Kenji KOJIMA 1982 Melting at the Bottom of a Snow Cover During the Winter in an Area with Very Low Temperatures and Deep Snow —Variation in Melting Rate with Time and Year— *Low Temperature Science, Ser. A, 41.* (With English Summary p. 106)

低温多雪地域の冬期間積雪下面における融雪量*

——時間変化と年による差異——

小 島 賢 治

(低 温 科 学 研 究 所)

(昭和 57 年 10 月受理)

I. 緒　　言

北海道の雨竜川上流域のように冬の気温がきわめて低い所でも，深い雪の断熱効果により，冬期間を通じて地中からの伝導熱によって絶えず僅かづつではあるが雪の下面が融けている。そしてその量は同地方の川の冬期間の流出高の半分以上に相当する。地面融雪量の連続観測の報告例は従来ほとんど見られなかったので，同地方の母子里で 1979～80 年冬から全冬期間にわたる連続測定を実施し，初年度の結果は序報[1]としてさきに筆者が報告した。その後の 2 冬期間には，ライシメータによる融雪浸透水量の直接測定の他に，地中熱流と積雪中熱流とを測定してその差から地面融雪量を推定する方法を加えた。1980～81 年冬は非常に雪が少なく，1981～82 年は逆に例年より雪が深かった。この差により地面融雪にもそれぞれの年に特徴的な時間変化が観測されたので，これらにつき報告する。

II. 測 定 方 法

1. ライシメータ (浸透計)

母子里の低温科学研究所融雪観測室の露場に，面積 $90\times90\ \mathrm{cm}^2$，中央の深さ約 10 cm のステンレス製の浅い集水器 2 台を地表部分に埋設し，浸透水をこれより内径 20 mm，長さ 14 m の塩化ビニール管で観測所の半地下室に導き，雨量計と長期自記電接回数器各 2 台により浸透水量を計測した。集水器内には土を入れ，その表面は周囲の地表とおよそ同じレベルになるようにした。2 台のライシメータによる記録は一致しないことが多い。そこで，他の 2 つの方法すなわち熱流測定から推定される値ならびに約 1 カ月おきの積雪断面測定から求められる値等と比較して毎日の代表値 (日量) を定めた。ライシメータの配置図，写真，時間遅れ特性等は序報[1]に掲載した。

2. 地中と積雪中の熱流測定

ライシメータから約 2.5 m 離れた所に，地表面下 10 cm の深さに直径 10 cm，厚さ 3 mm の円板状熱流素子を水平に埋め，上の土にはその付近と同じように草をはやした。積雪中熱流は雪が沈降するために一定の高さで測ることはできない。積雪が適当に積ってから，地面から

---

* 北海道大学低温科学研究所業績　第 2493 号

の積雪水量が約 70 mm (70 kg・m^{-2}) の位置に地中に埋めたのと同種の熱流素子を雪の層構造をなるべく乱さぬように埋め，雪と共に熱流板が水平のまま沈降するようリード線の置き方に注意した。出力の記録は観測所内で行った。

地中から地表に供給される熱量と積雪中を上向きに逃げる熱量との差が雪の下面融解に費されると仮定して毎日の地面融雪量を算定した。地中熱流板と雪中熱流板の間にある土と雪の熱容量の時間変化をこの報告では省略したが，冬のはじめには 1 日毎の地面融雪量の算定に対しても，時にはこれが無視出来ぬ程度の誤差のもとになった可能性はある (雪の温度の自動測定に失敗した)。

3. 積雪断面測定

雪面から地面までの積雪鉛直壁面を約 1 カ月おきに作り，断面にみられる目印層 (例えば特定の氷板) と地面との間の積雪水量の減少をもってその間の地面融雪量とした。1980～81 年冬の母子里の雪には，はじめによい目印が無かったので，12 月 18 日の断面測定の直後に雪面 (高さ 76 cm) に着色紙テープ (長さ 10 m) を 3 本おいた。テープはすぐに新積雪に被われ，1 カ月後には高さ 31 cm に埋っていた。

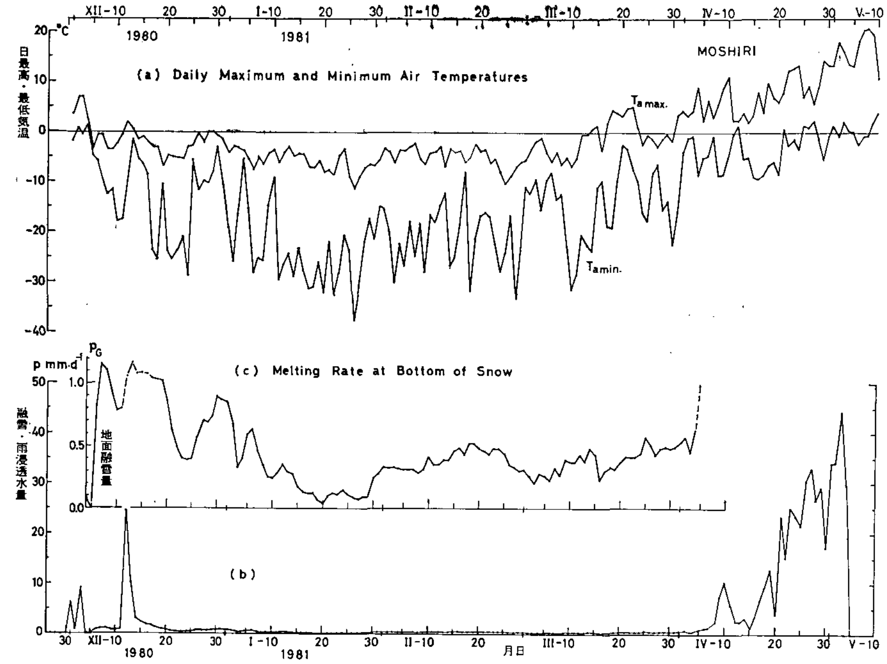
このテープと地面との間の積雪水量の減少量を測定した。積雪断面の様子の時間変化の 1 例を序報[1]に写真で紹介した。

III. 測定結果

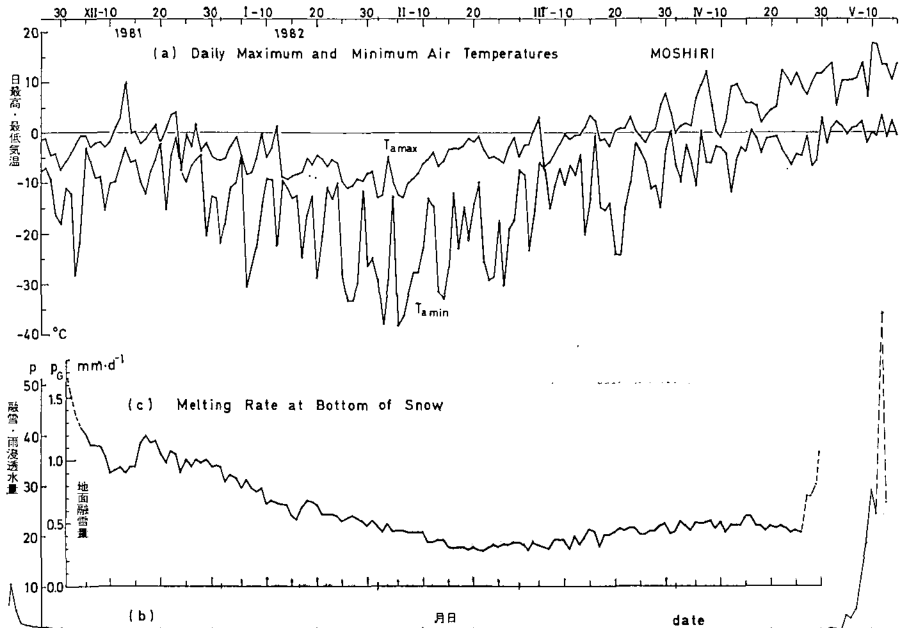
1. ライシメータによる測定結果

地面融雪量は積雪深と気温の高低とのかねあいに左右されて変化する。第 1 図 (a) は 1980～81 年冬期 (12 月 1 日～5 月 10 日) の毎日の日最高気温と日最低気温の変化で，北大雨竜地方演習林母子里作業所の観測値である。12 月 14 日から 3 カ月間は最高気温が 0°C より上らず，最低気温はしばしば −30°C 以下となった。同図 (b) は雨も表面融雪も含めたライシメータへの浸透水日量の変化である。1 mm・d^{-1} 前後より小さい部分が地面融雪量であるが，この縦軸スケールを 25 倍に拡大して地面融雪量だけの変化を示したのが同図 (c) である。12 月 11～19 日は雨と表面融雪水の浸透があって，雪の下面融解量だけを分離することはできない。図のこの期間の破線は熱流のデータから推定した値を示す。1980～81 年冬の前半は地面融雪日量の増減が激しく，最大は 12 月上旬の 1.2 mm・d^{-1}，最小は 1 月 20 日の 0.04 mm・d^{-1} である。4 月はじめからの急増は表面融雪によるので破線で示した。

第 2 図は 1981～82 年冬に関する諸量を第 1 図と同じ要領で示す。同図 (c) が地面融雪量の変化である。前年に比べると 2 月 10 日以前の融雪量が多く，変化がゆるやかである。初冬に最大で厳冬期に極小値を示し，その後再び増大して融雪期にほぼ 0.5 mm・d^{-1} となって，この地方の平均的傾向と思われる変化を示している。12 月はじめの急な減少には 11 月 20 日の表面融雪の影響が残っていたか否かが不明確なため，グラフを破線とした。一方，4 月の融雪期には表面融雪水がライシメータから容易に出て来なかった。表面融雪量は別に測定したが，その代り地面融雪の直接測定値が 4 月下旬の中頃まで得られた。



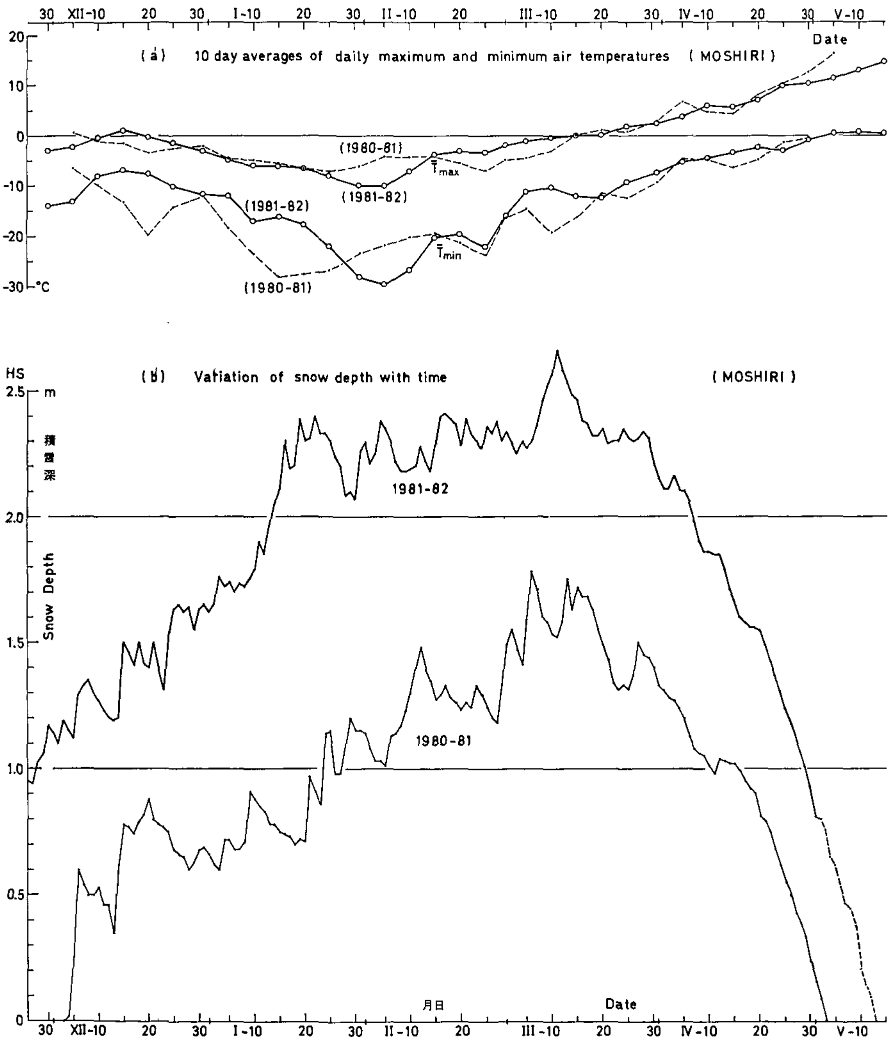
第1図　(a) 1980～81 年冬期の母子里における毎日の最高気温 $T_{a\ max}$ および最低気温 $T_{a\ min}$ (北大演習林の観測値), (b) 浸透計による毎日の浸透水量, (c) 毎日の地面融雪量 p_G(mm·d^{-1})



第2図　(a) 1981～82 年冬期の母子里における毎日の最高および最低気温 (北大演習林母子里作業所の観測値), (b) 浸透計による毎日の浸透水量, (c) 12 月 1 日～4 月 26 日の間の毎日の地面融雪量 p_G(mm·d^{-1})

2. 2冬期における気温と積雪深の比較

第3図(a)には日最高気温と日最低気温の10日間平均値を5日ごとの移動平均であらわし，1981～82年冬に関するものを実線で，前年冬に関するものを破線で結んで比較した。最低気温の推移に2冬期の間の差異が目立つ。12～1月は1980～81年の方がかなり低く，最低は1月15日であるが，1981～82年冬の最低は2月上旬にあらわれた。これらは両冬期の積雪深の著しい差異と相まって地面融雪量の変化の特徴にあらわれている。第3図(b)に両冬期間の積雪深を比較した。1980～81年は例年より少雪で，特に2月上旬までが異常に少なかった。これに反して1981～82年冬は1月中旬～3月下旬の積雪深が例年よりかなり大であった(12～3月平均積雪深は前年より1m深かった)。

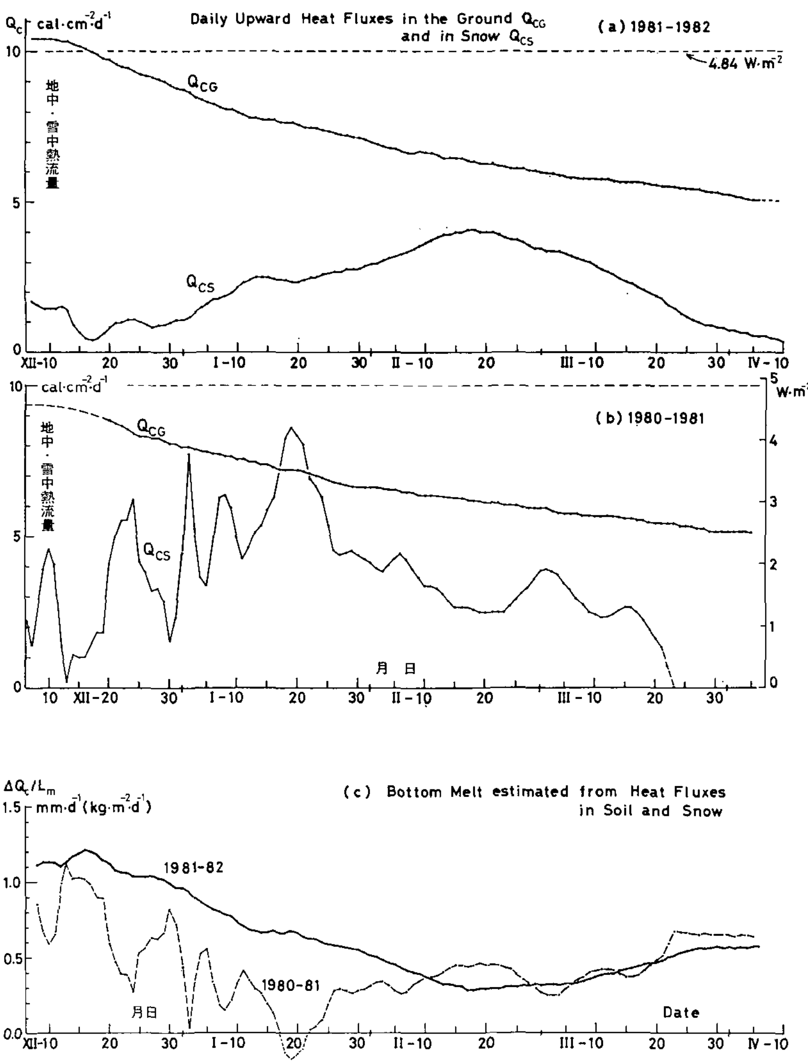


第3図　(a) 1980～81年および1981～82年冬期の母子里における日最高・最低気温の10日間平均値(移動平均)，(b) 1980～81年および1981～82年冬期の母子里における毎日の積雪深(北大演習林母子里作業所の09時観測による)

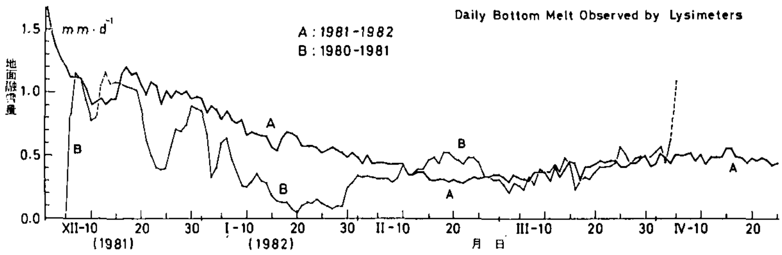
3. 地中および積雪中熱流

地中熱流 Q_{CG}(cal·cm^{-2}·d^{-1}) と積雪中熱流 Q_{CS} の 1981 年 12 月 7 日から 1982 年 4 月 10 日までの変化を第 4 図 (a) に，Q_{CG} と Q_{CS} の 1980～81 年 12月 6 日～4 月 5 日の変化を同図 (b) に示した。地中熱流は初冬には 1981～82 年冬の方が前年より幾分大きい (12 月 20 日で 1.1 倍) が，3 月に入るとほとんど一致し，何れも次第に減少した。

一方，積雪中熱流は 1981～82 年冬には雪が深いため気温の変化に応じてゆるやかに変化したが，雪が少なかった前年は激しく変化した。$\Delta Q_C = Q_{CG} - Q_{CS}$ を氷の融解熱 L_m で除して地面融雪量とし，その 1981～82 年冬における変化を実線で，前年の変化を破線で表わしたの



第 4 図　(a) 1981～82年冬期の毎日の地中熱流量 Q_{CG} および積雪中熱流量 Q_{CS}，(b) 1980～81 年冬期の毎日の地中および積雪中熱流量 (Q_{CG}，Q_{CS})，(c) 地中熱流と雪中熱流の差から計算した毎日の地面融雪量。実線：1981～82 年，破線：1980～81 年，$\Delta Q_C = Q_{CG} - Q_{CS}$，$L_m$：氷の融解熱



第5図 1981〜82年および1980〜81年の毎日の地面融雪量
(浸透計による)

が同図(c)である。12月上旬を除いて，ライシメータによる直接測定結果の特徴をよく表わしている。1981年1月20日前後には熱流に関しては $\Delta Q_C<0$ すなわち地面が凍結したことになるが，ライシメータからの水は止らなかった。これは凍結が一時的でごく浅かったため土の中に含まれていた水が僅かづつしみ出したものと思われる。比較のために第5図には第1図(c)と第2図(c)とを重ねて画いた。

ライシメータによる記録には2日周期ほどの増減が目立つが，熱流にはそのような周期的変化がない。おそらく集水器，その中の土，長い導水管，その出口につけられた蛇口（改造して直線状の管としたが水の通路は細い）等からなる系に固有な「くせ」と思われる。浸透量がわずかなため，ある程度どこかに余計に溜っては流出すると言う現象を繰返すのではあるまいか。

第1表 12〜3月各月各旬の地面融雪量，月平均1日量等の1981〜82年冬と1980〜81年冬との比較

月旬日		12月			1月			2月			3月			12〜3月
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	
		4〜10	11〜20	21〜31	1〜10	11〜20	21〜31	1〜10	11〜20	21〜28	1〜10	11〜20	21〜31	
地面融雪量	1981〜82	7.7	10.4	10.9	8.1	6.4	5.9	4.5	3.3	2.5	3.4	3.9	4.9 mm	
	計	29.0			20.4			10.3			12 2 mm			71.9 mm
	平均	1.04			0.66			0.37			0.39 $mm \cdot d^{-1}$			0.61 $mm \cdot d^{-1}$
	1980〜81	4.9	10.2	6.7	4.7	1.8	1.5	3.2	4.4	3.3	2.9	3.6	5.1 mm	
	計	21.8			8.0			10.9			11.6 mm			52.3 mm
	平均	0.78			0.26			0.39			0.37 $mm \cdot d^{-1}$			0.44 $mm \cdot d^{-1}$
降雨融雪全浸透水量		1〜10	11〜20	21〜31										
	1981〜82	12.4	10.4	10.9										
		33.7			20.4			10.3			12.2 mm			76.6 mm
		1〜10	11〜20	21〜31										
	1980〜81	21.6	48.2	6.7										
		76.5			8.0			10.9			11.6 mm			106.8 mm

4. 地面融雪量の各月平均，4カ月平均等

第1表に1981～82年および1980～81年の12月～3月の各旬地面融雪量，各月総量，月平均，4カ月平均の1日量等を示した。従来も積雪断面測定法により，母子里では1カ月平均1日当り0.3～0.8 mmと報告[2]したが，1980～81年の測定値はその通りになっている。1981～82年はこれより多く，0.4～1.0 mm・d^{-1}であった。4カ月平均では1981～82年は0.61 mm・d^{-1}，前年は0.44 mm・d^{-1}，さらにその前年1979～80も約0.4 mm・d^{-1}であった。しかし後者2冬期はいずれも前半に雪が非常に少なかったから，平均的な母子里の積雪の下では全積雪期の平均は約0.5 mm・d^{-1}といってよいであろう。

第1表には記載しなかったが，融雪期である4月の平均は何れの年もほぼ0.5 mm・d^{-1}であった（1981年は地中熱流から推定）。地表面下10 cmでの地中熱流は4月には3月に比べると急速に減少するが，消雪の前日まで0にはならない。

5. 3種類の方法による測定値の比較

1980年12月18日，1981年1月21日および2月19日に積雪断面測定を行ってその間の地面融雪量を測定した。これらと同じ期間に対して得られたライシメータによる直接測定値ならびに熱流から推定した地面融雪量等を第2表に比較して示した。第2期間の浸透計(2)のデータを除けば，異なる方法による測定値の差は7%以内であった。ただし次の1カ月間については，断面測定による値と他の方法によるものとの差が大きかった。

なお，浸透計(2)は(1)に比べてしばしば少なすぎる値を示したが，1981年4月の融雪期における表面融雪水の浸透日量に対しては(1)と(2)との差は概して小さかった（13例平均で(1)と(2)の平均値の3.1%）。1982年の消雪後，集水器(2)は補修のうえ中の土を入れかえて埋めなおした。

第2表 方法別地面融雪量測定値

年	月・日	浸透計 (1)	浸透計 (2)	地中・積雪中熱流より	積雪断面測定
1980	12.18	11.2	11.4	11.8	11.2
1981	1.21	8.7	5.6	9.0	8.4
	2.19				

mm-water

III. あとがき

母子里融雪観測所にライシメータを設置した目的のひとつは融雪期の表面融雪量の自動測定であったが，これまでに成功したのは雪が少なかった1981年だけであった。しかし，地面融雪量の全冬期間を通じての連続観測は一応可能となった。熱流測定結果はライシメータによる測定値の時間変化，年変化を説明するのに役立つことがわかったが，ライシメータによる測定が不調の時の補助手段として熱流を測定しておくことは非常に有効であった。地面融雪量を測定する目的には川の冬季渇水流量に対してどのような役割を果すかを確かめ度いという願いがあった。しかしこの点については未だ不明の点が残っている。

終りに，気象データを提供され，観測に種々便宜を計って頂いた北大雨竜地方演習林に感謝する。この測定には北大大学院学生の本山秀明，山田芳則両君の助力に負う所が多い。

費用は文部省科学研究費補助金（自然災害特別研究 (2)，寒冷地域における融雪および融雪流出の予測に関する雪氷学的研究，代表者小島賢治 (昭 56)，小林大二 (昭 57)) によった。

文 献

1) 小島賢治 1980 冬季間の積雪下面における融雪量の連続観測 (序報). 低温科学, 物理篇, **39**, 101–107.

2) 小島賢治 1979 融雪機構と熱収支. 気象研究ノート, **136**, 1–38.

Summary

Daily amount of melting at the bottom of a snow cover during the winter and its variation from December to April were observed in Moshiri, Hokkaido, since December, 1979. The results obtained during two winters of 1980–81 and 1981–82 are reported here.

A set of two shallow lysimeters, each 90×90 cm wide and 10 cm deep at its center, was buried in the surface layer of the ground for snow observations in fornt of the Snow Melting Research Station in Moshiri. Meltwater which percolated into the lysimeters was led to rain gauges set at the basement of the station through plastic tubes 14 m in length and the amount of percolation was recorded on long-term recorders. Such bottom melting of snow is considered to be caused by the net amount of conductive heat which is supplied from the ground to the bottom of snow and flows upward within the snow cover. The amount of conductive heat flux in each of the ground and the snow cover was also continuously observed. One of the two sensors for measuring heat flow was buried at a depth of 10 cm in the ground prior to snow accumulation and the other was set in the snow cover at a height corresponding to a water equivalent of about 70 mm, which is nearly the total amount of bottom-melt during the winter in the test area.

Variations in the amount of daily bottom-melt during the first and second winters are shown in Fig. 1 (c) and Fig. 2 (c) respectively. The amount varied largely with time during the early period of the first winter and reached nearly zero on Jan. 20, 1981. The rate of bottom-melt in the second winter was found, on the other hand, to be much greater than that in the first winter especially in January. It decreased gradually from the largest value in the first stage of the winter and reached the minimum in February increasing again toward the melting season. Such a difference in time variations in bottom-melt between different years might be roughly understood by large difference in snow depth between two winters as shown in Fig. 3 (b) and was found to be quantitatively explained by conductive heat flux both in the ground and within the lower part of the snow cover. The flux in the second and first winters is shown in Fig. 4 (a) and (b) respectively. The flux difference ΔQ_C between the heat flux in the ground Q_{CG} and that in snow Q_{CS} divided by the latent heat of the ice melting L_m gives the approximate amount of bottom-melt. Time variations in daily bottom-melt estimated by $\Delta Q_C/L_m$ for the two winters are shown in Fig. 4 (c) and are compared with the results of direct measurements using lysimeters which are shown in Fig. 5 in the same manner as in Fig. 4 (c).

The monthly average of daily bottom-melt was found to be in a range of 0.37～1.04

$mm \cdot d^{-1}$ for the second winter and $0.26 \sim 0.78\ mm \cdot d^{-1}$ for the first winter then the four-month averages were $0.61\ mm \cdot d^{-1}$ for the former and $0.44\ mm \cdot d^{-1}$ for the latter. Estimation of the rate of bottom-melt during the period of heavy surface melting is made possible only by heat flow observations. The monthly averages for April $1 \sim 30$ in both years were about $0.5\ mm \cdot d^{-1}$, which may be approximately equal to the seasonal average under normal conditions in the test area.