凍土の融解促進について

八 鋏 利 助

(北海道大学農学部)

On the thawing of frozen soil in Tokachi district, Hokkaido

R. YAKUWA

(Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

1. 緒 言

北海道の十勝地方は冬期酷寒寡雪なため土壌の凍結が甚だしく、帯広に於ては 68cm 迄土壌が凍結することがある。この様に土壌が深い処迄凍結するので、凍土が春晩く迄土壌中に残存し、農耕上著しい障害となつている。故に土壌凍結の防止及び凍土の融解促進を図ることは、同地方の農業経営上甚だ大切な問題である。

筆者は十勝国大正村に於て防寒墻の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。茲には凍土融解促進についての観測成果を述べる。

2. 観 測 方 法

大正村の目崎浩二氏の農場内で行つたもので、同農場内に平坦で且つ日当りの良い処を選び、ここに板框で囲んだ 3×3m の区を 2 つ作り次の如く区分した。

第 1 区、積雪区 区内の雪が非常に少なかったため、4 月 13 日に他から雪を運び入れ 30 cm の厚さにした。

第 2 区、裸地区 裸地とし地面に日射を充分照射せしめて凍土の融解促進を図つた。

両区には地面、5、10、20 及び 30 cm の深さに曲管

第 1 図 地温日変化 (裡地区)

地温計を設置し、地温、凍土の厚さ、第 1 区の雪深其他の気象の観測を行つた。

更に 14 日には実験区から約 30m 離れた処に縦横 1m 高さ 50cm の雪塔を作り、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 g の黒土を撒布した。

3. 地温の日変化

裸地区の 4 月 15 日から 16 日迄の地温日変化を示すと第 1 図の如くで、地面温度は 15 日 7h には 0.2°C であったが、その後急に上昇して 13h には 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。

積雪区の凍土面には積雪があつたので、地温の日変化は殆ど認められなかつた。

4. 凍土の融解量

4 月 14 日 9h 53m には積雪区の土壌は地面から 2cm 迄凍結更に 11 cm の深さに 9.3cm の凍結層があつた。16 日迄の間では凍結層の厚さには大した変化はなかつた。裸地区に於ては表層に 3.5cm、6.5cm の深さに 11 cm の凍土層があつたが、15 日 10h には表層の凍土は全くなり、内部の凍土層も次表に示す如く次第に薄くなった。

第 1 表 裡地区の凍土の厚さ (cm)

日 時	4月15日 10h	4月15日 16h 45m	4月16日 10h 35m	4月16日 17h
凍土の厚さ	9.2	5.1	3.4	1.4

5. 凍土の融解についての考察

第 2 図 土 壌 の 断 面

前節に示した様に 15 日 10 h から 16 h 45 m 迄に凍土の融解した厚さは 4.1 cm である。次に凍土融解の際に於ける熱収支を計算する。

t_1 の時の凍土の厚さは $(h_4 - h_2)$ cm であつたが、 t_2 には h_3 迄融解したものとする(第2図参照)。

第2図の x_1 層を通して t_1 から t_2 迄の間に入る熱量 Q_1 は k_1, k_4 を土壌の熱伝導度(常数)とすると、

$$Q_1 = -k_1 \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_1} = -k_1 T \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_1} \quad (1)$$

又 x_5 層から同期間内に出る熱量 Q_2 は

$$Q_2 = -k_4 \int_{t_0 - \frac{T}{2}}^{t_0 + \frac{T}{2}} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_4} = -k_4 T \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_4} \quad (2)$$

$$Q_1 - Q_2 = W_0 \quad (3)$$

は t_1 から t_2 迄の間に $x_1 \sim x_5$ の土壌層中に貯えられる熱量である。

$t_1 \sim t_2$ 間に於ける $x_1 \sim x_5$ の土壌層内の熱量変化は (1) 厚さ $(h_3 - h_2)$ cm の氷の融解に要する融解熱, (2) この融解土の熱量の変化, (3) X_1 層, H_3 氷層及び X_4 層内の熱量変化の合計であるが, 融解土及び H_3 氷層の温度は $t_1 \sim t_2$ 間中殆ど変化しないものとして $x_1 \sim x_5$ の土層内の熱量変化としては融解熱と X_1 及び X_4 層内の熱量変化を計算すれば充分である。

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 とすると、

$$L = 80 p_w (h_3 - h_2) \quad (4)$$

X_1, X_4 層中の土壌柱(断面積 1 cm^2) の微小部の t_1 及び t_2 に於ける温度をそれぞれ $u_{1.1}, u_{4.1}, u_{1.2}, u_{4.2}$, 熱容量を c_1, c_4 (常数) とすると、両層の土壌柱内の熱量変化 W は

$$W = c_1 \int_{x_0 - \frac{X_1}{2}}^{x_0 + \frac{X_1}{2}} (u_{1.2} - u_{1.1}) dx + c_4 \int_{x_0 - \frac{X_4}{2}}^{x_0 + \frac{X_4}{2}} (u_{4.2} - u_{4.1}) dx \\ = c_1 X_1 [\bar{u}_{1.2} - \bar{u}_{1.1}] + c_4 X_4 [\bar{u}_{4.2} - \bar{u}_{4.1}] \quad (5)$$

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

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

$$\text{或は} \quad Q_1 - Q_2 = W + L \quad (6)'$$

今 $t_1 \sim t_2$ 間に融解した厚さを $H = (h_3 - h_2)$ cm とする

と、

$$L = Q_1 - Q_2 - W$$

であるから、

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

(1), (2), (5) 式中の $\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_1}, \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_{x=x_4}, \bar{u}_{1.1}, \bar{u}_{1.2}, \bar{u}_{4.1}, \bar{u}_{4.2}$ は地温観測値から求められる。 $c_1 = c_4 = 0.60 \text{ cal/cc}$, $k_1 = k_4 = 0.0035$ とし、又 $p_w = 50\%$ (容積) として、(7) 式によつて 15 日 10 h から同 16 h 45 m 迄に凍土の融解した厚さを計算すると第2表に示した如く約 3.5 cm となる。

第2表 凍土の融解量 H

日 時	Q_1 (cal)	Q_2 (cal)	W_0 (cal)	$Q_1 - Q_2 - W_0$	H (cm)
10~12	52.42	-0.25	2.93	49.74	1.24
12~14	46.12	-0.25	0.15	46.22	1.16
14~16:45	37.19	-0.93	-3.69	41.71	1.05
計	135.73	-1.43	-0.61	137.77	3.45

6. 融雪の促進

4月14日から16日迄の融雪量(雪面の沈下)観測結果中昼間の融雪量を示すと第3表となる。

第3表 融雪量 (cm)

	4月15日 7h~17h	4月16日 6h~16h
標準区	7.4	6.8
撒土区	17.2	15.9

融雪量は日射の他に雪面の状態、気温及び風等によつて異なるは勿論であるが、本実験の撒土区の様

に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から、その融雪量は標準区の約2.3倍となる。

要 約

十勝地方は、春期には他地方より多照であるから、撒土によつて融雪促進を行い、凍土面に多量の日射を照射せしめると凍土の融解を可成促進せしめ得るだろう。

この実験を行うに当り道庁土地改良課、大正村役場及び作物統計事務所大正村試験地の各位から多大の御援助を得た。茲に明記して感謝の意を表する。また観測及び資料の整理には前田一男、塚本健二、工藤勇夫諸氏と大泉英子嬢の御助力を得た。御厚意に対し深謝する次第である。

Résumé

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 30cm thick.

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

Each plot is $3.0 \times 3.0 \text{ m}^2$ in area.

(2) Hourly variations of soil temperatures in plot 3 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 frozen layer in Plot 1 was nearly constant during the observation while the frozen layer in plot 2 gradually became thin (See Table 1).

The amount of melting of frozen layer in plot 1 from $10^{\text{h}00^{\text{m}}}$ to $16^{\text{h}45^{\text{m}}}$, 15 April was 4.1 cm.

(3) The amounts of heat which flow in through a plane x_1 and flow out through a plane x_4 for the time interval from t_1 to t_2 will be called Q_1 and Q_2 respectively.

The surplus $Q_1 - Q_2 = W_0$, which the layer from x_1 to x_5 receives, is used for melting of the 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 variation of heat content of the soil column X_1 is

$$\int_{x_0 - \frac{x_1}{2}}^{x_0 + \frac{x_1}{2}} c_2 (u_{1.2} - u_{1.1}) dx$$

where c_2 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).

From equations (3), (4), and (5) we have equation (6).

By means of formula (7) and the observed values of soil temperatures, the amount of melting of the frozen soil has been computed for 3 periods. The results obtained are shown in Table 2.

抄

録

ヒーター使用によるパイナップル 畑の防霜について

D. E. Angus; The use of heaters for frost prevention in a pineapple plantation.

Aust. Jour. Agr. Resea. 6~1 p. 186~195 ('55)

1953 年冬季、オーストラリア・ブリスベン北方 70 マイルにある Committee of Direction of Fruit Marketing のパイナップル研究圃場における加熱実験の概要を報告したものであり、主として気温逆転と加熱効果との関係を考察している。

- i) 実験地の条件、東方へなだらかな傾斜をした小丘上にある。
- ii) 作物の条件、植列は略南北で 2 ft 間隔の二条植で畝間は 5.5 ft, 株間は 1 ft である。尙実験時のパイナップルの葉冠の高さは約 2.5 ft であった。
- iii) 加熱法、1 時間当たり $\frac{1}{4}$ ガロン消費するヒーターを 1 エーカー当り 188 ケ用う。植列については二つとびに 1 列については 15 ft 間隔で設置された。

iv) 温度測定、輻射除けなしでサーミスターを用い地上 2.5 ft の気温を測定。又加熱区中央部及び非加熱区において 1 ケ所 6, 20, 40 ft の高さで垂直分布を測定し地上 2.5 ft—40 ft の温度差をもつて気温逆転の強度とみなした。

v) 結果。エーカー当りのヒーターの数は上の他、53 ケ・95 ケというのも試験してあるが昇温面積は勿論数の多い方が広がる。そして気温逆転が一定であれば昇温区域の面積と単位面積当りのヒーターの数とはヒーターが 50~200 ケの範囲内では略々直線的な関係がある。

又 188 ケのヒーターを用いたとき、 3°F , 2°F , 1°F 上昇した面積を夫々 A_3 , A_2 , A_1 , 逆転の強度を T とするとき次式が得られることを示した。

$$\left. \begin{aligned} A_3 &= 0.17 T - 0.265 \\ A_2 &= 0.215 T - 0.09 \\ A_1 &= 0.21 T + 0.695 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{面積の単位はエーカー,} \\ \text{逆転の単位は } ^{\circ}\text{F} \text{ である。} \end{array}$$

(小沢行雄)