## 雪尺・樹木等の周りの融雪凹みの成因について

## 小島賢治

1. <u>まえがき</u> 融雪条件の下では、雪尺、杭、樹木などの周りの雪が余分に融けて穴ができ、 特に雪尺にとっては雪面の位置の読みとりあるいは自動記録の誤差の原因となる。このような融 雪凹み(融穴と呼ぶことにする)の成因については以前にも発表したが、その折に指摘を受けた 事項に関連して、一部訂正と追加実験の結果を報告したい。なお、雪尺その他雪に立っている柱 状物体を以下に「柱」と略称する。

融けている雪面の熱収支を構成する要素のうち、放射収支 2. 雪面熱収支の柱による変化 量Q<sub>R</sub>を短波長と長波長の放射収支に分けて、Q<sub>R</sub>=(I<sub>i</sub>-I<sub>r</sub>)+(R↓-R↑)とするとき長波長放 射収支(R↓-R↑)の柱の存在による増大が特に注目される。 I;は全天日射量、 I,は雪による (日射の)反射量, R↓は上空から下へ向う大気放射, R↑は雪面がその温度で放射する量であ る。図1で、水平面内の1点Oから柱をみる立体角内で、Oを中心、OHを半径とする半球面を 天球にみたてると、球面四辺形ABCD(斜線部分)からの低温の大気放射が、柱の存在により高温 の柱面(斜線)からの放射に置換わるので、その分だけ〇点での放射収支は増す。その増分は柱 が〇占に近づくほど大きくなり、密着すれば全天の半分からの大気放射が影響を受ける。点〇が 柱の下線(水平)の垂直2等分線(水平)上にあり、球の半径を仮に1とし、Oから柱をみる水 平面内の角度を $\beta$ 、仰角を $\delta$ とすると、Oから柱をみる立体角 $\omega$ (steradian) は球面四辺形ABCD の面積に相当し、  $\omega = \pi - 2 \tan^{-1} \{ (1 + \cos \beta) / (\sin \beta \times \sin \delta) \}$  で表わされる。日射 I.の柱で反射された分の一部は柱の周りの雪に吸収されるが、日射の役割はむしろ柱に吸収さ れて柱の温度を高め、長波長放射収支増に寄与することの方が重要である。風が柱で乱されるこ とにより、柱の周りの大気から雪への熱伝達を局所的に増大して融雪を加速することも無視でき ない。風の効果による融穴形成の実験例は最後に紹介する。

3. 立体角の水平分布、柱の太さと融穴の大きさ 図1の点Oと、これに向い合う柱の面との



図1.水平面上の1点から、鉛直に立つ柱をみる立体角





a: 柱、5×5×75(H)cm, b: 柱、2.5×2.5×75cm

垂直距離を xとし、Oから柱をみる 立体角ωと xとの関係を、2種類の 太さの柱について計算した。図2の 曲線(a) は5cm角、高さ75cmの柱、 (b) は2.5cm 角、高さ75cmの柱につ いて $\omega/\pi \ge x$ との関係を表わした ものである(〇から全天の半分をみ る立体角がπ steradian)。縦軸を下 向きにとって曲線の形が融穴の断面 の形に似ていることを示した。これ に似た寸法の2種類の雪尺のまわり にできた融穴の断面の形(深さの水 平分布)の例を図3に示す。曲線 a は5cm 角、bは2 x 2.4cm の太さの 雪尺の融穴である。その差異は図2 の立体角の分布より著しい。bが

2.5cm 角よりさらに細いためもあるが、同図 (ii)に示したように、柱面(南向き)の温度 は太い方が高いことと、風の乱れによる融雪 増効果も太い柱の方が大きいためと思われる。 しかし、立体角の水平分布、言いかえると長 波長放射収支増が融穴の成因のかなりの部分 を占めていることがうかがえるのである。 写真1はこれらの2本の雪尺と融穴を示す。



図3 (i) 太さ (a)5 × 5cm, (b)2 × 2.4cm の雪尺の周りにでき た融穴の断面(4方向平均)。1991年4月3日、札幌 (ii)雪尺 a と b の南側日当り面の温度分布、T<sub>a</sub>は気温、黒円 印は穴の中の日陰の柱面温度







写真2 直径 3cmの黒い柱 (B)と白い柱 (W)の周りの融穴。 1990 年 4 月 20 日 10 時、母子里、柱設置から 8 日後

この例の柱はどちらも白く塗装してある。黒い柱は日射を受けると日当たり面の温度上昇は著し く、太さの影響も白い柱におけるより顕著である。

4. <u>黒い柱と白い柱の周りの融穴の大きさの比(母子里野外実験)</u> 直径 3cm、長さ 180cm の木の丸棒2本を用意し、一方につや消し黒色ラッカーを、他方には白色ラッカーを塗った。双

方の下端から15cmより上部には 5mm刻みの目盛 をつけ これらを母子里の融雪観測室の露場に 鉛直に立てた(1990年 4月12日11時40分)。こ れとは別に、直径 3cm、長さ60cmの目盛付黒白 丸楼各1本を同じ露場に立て、雪面から25cmの 高さの南向きの面にT型(C.C.)熱電対をはりつ け、黒い柱と白い柱それぞれの南面温度を1990 年 4月11日18時から 4月20日10時30分まで自記 した。長い方の黒白2本の柱の周りの融穴の深 さの水平分布を東西南北4方向につき、4月18 日 1030-と 1715-、19日 1724-、20日0923-の 4回測定した。1回の測定には40分かかった。 写真2は20日10時10分における黒い棒(B)と白 い棒(W)の融穴で、明らかに黒い棒の融穴の方 が大きい。図4には、(i) 2回目と(ii)4回目 の測定結果のうち南北方向の融穴の断面を示し

た。実線Bは黒い柱、破線 Wは白い柱の融穴を表わす。 (i)の南方向±15°の黒柱 の融穴容積は白柱のそれの およそ1.7倍であった。

一方、柱の南面の温度は 図5(i) にT<sub>b</sub>と印した曲 線のように変化した。Bは 黒柱、Wは白柱の温度であ る。ここには 4月17~19日 の昼間だけを示した。T<sub>a</sub> は気温、T<sub>s</sub>は雪の表面温 度(短い縦線の間の時間帯 のみ0 $^{\circ}$ )、白円印にT<sub>p</sub> と記したのは上空の全天平 均放射温度である。これは 低温研融雪部門が観測した 放射収支データに基づき、



図4 黒い柱 (B) と白い柱 (W)の周りの融穴の南北方向の断面。(i)1990.4.18. 夕刻、(ii)4.20. 朝



 図5 (i)黒柱(B)と白柱(W)の南面温度T<sub>b</sub>,気温T<sub>a</sub>,雪面温度 T<sub>s</sub>,上空の大気放射温度T<sub>r</sub>の時間変化。1990年4月17日 -19日。(ii)柱と上空大気の(放射)絶対温度の4乗の差 ΔT<sup>'4</sup>の時間積算。4月19日17時から前へ融雪時のみ積算。 柱の近くの雪面温度が0℃と見なし得る時間帯について筆者が計算して求めた。気温も低温研の 観測値で、いずれも1時間平均値である。 4月17日は曇天、18日と19日は快晴であった。ところ で、柱の近くの雪面上の一点における長波長放射収支増は、この点から柱を望む立体角内で、柱 の面の絶対温度  $T_b^{'\,\circ}$ Kの4乗と背景の大気放射温度 $T_r^{'\,\circ}$ K の4乗の差 $\Delta \Gamma^{4}$ におよそ比例す る。比例係数は柱に近づく程大きくなるが、黒柱と白柱に関する量の比だけを問題にする限り、 融穴形成範囲全体(この場合特に南方向)につき放射収支増の黒柱対白柱の比は、各瞬間  $\Delta \Gamma^{4}$ (B)/ $\Delta \Gamma^{4}$ (W)に等しいと考えてよいであろう。大きさを測った融穴は数日かかって形成 されたものである。黒柱と白柱それぞれにつき、 $\Delta \Gamma^{4}$ を4月19日17時から時間を遡って融雪時 間帯だけ時間積算した結果が図5(ii)のグラフである。柱を雪に立てた4月12日まで積算したが、 黒対白の比は(図5と同様) 1.6~1.7 であった。柱の南側の融穴容積の黒対白の比に近い。こ のことは融穴の成因が(この場合は)長波長放射収支増にあったことを示唆している。

5.風の効果だけによる融穴形成(室内実験) 雪に氷柱をたてておくと、雪との間に放射 交換は無いが、周りに浅い穴ができるのはお おむね風から雪への熱伝達が柱の近くだけ増 すためであると以前に報告した。しかし野外 では放射収支増を完全に除去するのは難しい。 そこで、室温17℃の室内で断熱材容器に雪を 入れ、これに垂直に氷柱(直径4.8cm、長さ 約30cm)を立て(写真3、A)、横から扇風 機で風をあてた。この室内では氷柱による放 射収支増はない。1時間無風で放置しても柱 の根元には全く隙間ができないが、雪面から 4cmの高さでの速度3m/s前後の風を30分あて ると、氷柱の風上側に写真3Bのような凹み ができた。その後凹みは次第に氷柱の風下側 に伸びて1時間後には写真3Cのようになっ た。野外の日陰でも数時間で写真Bに似た浅 い凹みが氷柱の風上側に出来ることを確かめ てある。しかし、木の柱の周りの深いすり鉢 状融穴形成への風の寄与を量的に把握するに は至っていない。

## 6. 謝辞

母子里での実験について、北大低温研融雪 部門には設備と観測データの利用その他いろ いろ世話になった。また、北大雨竜地方演習 林から種々便宜を計って頂いたこともあわせ て感謝する。



写真3 氷柱の周りの風から雪への熱伝達増による雪の凹み (室内実験)。室温 17 ℃,風速 2.7~3.3m/s(雪面上4 cm)。 A.送風前、 B. 風を当てて 30 分後、C.1時間後