泥炭土及びこれに客土した場合の地温*

八 鋏 利 助

(北海道大学農学部)

On the Effect of Soil Dressing upon
the Temperature of Peat Soil

R. Yakuwa

(Faculty of Agriculture, Hokkaido University)

1. 緒 言

北海道に於ける泥炭地は概ね湿地に形成せられた所謂沼野泥炭地に属するもので、その面積 19 万町歩に達しその中農牧適地は 16 万町歩といわれて居る。その大部分は河川流域の平坦地にあつて本道平坦地面積の約 1/4 を占めて居る。

泥炭のような特殊土壌を開発利用するには、その物理的性質を明かにすることは最も必要であるにも拘らず、従来この方面の研究は著しく閑却されて居たのは甚だ遺憾とするところである。この点にかんがみ筆者は泥炭土の物理的性質の研究に努めて居る。茲にはその研究成果中主に地温について行つた観測結果の概要を述べて関係各位の参考に供する。

2. 観測の方法及びその結果

本実験は泥炭土に客土した場合、地温に及ぼす影響を明かにする為に行つたものである。

美瑛泥炭研究室附属試験地(高位泥炭地)内に次の 5 区を設け曲管地温計を用いて、各地の深さ 0, 5, 10, 15, 20, 30 及び 40cm の地温を観測した。

第 1 区 (標準区) 泥炭原土

第 2 区 (1 寸客土区) 厚さ 3 寸の泥炭に 1 寸の壤土(腐植質を含まない)を入れてよく混合したもの。

第 3 区 (2 寸客土区) 厚さ 2 寸の泥炭に 2 寸の壤土を客土したもの。

第 4 区 (3 寸客土区) 厚さ 1 寸の泥炭に 3 寸の壤土を客土したもの。

第 1 区より第 4 区迄の区の大きさは縦横各々 2 間である。

第 5 区 (壤土区) 縦横 6 尺深さ 3 尺の穴を掘り、これに同大の板枠を入れ客土に用いた壤土を填

充した。

昭和 26 年 6 月 28 日より同 8 月 20 日迄観測したのであるが、8 月 7 日 0 時より 8 日 0 時迄昼夜観測を行つたので次にその結果の概要を述べる。

今第 1, 3, 5 区の 5 及び 20cm 深さの地温日変化を図示すると次の如くである。但し地面温度は区内の 2 ケ所で測り平均したものである。

第 1 図 5 cm 地温日変化

第 2 図 20 cm 地温日変化

3. 各区地温の比較

地面温度 第 1 区の地面温度日変化を見るに、2 時 45 分に最低温度 18.7°C であるが日出と共に温度上昇して 12 時 30 分に 1 日中の最高 44.6°C となり、その後温度は次第に下降して翌朝の最低に達する。

* 昭和 27 年 4 月 6 日総会に於て発表

第3区は夜間には第1区と大差なきも、正午前後には第1区より 1.5°C 内外高温である。第5区の日中温度は最も低く 12 時には第1区より 3.5°C 低温である。

地中温度 5cm の深さに於ては(第1図参照)日中第1区の地温は他2区より著しく低く、14時には第3及び第5の両区より 4°C 余低温である。次に第3区と第5区との差を見るに6時より 14 時迄は両区間に大差なきも、15 時より翌朝迄は第3区は第5区より高温で夜半には 2°C 内外の差を示す。

10cm の深さに於ては第1区と第3、第5両区との差は一層顕著となり、20cm の深さになると(第2図)第1区は他2区より終日低温である。第3区と第5区の地温を見るに1日中の前半に於ては第5区は第3区より低温であるが後半には第5区は第3区より著しく高温である。

第1、第3及び第5区の 2, 6, 10, 14, 18, 22 時に於ける各深さの地温の差は第1表に示す通りである。

第1表 第3区及び第5区と第1区の地温差

項	深 cm	時					
		2	6	10	14	18	22
第3区—	0	-0.1	0.7	1.3	1.6	1.5	0.4
	5	0.2	-0.1	2.7	4.3	2.9	1.3
第1区	10	0.8	0.5	2.0	4.4	3.7	2.0
	20	1.4	1.1	1.1	1.3	1.7	1.9
第5区—	0	-0.2	0.2	-1.3	-2.0	0.2	0.2
	5	-0.7	-0.6	2.7	4.4	2.2	-0.2
第1区	10	-0.3	-0.7	1.1	4.9	3.9	1.0
	20	1.1	0.4	0.3	1.7	1.8	1.5

第5区(壤土区)の地面は泥炭原土に較べると淡色なため日射の反射能が大きく、従つて、地面温度は泥炭原土より少々低温であるが、壤土は泥炭土より熱伝導率が大いから、地中内部に於ては泥炭原土より高温で、日中にはその差約 5°C に達することがある。

4. 振幅の減少

地温日変化の振幅は深さが増すに従つて小さくなる。第1、3、5区の深さによる振幅の減少の様子を図示すると第3図の如くである。

土壤が均質な場合には深さと振幅との関係は指数函数で表わし得ることは理論及び実験上明かであるが、第3区の如く上層には客土層があり下層は泥炭層からなっているものに於ては、深さによる振幅の減少を示す曲線は両層の境界面に於ては不連続的に変つていることが図に

第3図 振幅の減少

よつて明かである。第1区、第5区の如く上下同じ土壤からなっているものにも、上層は耕耘されるので、水分含量其他物理的性質は下層土と多少異なるべきであるが、振幅の深さによる変化は大体としては連続的な指数曲線になつていてと見ても大した誤りはない。

次に観測結果を用いて深さと振幅との関係を表わす実験式を作る。

今地面に於ける振幅を R_0 、 x cm の振幅を R_x とすると第1区、5区の深さと振幅減少との関係は

$$R_x = R_0 e^{-\beta x}$$

で表わし得るが、第3区の様に不連続な層からなっている場合に於ては不連続な面を境として上下層の実験式を別々に作らなければならない。故に今第1層(客土層)の厚さを a cm (区により多少異なるも 12~13cm) とすると、この層内に於ける深さによる振幅減少の実験式は、第1層の地面及び x cm 深さの振幅をそれぞれ $R_{1,0}$ 、 $R_{1,x}$ とすると

$$R_{1,x} = R_{1,0} e^{-\beta x} \quad 0 < x < a$$

となり、又第2層(泥炭層)の実験式は境界面(即ち地面より a cm 深さ)及び $x(x > a)$ に於ける振幅をそれぞれ $R_{2,a}$ 、 $R_{2,x}$ とすると

$$R_{2,x} = R_{2,a} e^{-\beta x} \quad a < x < \infty$$

で表わされる。

観測結果を用いて実験式の常数を求めると次の如くなる。

第2表 実験式の常数

区	項	R_0 又は R_a	β
第1区		25.9	0.185
第3区	第1層	26.7	0.123
	第2層	3.1	0.132
第5区		22.7	0.088

次に上に述べた実験式の対数を取り少しく変形すると

$$x = \frac{\log R_0 - \log R_x}{\beta \log e}$$

となる。この式によつて、振幅が 0.1°C になる深さ p cm を求めることが出来る。各区の p の値を求めると次表の如くである。

第3表 振幅が 0.1°C になる深

区	第1区	第3区	第5区
$p(\text{cm})$	32	41	62

今地温日変化は振幅 0.1°C の深さ迄及ぶものとすると、泥炭

土に於ては地温の変化は極めて浅層に於てのみ見られ、32cm の深さに入ると日変化は殆ど認められぬが、壤土に於ては日変化は前者より遙かに深所まで及び62cm の深さに於て漸く振幅は 0.1°C になる。泥炭に2寸客土すると地温日変化の及ぶ深さは41cm となる。客土量の多くなる程日変化の及ぶ深さは深くなる傾向をもっている。

5. 温度伝導率

均質な土壌の温度伝導率は、深さによる振幅の減少及び最高最低温度起時の遅れから計算することが出来るが、第3区の様に客土層と泥炭層からなるものに於ては二層からなる場合の熱伝導式を解かなければならない。

(1) 第3区の温度伝導率 x 軸を土壌内部に向つて正にとり $x=0$ から $x=a$ cm 迄が第1層(客土層)、 $x=a$ から $x=\infty$ 迄が第2層(泥炭層)である場合には、両層に於ける熱伝導式は次の如く表わされる。

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = \frac{k_1}{c_1 \rho_1} \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} = \alpha_1^2 \frac{\partial^2 u_1}{\partial x^2} \quad 0 < x < a \dots (1)$$

$$\frac{\partial u_2}{\partial t} = \frac{k_2}{c_2 \rho_2} \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} = \alpha_2^2 \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} \quad a < x < \infty \dots (2)$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{\alpha_1 \sqrt{2p}} \frac{4 \left(1 - \frac{c_2 \rho_2 k_2}{c_1 \rho_1 k_1} \right) \sin \frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}} \cos \frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}} + \left\{ \left(1 + \frac{\sqrt{c_2 \rho_2 k_2}}{\sqrt{c_1 \rho_1 k_1}} \right)^2 e^{\frac{2(a-x)}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}}} - \left(1 - \frac{\sqrt{c_2 \rho_2 k_2}}{\sqrt{c_1 \rho_1 k_1}} \right)^2 e^{-\frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}}} \right\}}{\sin^2 \frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}} \left\{ \left(1 + \frac{\sqrt{c_2 \rho_2 k_2}}{\sqrt{c_1 \rho_1 k_1}} \right) e^{\frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}}} - \left(1 - \frac{\sqrt{c_2 \rho_2 k_2}}{\sqrt{c_1 \rho_1 k_1}} \right) e^{-\frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}}} \right\} - \left(1 - \frac{\sqrt{c_2 \rho_2 k_2}}{\sqrt{c_1 \rho_1 k_1}} \right)^2 e^{-\frac{2(a-x)}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}}} + \cos^2 \frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}} \left\{ \left(1 + \frac{\sqrt{c_2 \rho_2 k_2}}{\sqrt{c_1 \rho_1 k_1}} \right) e^{\frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}}} + \left(1 - \frac{\sqrt{c_2 \rho_2 k_2}}{\sqrt{c_1 \rho_1 k_1}} \right) e^{-\frac{a-x}{\alpha_1} \sqrt{\frac{p}{2}}} \right\}^2} \dots (9)$$

(9) 式右辺の常数 $c_1 \rho_1$, $c_2 \rho_2$ は測定の結果既知であるし、又 $\alpha_2^2 = \frac{k_2}{c_2 \rho_2}$ は、地温の観測結果から計算することが出来る。故に α_1^2 に色々な値を与え、 α_1^2 の各値に対応する $\frac{dt}{dx}$ の値を計算し、 $\frac{dt}{dx}$ と α_1^2 との関係を図に

但し u は地温、 k は熱伝導率、 c は比熱、 ρ は密度、 α^2 は温度伝導率で、添字1は第1層、添字2は第2層なることを示す。

$x=0$ なる地面に於ては

$$(u_1)_{x=0} = u_0 \cos pt = u_0 R e^{i p t} \dots (3)$$

$$\text{但し } p = \frac{2\pi}{T}$$

$x=a$ なる境界面に於ては

$$(u_1)_{x=a} = (u_2)_{x=a} \dots (4)$$

$$k_1 \left(\frac{\partial u_1}{\partial x} \right)_{x=a} = k_2 \left(\frac{\partial u_2}{\partial x} \right)_{x=a} \dots (5)$$

なる条件が成り立つものとする、(3), (4), (5) を満足する(1)及び(2)の解 u_1 , u_2 は容易に求められるから¹⁾

$$\frac{\partial u_1}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial u_2}{\partial t} = 0 \dots (6)$$

によつて地温の最高或は最低(以下最高だけを考える)起時を求め、次にこれを x で微分すると、深さによる最高温度起時の遅れを知ることが出来る。

第2層に於ける最高温度起時の遅れは

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{\alpha_2 \sqrt{2p}} \dots (7)$$

となり、第1層の有無に無関係なことがわかる。

(7) 式から

$$\alpha_2^2 = \frac{1}{2p \left(\frac{dt}{dx} \right)^2} \dots (8)$$

を得るから、(8)によつて第2層の温度伝導率が求められる。

第1層に於ける最高温度起時の遅れは次式で表わされる³⁾。

描き、観測結果から第1層に於ける $\frac{dt}{dx}$ を求め、これに相当する α_1^2 を図上から読みとり、第1層の α_1^2 を知る事が出来る。

実際の計算は次の如くなる。

(i) 第2層の温度伝導率 地温の観測値を調和分析し、その1日週期波を用いて(8)式で温度伝導率を計算すると

$$\alpha_2^2 = 0.00389 \text{ (C.G.S. 単位)}$$

となる。

(ii) 第1層の温度伝導率 実測或は計算の結果は

$$a = 13 \text{ cm}$$

$$c_1 \rho_1 = 0.390 \text{ cal/cm}^3, \quad c_2 \rho_2 = 0.791 \text{ cal/cm}^3,$$

$$\alpha_2^2 = 0.00266 \text{ (C.G.S. 単位)}$$

である。但し α_2^2 は(8)式で計算したものと、振幅の減少から求めたものとの平均である。

α_1^2 の値として 0.0020, 0.0025, ..., 0.0055, 0.0060 を採り、 $x = 6.5 \text{ cm}$ として(9)式によつて dt/dx の値を計算し、 α_1^2 と dt/dx との関係を図示すると第4図となる。

第4図 $\frac{dt}{dx} - \alpha_1^2$ 図

次に第1層の最高温度起時の遅れ dt/dx を、1日週期波から求めると 1266.0 sec/cm となるから、第4図の曲線上に於て $dt/dx = 1266.0$ に相当する α_1^2 を読みとると

$$\alpha_1^2 = 0.00525$$

なることがわかる。

(2) 第1区及び第5区の温度伝導率 この両区に於ても上層と下層では幾分その物理的性質は異なるも、茲では上下層均質であると仮定し、最高温度起時の遅れ

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{\alpha_v \sqrt{2p}}$$

従つて

$$\alpha^2 = \frac{1}{2p \left(\frac{dt}{dx} \right)^2}$$

によつて温度伝導率を求める。その結果は次表の如くである。

第4表 温度伝導率 C.G.S. 単位

区 深 項	第1区		第3区		第5区	
	0~10	10~20	第1層	第2層	0~10	10~20
温度伝導率	0.00298	0.00265	0.00525	0.00266	0.00481	0.00510

註 本表には前項で求めた第3区の温度伝導率を附記した。

上表の如く泥炭土の温度伝導率は壤土よりも著しく小さい。然し既に述べた様に第3区の温度伝導率は第1層 0.00525, 第2層 0.00266 であるから、泥炭土に客土すると温度伝導率は大きくなることがわかる。

参考のため他研究者の得た温度伝導率を掲げると次表の如くである。

第5表 温度伝導率

場 所	土 壤	深 (cm)	温度伝導率	測 定 者
Wikkarais	壤 土	5~40	0.00401	Homén ⁴⁾
札幌	堆積土	0~10	0.00318	八 鉄 ⁵⁾
〃	〃	10~20	0.00290	〃
Wikkarais	泥炭土	5~40	0.00120	Homén ⁴⁾
〃	〃	0~5	0.00136	Berg ⁶⁾
〃	〃	5~10	0.00171	〃
〃	〃	10~30	0.00368	〃
札幌	〃	0~10	0.00205	八 鉄 ⁵⁾
〃	〃	10~20	0.00090	〃

上の表を見ても泥炭土の温度伝導率は壤土より著しく小さい。

6. 熱伝導率

前節に於て温度伝導率を求めたから、各区土壌の熱伝導率は

$$\alpha^2 = \frac{k}{c\rho}$$

の関係により容易に求めることが出来る。

各区の熱容量 $c\rho$ は次表の如くである。

第6表 各区の熱容量 cal/cm³

区	第1区		第3区		第5区	
	上層	下層	第1層	第2層	上層	下層
熱 容 量	0.501	0.804	0.390	0.791	0.517	0.667

前節の温度伝導率の値を用い各区の熱伝導率を求める
と第7表となる。

第7表 各区土壤の熱伝導率 C.G.S 単位

区 深 cm 項	第1区		第3区		第5区	
	0~10	10~20	第1層	第2層	0~10	10~29
熱伝導率	0.00149	0.00213	0.00205	0.00210	0.00249	0.00340

各区の下層の熱伝導率を見るに、第1、第3区の泥炭層に於てはその値は $k=0.0021$ であるが、第5区の壤土の値はこれよりも遙かに大きい。上層に於ては第1区最も小で 0.0015 に過ぎないが、壤土区では 0.0025 の大きい値をもっている。第3区の客土層の値は両者の略々中間に位する。

7. 総 括

昭和 26 年 8 月の高温乾燥期に美唄に於て泥炭土及びこれに客土した場合の地温観測結果を総括すると次の如くなる。

(1) 泥炭土に客土すると地面温度が高くなるばかり

でなく相当深い層に於ても高温となる。壤土は地面に於ては泥炭土より少々低温であるが、地中内部に於ては泥炭土よりも著しく高い。一般に泥炭土の内部は他土壤より冷湿である。

(2) 振幅減少係数 β は泥炭土は大であるが壤土は非常に小さい。客土区に於ては客土量と共に β は小さくなる。

(3) 地温日変化の及ぶ深さ p は泥炭土に於ては僅か 32cm に過ぎないが壤土に於ては 62cm の深さ迄達す

る。客土区に於ては客土量が増すと共に p が大きくなる。即ち泥炭土の地温日変化は他土壤より浅層に限られているが客土によつて p を大にすることが出来る。

(4) 温度伝導率は泥炭土最も小で 0.0027~0.0030、壤土は 0.0048~0.0051 である。客土層に於ては 0.0053 となる。

泥炭土の熱伝導率は壤土より著しく小さいが泥炭土に客土すると熱伝導率は大きくなる。

本実験は文部省総合科学研究費の援助を得て行つたものである。同省に対し感謝の意を表する。又実験中種々便宜を与えられた道庁土地改良課及び農業試験場美唄泥炭地研究室の方々に対し厚く御礼を申し上げる。尙観測及び資料の整理に手伝つてくれた本多壮一、浅海博両君及び大泉英子嬢に深謝する次第である。

引用文献

- 1) 小平：物理数学 第二巻 (1940), 400.
- 2) 上井：気象集誌 10 (1932) '703.
- 3) 八鍬：北海道気象要報 2 (1943), 41.
- 4) Nippoldt, A., Keränen, J., Schweidler, E.; Einführung in die Geophysik, II (1929).
- 5) Yakuwa, R.: Geophy. Mag. 14 (1946), 1.
- 6) Berg, H.: Beitr. z. Phys. dfr. Atmosph., 23 (1936), 143.

Résumé

In this experiment the effect of soil dressing upon the temperature of peat soil was studied, the arrangement of plots in bottom-less wooden frames $4m \times 4m \times 0.3m$ set in the ground with surface of the contents as shown below about 3cm above the soil level, was as follows:—

Plot 1. Peat soil

Plot 2. 3cm thick loam+9cm peat soil, that is; 3cm thick loam was introduced on the peat soil and was carefully intermixed.

Plot 3. 6cm thick loam+6cm peat soil.

Plot 4. 9cm thick loam+3cm peat soil.

Plot 5. Loam which is used as soil dressing was filled in a wooden frame $2m \times 2m \times 1m$ set in the ground.

(1) If loam is introduced on peat soil, the temperature of the latter becomes considerably high as shown in Fig. 1 and 2 and in Table 1.

(2) In peat soil, the range of diurnal variation of soil temperature decreases with depth more rapidly than in loam, so at the depth of 32cm the range of temperature variation is almost unnoticeable (Fig. 3)

But if loam is introduced on peat soil, temperature variation enters deeper into the soil (Table 3).

(3) Thermal diffusivity of peat soil is much smaller than that of loam; the diffusivity of the dressed soil layer of plot 3 was much greater than that of plot (Table 4).

(4) Heat conductivity of each plot was calculated as shown in Table 7.