HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	積雪内の融雪水分布
Author(s)	吉田, 順五
Citation	低温科學. 物理篇, 20, 181-186
Issue Date	1962-03-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17989
Type	departmental bulletin paper
File Information	20_p181-186.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Zyungo YOSIDA 1962 Distribution of Melt Water within a Snow Cover. *Low Temperature Science, Ser. A, 20.* (With English résumé p. 186)

積雪内の融雪水分布*

吉田順五
(低温科学研究所　応用物理学部門)
(昭和36年11月受理)

融雪は多様な要素をふくむ複雑な現象であるが，多くのひとびとの研究[1]により，しだいに明らかにされるようになった。ここ数年のあいだにも小島[2]，石井[3]などがすぐれた研究をおこなったし，ごく近くには，坂田[4]が積雪の層状構造と融雪水量との関係についての研究結果を発表しはじめた。しかし，いままでの研究では，融雪水が積雪内でどのように分布するかの調査が，あまり行なわれなかったようである。融雪水の積雪内分布を知るには，雪の密度分布と含水率分布とがわかればよい。ところが，密度分布の測定は容易としても，含水率分布の測定がそれほど簡単にはいかない。これが，積雪内の融雪水分布の研究をおくらせた理由とおもわれる。

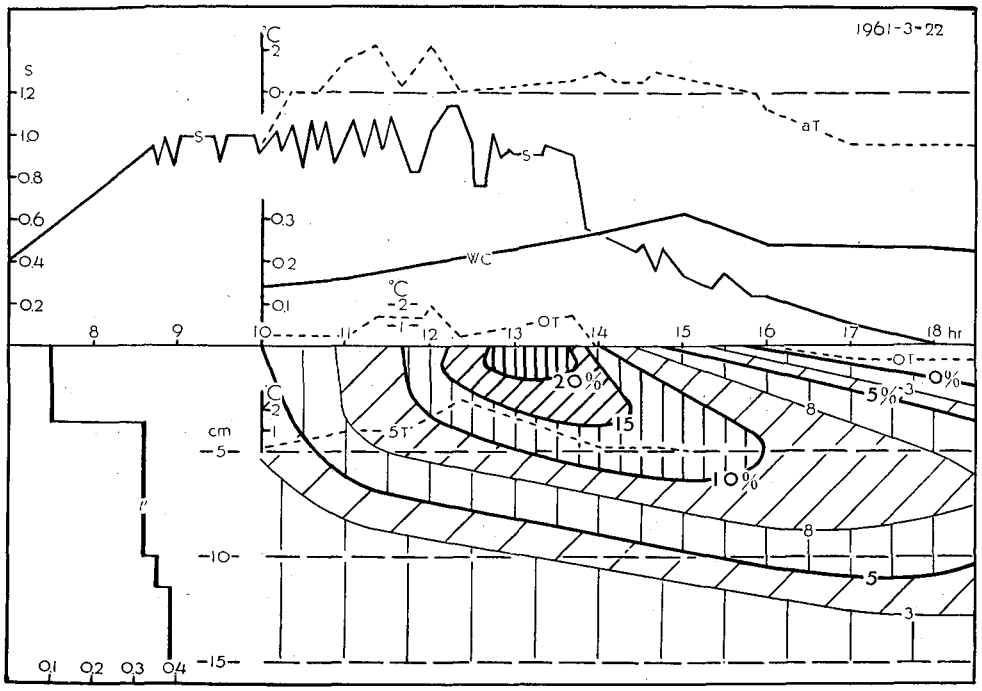
3年ほどまえ，筆者は積雪含水率測定用の「結合熱量計」[5]を考案し，さいわい，野外でも簡単につかえるようになった。それで，今年の3月，北海道雨竜郡幌加内村母子里(うりゅう　ほろかない　もしり)で，積雪内含水率分布の測定をこころみた。気温は0°Cにちかく，融雪は，ほとんど，積雪内に侵入する日光によってのみおこり，積雪表面から20 cmほどの深さまでに限られた。いわゆる「みずみち」をつくって融雪水が流れることのない簡単なばあいであったが，含水率の垂直分布の時間的変化を追跡することができた。その測定結果をつぎに報告する。

I. 観　　測

場　　所　観測場所としては，上記母子里にある北海道大学演習林看守所のテニスコートをえらんだ。積雪は，深さ2 mで，終日，日をうけた。比較のため，日のあたらない雪についても調べる必要があったので，テニスコートの一角に，テント地を6 m×8 mの広さにつなぎあわせて，雪面と45°の角をなすようにはった。朝夕，斜めにさしこむ日はうけるとはいえ，テントの下の雪は，日中の強い日射からはまもられた。

含水率の測定　含水率の測定は，つぎのようにしておこなった。積雪表面に60 cm平方の面積をくぎり，2 cmの厚さの表面雪層を結合熱量計の「雪いれ」にとりこみ，含水率をはかる。えられた値を積雪表面下1 cmの含水率の値とする。ついで，おなじ場所で，はじめの積雪表面から4 cmの深さまでにあった雪をとりのぞき，その表面のした2 cmのうちにある雪を

* 北海道大学低温科学研究所業績第604号

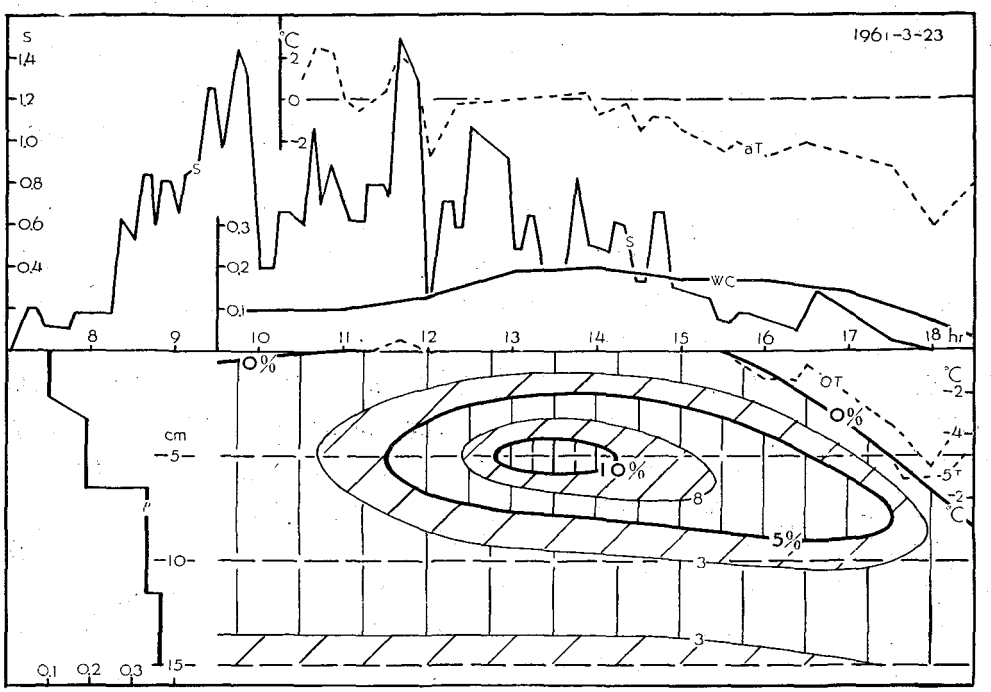


第 1 図 昭和 36 年 3 月 22 日。快晴。11 時～19 時のあいだの平均風速は 2.5 m/sec で，そのあいだに風向は S→E→S とかわった。図の中央の水平直線は時刻をあらわす。下半分では，たて軸にそい，下むきに，積雪表面からの深さ (cm) がとってある。3, 5%, 8, 10% などの印のある曲線は等含水率曲線で，0T, 5T とかきいれた破線は，積雪表面および深さ 5 cm での雪温をあらわす。左すみの段つき曲線 ρ は密度分布を示す。図の上半分で，曲線 aT は積雪表面上 1.5 m での気温を，曲線 S は日射の強さ (cal/cm²·min) を曲線 WC は積雪表面から深さ 15 cm までの雪にふくまれる融雪水量，すなわち，含有水量 (gr/cm²) をあらわす。

熱量計の「雪いれ」にとり含水率をはかる。えられた値を積雪表面下 5 cm の深さの含水率とする。同様にして，積雪表面下 10 cm，15 cm の含水率をさだめた。必要に応じては，上記の深さ以外での測定，また，20 cm，30 cm の深さでの測定もおこなった。1 箇所での測定には 20 分ないし 30 分の時間がついやされた。1 箇所での測定がすむと，すぐとなりにまた 60 cm 平方の面積をくぎり，おなじ測定をくりかえした。

雪温，気温の測定　雪に穴をほり，積雪表面下 5 cm，10 cm，15 cm の点で，穴の壁に直径 3.5 mm の細いアルコール温度計を，水平に，20 cm ほどさしこんで雪温を測定した。また，穴の上縁で，1～2 mm の厚さの雪をかぶる程度に温度計を水平にさして，それが示す温度を雪面温度とした。気温は，テントの下の日陰で，雪面から 1.5 m の高さに水銀温度計をつるしてはかった。以上の温度測定は 10 分おきにおこなった。

雪面温度と深さ 5 cm での雪温とをはかる温度計は，ときに，0°C 以上の温度をしめした。



第 2 図　昭和 36 年 3 月 23 日。晴。11 時～15 時の平均風速，3.5 m/sec；16 時～18 時の平均風速，1.5 m/sec。風向，W。

これは，もとより，温度計のアルコールが雪のなかに侵入する日光を吸収したためで，雪の温度自体が 0°C 以上にあがったわけではない。そして，雪の温度は 0°C 以下でもありえたわけである。しかし，実際には，ちょうど 0°C であったといえる。なぜならば，このようなばあい，雪は，つねに，0% 以上の含水率を示して，ぬれていたからである。

雪の密度の測定　雪に穴をほり，穴の壁のいろいろな場所で雪をとり，密度の鉛直分布をさだめた。密度の時間的変化は緩慢なので，密度測定は，上記の含水率，雪温，気温の測定をはじめるまえに，一回だけおこなった。

日射の測定　日射はロビッチ日射計で記録測定した。日射計の常数は，札幌管区気象台で使用中の日射計と比較して定めた。

II. 観 測 結 果

昭和 36 年 3 月 22 日，23 日におこなった観測の結果を，第 1 図，第 2 図に示す。中央の水平線にそって時刻がとってある。図の下半分では，たて軸が，下にむかって，積雪表面からの深さ (cm) をあらわす。左のすみの段のついたグラフ ρ は雪の鉛直密度分布を，いちばん下の水平線にそう尺度 (単位は gr/cm^3) によって示している。密度分布曲線の右の，広い面積をしめる曲線群が「時刻-深さの面」上にあらわした含水率である。3%，5%，8%，10%，15%，

20% の含水率の点をつらねる等含水率線であらわした。深さ 0 cm, 5 cm, 10 cm, 15 cm のところの水平線は，それらの深さにおける雪温をあらわすための基準線でもある。0T，5T の印のついた破線が，それぞれの基準線からの距離で，深さ 0 cm，5 cm の雪温をしめす。10 cm, 15cm の深さには，雪温を示す破線がない。これらの深さでは，雪温が，つねに，0°C だったからである。

図の上半分にある曲線のうち，いちばん上のものは気温 aT の変化をあらわす。上下の変動のはげしい曲線 S は，ロビッチ日射計ではかった日射の強さで，その尺度は，左端の鉛直線にそって，単位 cal/cm²·min で示してある。WC としるした曲線は，積雪表面から深さ 15 cm までにある雪がふくむ融雪水の量を水平面積 1 cm² についてとった値である。これを，かりに「含有水量」となづける。z を積雪表面からの深さとし，z の関数である密度，含水率を $\rho(z)$, $w(z)$ とすると，深さ z' までの含有水量は $\mathrm{WC}=\int_0^{z'}\rho(z)\,w(z)\,dz$ であたえられる。実際にこの積分の値を求めるにあたっては，深さ 15 cm までの雪を厚さ 2 cm の雪層に分割して考え，各雪層の $\rho(z)\,w(z)$ の値を密度曲線と等含水率線とから定めて，加えあわせた。

第 1 図をみると，3 月 22 日には，12 時 40 分から 13 時 40 分まで，積雪表面附近の含水率が 20% をこえ，かなりな融雪があったことがわかる。しかし気温は，短時間 +2°C に達したことがあったとはいえ，全体としては，ほとんど 0°C ちかくに押えられていた。このことからこの日の融雪は，空気からの熱伝達にはよらず，まったく日射の吸収だけでおこったものと考えてよいであろう。実際，天気は快晴で，図の曲線 S が示すように，9 時から 14 時まで，0.95 cal/cm²·min の強い日射がつづいた。1 時間にすれば，57 cal/cm²·hr の日射エネルギーが積雪表面に投射したわけである。

第 1 図の含有水量 WC は，積雪表面から深さ 15 cm までの雪層にふくまれる融雪水量であるが，日射の吸収も，そのほとんどが，この厚さの雪層内でおこる。したがって，融雪水が雪のなかを移動しないとすれば，WC の 1 時間の増加量に氷の融解潜熱 80 cal/gr をかけたものが，1 時間に雪によって吸収された日射エネルギーとなる。10 時から 15 時まで，第 1 図の曲線 WC は直線的に上昇し，0.0375 gr/cm²·hr の割合いで含有水量がましたことを示している。よって吸収日射エネルギーは，1 時間について，$0.0375/(\mathrm{gr/cm^2\cdot hr})\times 80\,(\mathrm{cal/gr})=3\ \mathrm{cal/cm^2\cdot hr}$ である。雪面に投射した日射エネルギーは 57 cal/cm²·hr であるから，その (3/57)=5% が吸収され，のこりの 95% は反射されたという結果になる。

うえの計算は，融雪水が雪のなかを移動しないとの仮定のもとにおこなったが，実際には融雪水は雪のなかを徐々に下降する。第 1 図，第 2 図で，等含水率線が右にむかってさがっているが，これが，まず，融雪水の下降をものがたる。さらに，等含水率線が閉曲線をなして，右に端をもつことが，融雪水下降の強い証拠である。たとえば，第 1 図の 10% の等含水率線は，16 時に深さ 5 cm のところでおわっている。16 時までは，5 cm 深さあたりの雪は 10% 以上の含水率をもっていたのに，16 時以後では，すこし水を失って，10% 以下の含水率にさがったわけである。この含水率の減少は融雪水の下降によるよりほかないであろう。第 1 図でみ

ると，深さ 15 cm でも，3% 以下の小さい含水率になってはいるが，雪は水をふくんでいる。それゆえ，ここでも融雪水は下降して，積雪表面から，深さ 15 cm までの雪層の含有水量を減らしているにちがいない。したがって含有水量の増加分に，この融雪水下降による減少分を加えないと，日射によってとけた水量の正しい値にはならないわけである。さきの計算では，融雪水下降の影響を考慮しなかったので，吸収日射エネルギーの値としてえた 3 cal/cm²·hr は小さすぎ，反射率の値としてえた 95% は大きすぎたことになる。この日の積雪の表面層は厚さ 4 cm の新雪層であったが，反射のもっとも強い新雪でも，反射率は 90% といわれている。

第 2 図の 3 月 23 日は，気温は 22 日と同様ほとんど 0°C であったが，天気は晴れで，快晴の前日にくらべると日射がよわかった。そのためか，含水率の最大値が，積雪表面ではなく，深さ 5 cm のところにあらわれた。11 時から 13 時までについて，含有水量 WC の増大率から積雪に吸収された日射エネルギーをさだめると 3.6 cal/cm²·hr となる。この時間の投射日光の平均の強さを 0.75 cal/cm²·min とすれば，日射吸収率は 8%，反射率は 92% となる。

テント地をはった下の日陰の雪は，22 日の 11 時から 13 時までと，23 日の 14 時から 15 時までとで，表面層が 3% の含水率になった以外は，つねに 0% あるいは負の値の含水率を示した。負の含水率は，雪温が 0°C 以下であることを意味する。そして，温度計で直接に測定した雪温も，上記の時間をのぞけば，日射のつよい日中でも，−0.2°〜−0.3°C 以上にはならなかった。これらのことも，日なたの融雪が，空気からの熱伝達にはよらず，日射のみによっておこったと考えたことの根拠となる。

この研究は文部省科学研究費でおこなった。観測は藤岡，木下，若浜の諸君の手でおこなわれた。ここに記して謝意をあらわす。

文　献

1) 日本雪氷協会 1960 雪氷寒冷に関する文献抄錄，1935–1950 (農業綜合研究所刊).
日本雪氷学会 1960 最近の雪氷に関する研究展望，1950–1958. 雪氷の研究，No. 3 (日本雪氷学会刊).
2) 小島忠三郎 1956, 1957 融雪の研究 I, II. 雪の研究，第 3, 5 号 (農業総合研究所).
3) 石井幸男 1959 積雪基礎調査—融雪の研究 (北海道電力株式会社，札幌管区気象台).
4) 坂田初太郎 1961 融雪実験観測について (1). 雪氷，**23**, 124–129.
5) 吉田順五 1959 積雪含水率測定用熱量計. 低温科学 (物理篇)，**18**, 17–28.
吉田順五 1960 積雪の物理 (5). 雪氷，**22**, 99–106.
Yosida, Z. 1960 A calorimeter for measuring the free water content of wet snow. Journal of Glaciology, **3**, 574–576.

Résumé

By the use of a new type calorimeter designed by the present author (Reference 5), researches were conducted on how the vertical distribution of free water content would change within a snow cover when it was melting. Graphs of the findings on two examples of the researches are shown in Figs. 1 and 2 of the text. In those figures time goes from left to right as indicated on the central horizontal line. From this line downwards is taken the depth below the snow surface. The curved lines marked 0%, 3, 5%, ··· connect the points at which the free water content of snow had those percentages. From those lines one learns how the free water was produced by melting and how it moved downwards within the snow cover. Broken lines 0T and 5T are respectively temperatures at the snow surface and at the level 5 cm deep below it. The stepped lines marked ρ towards the left end of the figures show the vertical distribution of snow density. The air temperature and the intensity (cal/cm^2·min) of the sunlight are indicated by lines aT and S respectively in the upper half of the figures. Curves WC show the amount of the free water contained in the snow layer lying above the level of 15 cm depth. The values of WC were determined in units of gr/cm^2 from the curves of snow density and free water content.

The air temperature remained close to 0°C on both the days (22nd and 23rd, March) of Figs. 1 and 2, even while the sun was shining strongly. Therefore the snow received no heat from the air and melted only by absorbing the energy of the sunlight penetrating into it. The increment of WC in an hour multiplied by 80 cal/gr, the latent heat of fusion of ice, gives the amount of sunlight energy absorbed by the snow in the same interval. That amount of energy is found to be 5% (in case of Fig. 1, from 11 to 14 o'clock) and 8% (in case of Fig. 2, from 11 to 13 o'clock) of the sunlight energy falling upon the snow surface.