徐々に硬度が上がっていくように見える。これは雪の自重により圧雪されるためだと考えられる。

5. 積雪特性

積雪特性を調べるため酸ヶ湯の積雪深を調べ、結果を図5に示した。図より、年々積雪のピークが遅くなっているように見える。それぞれピークは2009年には2月21日に331cm、2012年には2月26日に496cm、2016年には3月2日に323cm、2017年には3月10日に383cmとなっている。

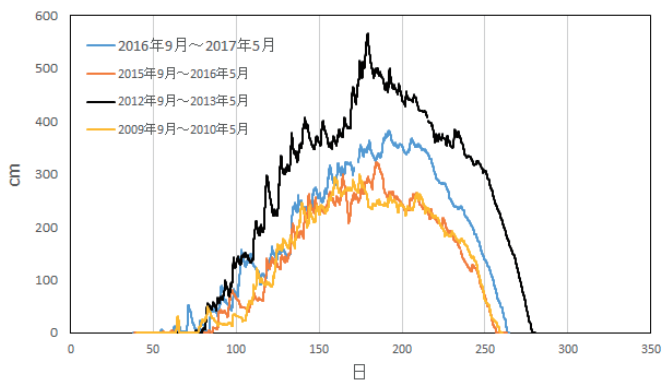


図5 観測積雪深 (気象庁観測酸ヶ湯)

6. 積雪深の予測

積雪深を予測する為、酸ヶ湯の気温と降水量を気象庁からダウンロードし、以下に示す積雪・融雪モデルを用いて、降水量および融雪量を求めてみた。降水量・融雪量の計算(図 6)は次のような積雪融雪モデルを用いている。

(1) 降雪量

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雪の量の係数

r : 降水量

T : 気温

T_i =流域内の降水が全て雪になる温度 (°C)

T_m =流域全体で雪が溶け出す温度 (°C)

T_i を 0°C、 T_m は 2°C に設定している。

(2) 融雪量

融雪量 R_m は式 (2) より次のように与えられる。

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

c : 気温上昇に伴う単位時間当たりの融雪量の割合を表す係数

(3) 積雪深

t 日における積雪深 S_t は式 (3) より次のように与えられる。

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

(4) 有効雨量

有効雨量 R_t は式 (4) により次のように与えられる。

$$R_t = R_{rt} + R_{mt}$$

ここに 降雪量 $s_t = afr_t$

$$\text{降雨量 } R_{rt} = (1 - a)r_t \quad (4)$$

積雪深の計算の流れ

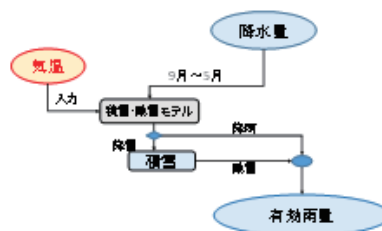


図 6 計算の流れ

$$\text{融雪量 } R_{m t} = \begin{cases} bcT_t \\ S_{t-1} & bc_t \geq S_{t-1} \end{cases} \quad (\text{残雪が全て融ける場合})$$

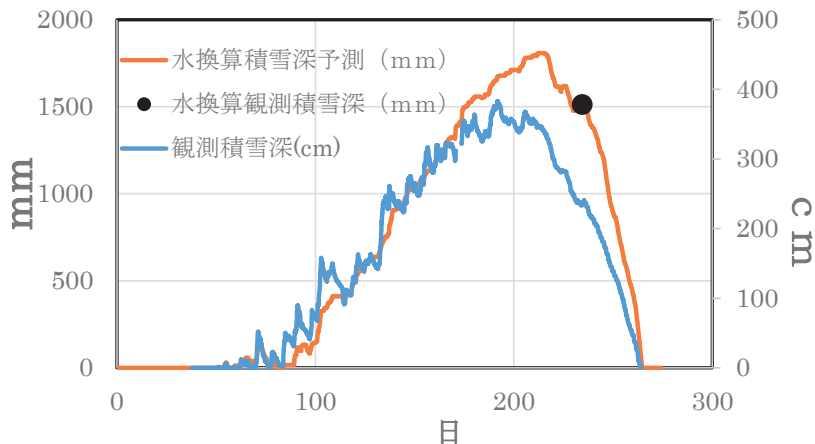


図7 水換算積雪深、水換算観測積雪深

図7に観測積雪深と水換算積雪深予測結果を示した。式(1)における高度上昇に伴い増加する雪の量の係数 f および式(2)における気温上昇に伴う単位時間当たりの融雪係数 c は、 $f=4.1$ 、 $c=0.26$ と設定した。これは予測値と観測積雪深(図中・印)ならびに、積雪の始めと終わりの時期が合うように調整した結果である。ここに図中・印を説明する。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 は表2より雪層厚を重みにして次のように求めている。

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

これより水換算の積雪深 S_t を次のように求めている。

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

図7より予測水換算積雪深は3月31日に1808mmと最大となっているのに対し、観測積雪深は3月10日に383cmと最大となっている。ピーク日の違いについては計算の精度を上げると解決される可能性がある。

7. まとめ

本研究で得られた結果として以下のことがあげられる。

- ①気温上昇低下が起きた為か時節硬い雪の層が出来ており、25cm、175cmで急に密度、硬度が上がるのはそのためである。
- ②硬度が徐々に上がるのは雪の自重により圧雪されたためである。
- ③八甲田山では雪は11月下旬から積もり始めて5月下旬になくなる。
- ④積雪のピーク2月の終わりからは3月の初めに迎える。今年のピークは少し遅めで3月10日だった。
- ⑤水換算積雪深予測と観測積雪深のグラフでピークが少しずれていたのでもう少し精度を上げたい。