



Title	凍土の融解促進に就いて
Author(s)	八鍬, 利助; YAKUWA, Risuke
Citation	北海道大學農學部邦文紀要, 2(3), 1-6
Issue Date	1955-10-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11585
Type	departmental bulletin paper
File Information	2(3)_p1-6.pdf



凍土の融解促進に就いて*

八 敏 利 助

On the melting of frozen soil in Tokachi district, Hokkaido

By

Risuke YAKUWA

Institute of Agricultural Meteorology,
Faculty of Agriculture, Hokkaido University

緒 言

北海道の東部地方は冬期に酷寒寒雪であるから土壤の凍結甚だしく、昭和11~13年の観測によると帯広に於ては土壤の凍結の最深は68 cmに達したり。この様に冬期の土壤凍結が甚だしいので、凍土層は4月中旬頃迄も土壤中に残存し、農耕に甚だしい障害を与えている。従つて土壤の凍結防止及び凍土の融解促進を図ることは、同地方に於ける農業経営上甚だ大切なことである。

嘗つて筆者は河西郡大正村に於て、防寒壕の土壤凍結防止に対する効果、日射利用による凍土の融解促進についての実験を行つた。茲には、これらの実験中主に凍土の融解促進についての成果を報告する。

実 験 方 法

実験は大正村の目崎浩二氏の農場内で行つたもので、農場内に平坦で且つ日当り良い処を選び、此処に板框で囲んだ3×3 mの区を2つ作り次の様に区分けした。

第1区 標準区

第2区 凍土融解促進区

両区には地面、5、10、20及び30 cmの深さに曲管地温計を設置した。これらの準備はすべて前秋中に行つた。

観測は1951年4月9日に始めたのであるが、当時は比較的暖かかつたため、両区の凍土面上にあつた雪は殆どなくなつた。故に融解促進区はそのまま裸地としたが(以後この区を裸地区と称する)、標準区には13日午前他から雪を運び入れその厚さを30 cmとし、

両区の地温、凍土の厚さ、標準区の雪深其他気象の観測を行つた。

更に14日午後、実験区から約30 m離れた処に縦横1 m高さ50 cmの雪塔を2ヶ作り、これを次の如く区分けして融雪量の観測を行つた。

第1区 標準区

第2区 撒土区 雪面に660 grの黒土を撒布

尚15日7時から16日16時迄の観測期間中は、15日の12、13時及び16日の13時以後は薄曇であつたが他は晴或は快晴であつた。

地 温 の 日 変 化

観測期間中4月15~16日には昼夜観測を行つたので、茲には同日の地温変化を述べる。

標準区の凍土面には積雪があつたので、地温の変化は殆ど認められなかつたが、裸地の地面温度は第1図

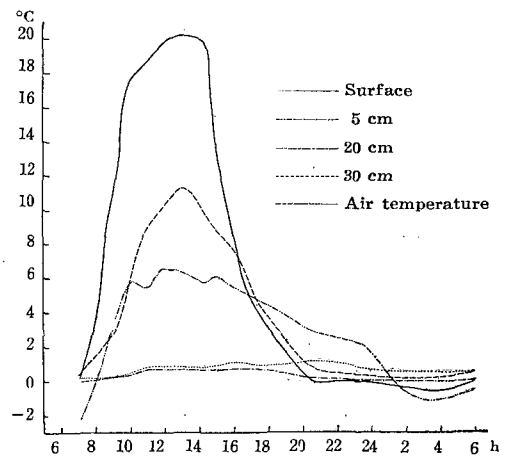


Fig. 1. Hourly variations of soil temperatures in plot 2.

* 北海道大学農学部農業気象学教室報告 第8号

に示す如く、15日7時には0.2°Cであつたが、其後急に上昇して13時には一日中の最高20.1°Cに達した。5cm深さの地温も日中には11.3°C迄昇つた。

10cmは凍土層内であるから略々0°Cで一日中変化は殆どなく、20, 30cm深さは凍土層下にあつて、地温は0°C以上であつたが、規則正しい日変化は認め

られなかつた。

凍土及び積雪の融解量

標準区の凍土面上の雪は13日10時に30cmであつたが、次表に示す様に其後次第に少なくなつて16日17時観測の際には全くなくなつた。

Table 1. Depth of the snow layer on plot 1. (cm).

Date	10 h 13 April	9 h 53m 14 April	10 h 00m 15 April	16 h 45m 15 April	10 h 35m 16 April	17 h 00m 16 April
Depth of the snow layer on plot 1 (cm)	30.0	21.0	15.0	7.5	5.6	0

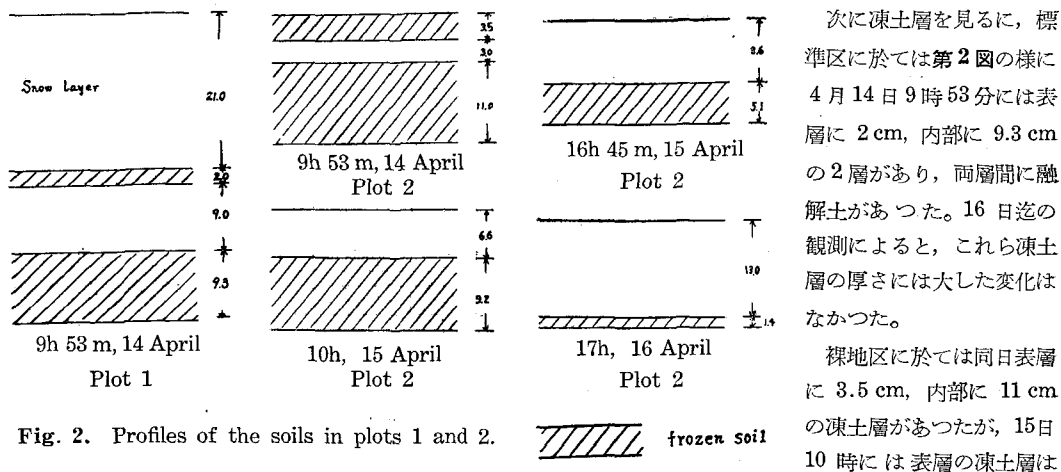


Fig. 2. Profiles of the soils in plots 1 and 2.

次に凍土層を見るに、標準区に於ては第2図の様に4月14日9時53分には表層に2cm、内部に9.3cmの2層があり、両層間に融解土があつた。16日迄の観測によると、これら凍土層の厚さには大した変化はなかつた。

裸地区に於ては同日表層に3.5cm、内部に11cmの凍土層があつたが、15日10時には表層の凍土層は

Table 2. The thickness of the frozen soil in plot 2. (cm).

Date	10 h 15 April	16 h 45m	10 h 35m 16 April	17 h 00m
Thickness of the frozen soil in plot 2	9.2	5.1	3.4	1.4

全く融解し、内部の凍土層も上表の如く時の経過と共に次第に融解し、16日17時には1.4cmになつた。

凍土の融解についての考察

第2表によると裸地区の土壤中に於ける凍土層は、15日10時から同16時45分までに4.1cm融解した。次に凍土融解の際に於ける熱量変化を考えて見る。

t_1 の時に於ける凍土層の厚さは $(h_4 - h_2)$ cm であ

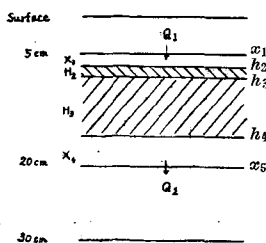


Fig. 3. Profile of the soil in plot 2.

つたが、 t_2 には第3図に示すように h_2 から h_3 cm まで融解したものととする。

今便宜上時刻 t_1 から t_2 までの間に、深さ x_1 から x_5 までの層内に於ける熱量変化を調べる。

深さ x_1 の層の 1 cm^2 を通つて地中に入る熱量を Q_1 , x_5 の 1 cm^2 から出る熱量を Q_2 とすると

$$Q_1 - Q_2 = W_0$$

は t_1 から t_2 までの間に x_1 から x_5 までの土壤層内に貯えられる熱量である。

次に t_1 から t_2 までの間に於ける x_1-x_5 土壤層内の熱量変化を見るに、その量は

- (1) この期間に (h_3-h_2) cm の凍土が融解した場合には、それに要する融解熱
- (2) この融解土層の温度上昇による熱量の変化
- (3) X_1 層内の熱量の変化
- (4) H_2 氷層内の熱量の変化
- (5) X_4 層内の熱量の変化

の合計である。

以上述べた熱量変化を数式で表わしこれに観測結果を入れて、その量の計算を試みよう。

t_1 から t_2 までの間に x_1-x_5 の土壤中に貯えられる熱量 W_0 は

$$Q_1 = - \int_{t_0 - \frac{r}{2}}^{t_0 + \frac{r}{2}} k \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_1} dt \quad (1)$$

$$Q_2 = - \int_{t_0 - \frac{r}{2}}^{t_0 + \frac{r}{2}} k \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_5} dt \quad (2)$$

但し $t_2-t_1=T$ 及び k : 熱伝導度で常数、であるから

$$\begin{aligned} W_0 &= \int_{t_0 - \frac{r}{2}}^{t_0 + \frac{r}{2}} k \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_5} dt - \int_{t_0 - \frac{r}{2}}^{t_0 + \frac{r}{2}} k \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_1} dt \\ &= kT \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_5} - kT \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_1} \quad (3) \end{aligned}$$

となる。

次に t_1-t_2 間に於ける x_1-x_5 の土壤層内の熱量変化を計算するため、先ず X_1 層を考える。

X_1 層中に断面積 1 cm^2 , 高 $X_1 \text{ cm}$ の垂直土壤柱を考え、その微小部分 dx の t_1, t_2 に於ける温度をそれぞれ $u_{1,1}, u_{1,2}$, 又熱容量を c_1 とすると土壤柱の t_1-t_2 間に於ける熱量変化は

$$\int_{x_0 - \frac{X_1}{2}}^{x_0 + \frac{X_1}{2}} c_1(u_{1,2} - u_{1,1}) dx$$

となる。

H_3, H_2, X_4 層中の土壤柱の微小部分の温度を u_3, u_2, u_4 熱容量を c_2, c_3, c_4 とすると、これら各層の土壤柱内の熱量変化は前と同様な方法で求められる。

又断面積 1 cm^2 , 高さ (h_3-h_2) cm の凍土の融解熱 L は、凍土の含水量を $p_w, 1 \text{ gr}$ の水の融解熱を 80 cal とすると

$$L = 80 p_w (h_3 - h_2)$$

となる。

以上述べた x_1-x_5 層内の熱量変化の総計は、この土壤層中に貯えられた熱量 W_0 に等しい筈であるから

$$\begin{aligned} W_0 &= \int_{x_0 - \frac{X_1}{2}}^{x_0 + \frac{X_1}{2}} c_1(u_{1,2} - u_{1,1}) dx \\ &+ \int_{h_0 - \frac{H_2}{2}}^{h_0 + \frac{H_2}{2}} c_2(u_{2,2} - u_{2,1}) dh \\ &+ \int_{h_0 - \frac{H_3}{2}}^{h_0 + \frac{H_3}{2}} c_3(u_{3,2} - u_{3,1}) dh \\ &+ \int_{x_0 - \frac{X_4}{2}}^{x_0 + \frac{X_4}{2}} c_4(u_{4,2} - u_{4,1}) dx + L \quad (4) \end{aligned}$$

融解層 (H_2) 及び凍土層 (H_3) の温度は t_1-t_2 間に殆ど変化しないものとする (4) 式右辺の第 2, 3 項は零となるから、(4) 式は次の如くなる。但し c_1, c_4 を常数と考える。

$$\begin{aligned} W_0 &= c_1 \int_{x_0 - \frac{X_1}{2}}^{x_0 + \frac{X_1}{2}} (u_{1,2} - u_{1,1}) dx \\ &+ c_4 \int_{x_0 - \frac{X_4}{2}}^{x_0 + \frac{X_4}{2}} (u_{4,2} - u_{4,1}) dx + L \\ &= c_1 X_1 [\bar{u}_{1,2} - \bar{u}_{1,1}] + c_4 X_4 [\bar{u}_{4,2} - \bar{u}_{4,1}] + L \quad (5) \end{aligned}$$

$$\text{但 } \bar{u} = \frac{1}{X} \int_{x_0 - \frac{X}{2}}^{x_0 + \frac{X}{2}} u dx.$$

今

$$c_1 X_1 [\bar{u}_{1,2} - \bar{u}_{1,1}] + c_4 X_4 [\bar{u}_{4,2} - \bar{u}_{4,1}] = W$$

とおくと (5) 式は

$$W_0 = W + L \quad (6)$$

となる。

或は

$$Q_1 - Q_2 = W + L \quad (6')$$

今 t_1-t_2 間に融解した厚さを $H=h_3-h_2$ とすると $L=80 p_w(h_3-h_2)$ であるから (6') 式から

$$H=(h_3-h_2)=\frac{Q_1-Q_2-W}{80 p_w} \quad (7)$$

(3), (5) 式中の $\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{x=x_1}$, $\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_{x=x_2}$, $\bar{u}_{1,1}$, $\bar{u}_{1,2}$, $\bar{u}_{4,1}$, $\bar{u}_{4,2}$ は地温観測から求められる。X₁, X₄ の値と

して t₁, t₂ に於ける各々の値の平均を用いる。又 c₁ = c₄ = 0.60 cal/cc, k = 0.0035²³⁾ とし, p_w の値としては 50% (容積百分率) を採用する。

以上の諸値を用いて (7) 式により凍土融解の厚さ H を計算すると第 3 表となる。

Table 3. Computed values of the amount of melting in plot 2.

Period	Q ₁ (cal)	Q ₂ (cal)	W (cal)	Q ₁ -Q ₂ -W (cal)	H (cm)
15 April 10 h~12 h	52.42	-0.25	2.93	49.74	1.24
12 h~14 h	46.12	-0.25	0.15	46.22	1.16
14 h~16 h 45m	37.19	-0.93	-3.69	41.81	1.05
Total	135.73	-1.43	-0.61	137.77	3.45

上表の様に 15 日 10 時から同 16 時 45 分までの

凍土の融解量は 3.5 cm である。これを実測値 4.1 cm と比較すると 0.6 cm の差があるが、凍土層の厚さの測定は毎回多少異なる点で行つたものであるから、0.6 cm 程度の差は止むを得ないものであろう。

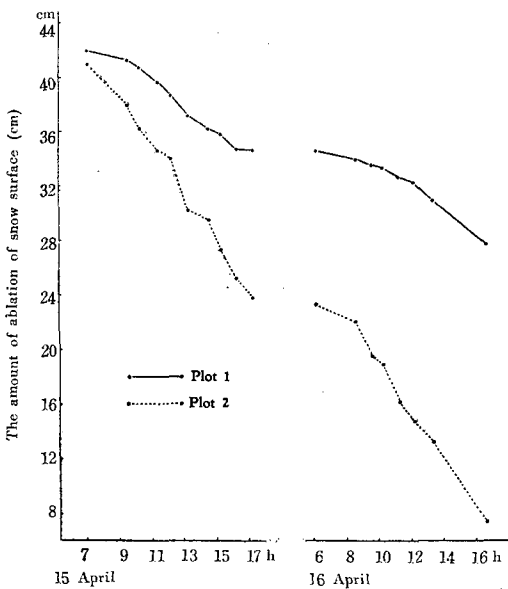


Fig. 4. The amount of ablation of the snow surface. (cm).

融雪の促進

融雪量 (雪面沈下) に就いては H.U. Sverdrup²³⁾ の理論的な研究があり、又融雪を促進するには撒土が甚だ有効であることが平田²⁴⁾、高橋²⁵⁾、孫野²⁶⁾等の諸氏によつて報告されている。

雪面上に黒土を撒布するには色々な方法があるが、筆者は前述の様な方法で標準区と撒土区の融雪量の比較観測を行つた。

それについての理論的考察は他の機会に譲り、次に 4 月 15 日 7 時から同 16 日 16 時まで観測した結果を第 4 図に示す。

上図によつて撒土区の融雪量は標準区のそれより著しく大きいことがわかる。

次に観測資料を用いて夕方から翌朝まで、朝から夕方までの間の融雪量を比較表示すると第 4 表となる。

Table 4. The amount of ablation of the snow surface. (cm).

	17h 14April~15April	7h 15April~15April	17h 15April~15April	17h 15April~16April	6h 16April~16April	6h 16April~16April
Plot 1		0.4	7.4		0.1	6.8
Plot 2		1.0	17.2		0.5	15.9

融雪量は日射量の他に雪面の状態、気温及び風等によつて異なるは勿論であるが、雪面に黒土を薄く撒布した場合には日射の吸収能が大きくなるため、その融雪は著しく促進され本実験に於ては撒土区の融雪量は

標準区の約2.3倍となつた。

十勝地方の3, 4月は次表に示す様に、他地方より比較的多照であるから、春期撒土による融雪促進は甚だ有効であると思う。

Table 5. Hours of sunshine at various places.

		Sapporo	Asahigawa	Suttsu	Hakodate	Obihiro	Kushiro	Nemuro	Abashiri
Hours of sunshine	March	158.9	143.8	110.7	170.7	229.4	209.2	197.2	182.9
	April	196.0	178.9	185.4	210.2	217.3	198.0	191.9	190.2

要 約

以上数節に亘つて述べた事柄を要約すると次の如くなる。

(1) 日中に於ける撒土区の融雪量は16~17cmで標準区より約2.3倍多い。

(2) 4月15日10時から同16時45分までの観測によると、標準区に於ては凍土面に雪があつたので凍土の融解は甚だ少なかったが、裸地区に於ては4.1cm融解した。

(3) (7)式にそれぞれの値を入れて凍土の融解量を計算すると3.5cmとなり、実測値との差は0.6cmである。

(4) 以上の結果から撒土して融雪を促進し、凍土面になるべく早期に多量の日射を照射せしめると、凍土の融解を著しく促進することが出来ると思う。

本実験を行うに当り、北海道土地改良課、大正村役場及び作物報告事務所大正村支所の各位から多大の御援助と御便宜を頂いた。御厚意に対し深く感謝の意を表す。また観測には前田一男、塚本健二両君から少からざる御助力を得たし、資料の整理には当教室員工藤勇夫君、大泉英子嬢の御援助を得たことが多い。茲に記して厚く御礼を申し上げる。

文 献

- 1) 八鉄, 斎藤: 北海道に於ける土壌の凍結・雪氷, 第6巻(昭和19)。
- 2) 八鉄: 地温に関する研究. 北海道気象要報, 第2巻(昭和18)。
- 3) Sverdrup, H.U.: The ablation on Isachsen's plateau and on the Fourteenth of July glacier in relation to radiation and meteorological conditions. Scientific Results of the Norwegi-

an-Swedish Spitsbergen Expedition in 1934. part IV.

八鉄訳: 1934年ノルウェー・スウェーデンのSpitsbergen 探険の科学報告(3). 北海道気象要報, 第1巻(昭和16)。

- 4) 平田: 融雪に関する研究. 雪調報告, 第10号(昭和10)。
- 5) 高橋: 消雪促進試験成績. 雪氷, 第8巻(昭和21)。
- 6) 孫野, 熊井: 撒土融雪の基礎的研究. 農業物理研究, 第3輯(昭和29)。

Summary

In this experiment the effect of solar radiation upon the melting of frozen soil was studied.

(1) The observations were made at Taisho village, Tokachi district, Hokkaido, from 14 to 16 April 1951.

The arrangement of plots is as follows:

Plot 1 Control. On the surface of frozen soil, there was a snow layer of 30 cm thick.

Plot 2 Bare soil. There was no snow on the soil surface and it fully received the solar radiation.

Each plot is 3.0×3.0 m in area.

(2) Hourly variations of soil temperatures in plot 2 are shown in Figure 1.

The soil temperature in plot 1 showed no remarkable change during the observation because the snow layer on the surface prevented the penetration of solar radiation to the surface.

The thickness of the frozen layer in plot 1 was nearly constant during the observation while the frozen layer in plot 2 gradually became thin (Figure 2).

The amount of melting of the frozen layer

in plot 2 from 10h 00 to 16h 45m, 15 April was 4.1 cm.

(4) The amounts of heat which flow in through a plane x_1 and flow out through a plane x_5 for the time interval from t_1 to t_2 will be called Q_1 and Q_2 respectively (Figure 3).

The surplus $Q_1 - Q_2 = W_0$, which the layer from x_1 to x_5 receives, is used for melting of frozen layer and raising the temperatures of layers X_1 , H_2 , H_3 and X_4 .

Suppose that the thickness of the layer which is melted, is $h_3 - h_2$, then the amount of heat, L , used for melting is $80(h_3 - h_2) p_w$, where p_w is moisture content of the frozen soil by volume.

To calculate the amount of heat used for raising of temperature of layer X_1 for the time interval from t_1 to t_2 , consider a vertical column of unit sectional area in the layer reaching from x_1 to h_2 .

Let $u_{1,1}$ and $u_{1,2}$ be the temperatures of the infinitesimal element dx in the column corresponding to the times t_1 and t_2 , then the varia-

tion of heat content of the soil column X_1

$$\int_{x_0 - \frac{x_1}{2}}^{x_0 + \frac{x_1}{2}} c_1(u_{1,2} - u_{1,1}) dx$$

where c_1 is the heat capacity of the soil.

In like manner the variation of heat content of the soil in the layer X_4 is

$$\int_{x_0 - \frac{x_4}{2}}^{x_0 + \frac{x_4}{2}} c_4(u_{4,2} - u_{4,1}) dx.$$

Let us consider the condition that the temperatures of layers H_2 and H_3 at t_1 and t_2 are the same. In this case we have the equation (5).

Put

$c_1 X_1 [\bar{u}_{1,2} - \bar{u}_{1,1}] + c_4 X_4 [\bar{u}_{4,2} - \bar{u}_{4,1}] = W$,
then formula (5) becomes (6).

By means of formula (7) and the observed values of soil temperatures, the amount of melting has been computed for 3 periods.

The results obtained are shown in Table 3.

The difference between computed and observed values is about 0.6 cm.