

## 水田及び畑地の温度伝導に関する一考察

佐藤 正 一

九州農業試験場

Sato, S. On the thermal diffusivity in the soils of paddy- and upland-field.

I. 筆者は前に水田に於ける水の熱学的な力が大きい為、に田表面に於る灌漑調節が地温支配の一大条件なる事を述べた<sup>1)</sup>。次に其の理由とこの拡張として畑地の場合を考察する。

地温を近似的に Fourier 級数で表す。

$$u(t, z) = u_m + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \theta^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{n\pi}{T}}} \sin\left(\frac{2\pi}{T}nt - \frac{z}{a} \sqrt{\frac{n\pi}{T}}\right) + q_n \dots \dots \dots (1)$$

茲に $u(t, z)$ は任意の時刻 $t$ 、深さ $z$ に於ける地温。 $u_m$ 日平均温度、 $T$ 週期、 $A_n$ 及び $q_n$ は常数、 $n = 1, 2, \dots$ ,

$$(1)は熱伝導基本式  $\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$  の解で、$$

$$a^2は温度伝導率(熱拡散率)  $a^2 = k/c\rho \dots \dots \dots (2)$$$

熱伝導率 $k$ に比例し、比熱 $c$ と密度 $\rho$ に反比例する。便宜上 $n = 1$ のみで処理する。(1)より $z$ 深さの地温日振幅は表面の振幅を $\alpha_0$ とすれば、

$$\alpha_z = \alpha_0 \theta^{-\frac{z}{a} \sqrt{\frac{\pi}{T}}} = \alpha_0 e^{-pz} \dots \dots \dots (3)$$

$$但し  $\frac{1}{a} \sqrt{\frac{\pi}{T}} = p \dots \dots \dots (4)$$$

此の深さと共に振幅の減少する指数 $p$ は地温実測から求められ、次に(4)によつて $a^2$ が得られる。 $\pi, T$ は常数。

他方、 $a^2$ は熱伝導率・比熱・密度が解れば(2)で計算出来る筈なので、耕地の構成要素(水田は土と水、畑は土・水・空気)の混合比率と、其等各々の $k, c, \rho$ から(2)により $a^2$ を計算する事により地温変化の機構を明かにしようと試みたのである。

## II. 水田の温度伝導率。

1949年夏の実測より得た $p, a^2$ を第1表に示す。

第1表	p		a <sup>2</sup>	
	表土	心土	表土	心土
湛水区	0.114	0.075	0.0030	0.0057
掛流区	0.129	0.098	0.0022	0.0025

心土内の $a^2$ は観測精度の点よりして幾分精確を欠くが両区共に表土内より大きい事は確である。

次に水田は土と水の容量を夫々 $x, y$ とし、(2)が実際には(5)によつて組立てられると考える。

$$a^2 (= k/c\rho) = (k_1x + k_2y) / (c_1x + c_2y) (\rho_1x + \rho_2y) \dots \dots \dots (5)$$

茲で空隙の全くない土壤の $k_1, c_1$ は実際は分らぬから岩石ので代用する。 $k, c, \rho$ の値を第2表に示す。

湛水下の表土は乾燥法と眞比重測定により何れも土の眞比重2.69、容量34.8% (水の容量65.2%)を得た。

第2表	容積	熱伝導率k	比熱c	密度ρ
土(花崗岩)	x	$k_1 = 0.006$	$c_1 = 0.2$	$\rho_1 = 2.7$
水(30°C)	y	$k_2 = 0.0015$	$c_2 = 0.998$	$\rho_2 = 0.996$
空気	z	$k_3 = 0.000057$	$c_3 = 0.241$	$\rho_3 = 0.0013$
[元]		cal./cm.sec. deg.	cal/gr. deg.	gr/cm <sup>3</sup>

今、 $x = 0.348, y = 0.652$ 、及び第2表の常数を(5)に入れると、

$$a^2 = 0.00275$$

となり、これは地温実測からの湛水表土の値に甚だ近い。

両者の差(関係誤差)は8.3%で、これは(5)計算の $k_1$ 以下諸数値が多少とも差を含む事を考えれば、水田の温度伝導率は一応(5)の右辺の如く土と水の夫々の熱伝導率・比熱・密度が容積比で組立てられるとみて差支えあるまい。(2)には $\rho$ があるから重量比は使えぬ。

心土の $a^2$ が表土の其より大きい事は、心土は土が増し水が減つたと考えれば、 $y = 1 - x$ なので之を(5)に入れて $x$ に就て微分し整理すると(詳細略す。)

$$\Delta(a^2) =$$

$$\frac{d}{dx} \left[ \frac{k_1x + k_2(1-x)}{\{c_1x + c_2(1-x)\} \{\rho_1x + \rho_2(1-x)\}} \right] dx > 0$$

となるので、土量が増せば $a^2$ が大きくなる事は正しい。

掛流区の $a^2$  (特に心土の) が湛水区より小さいのは  
 不断の流動水の為に組織が緩み土量が小と考えるより  
 以上に、静的な熱伝導に加えて夫々個有温度をもつ水  
 自身の土中移動交換があるらしい。

Ⅲ. 畑地の温度伝導率.

畑は土と水の他に空気の項を加えてみる。地温・含  
 水量・密度測定の場合として入鉄博士の結果<sup>2)</sup>  
 を借りる。乾区(1 $\pi$ 層の平均含水量16%)の振幅減  
 少指数 $p_a=0.0916$ , 濕区(含水19%)は $p_w=0.0880$ , 熱  
 容量 $C=c\rho$ は乾区0.48 $enl$ ., 濕区0.55 $enl$ であるから,  
 土・水・空気の容量比は下式により, 第3表の数値を  
 得る。

$$(c_1x+c_2y+c_3z)(\rho_1x+\rho_2y+\rho_3z)=0.48 \text{ (乾) 又は } 0.55 \text{ (濕)}$$

$$\rho_2y/(\rho_1x+\rho_2y+\rho_3z)=0.16 \text{ (乾) 又は } 0.19 \text{ (濕)}$$

$$x+y+z=1$$

第3表	土 x	水 y	空気 z
乾 区	0.397	0.202	0.401
濕 区	0.397	0.250	0.353

計算は便宜上 $\rho_3=0, c_2=1, \rho_2=1$ とした。

茲に $y+z=$ 全空隙量で, 此場合は両区相等しい。

次に入鉄氏の $p_a$ 及び $p_w$ から(2)により, 温度伝導率は

$$\text{乾区 } a_d^2=0.0043, \text{ 濕区 } a_w^2=0.0047 \text{ となる。}$$

一方, (5)を拡張して畑地用の

$$a^2 = \frac{(k_1x+k_2y+k_3z)}{(c_1x+c_2y+c_3z)(\rho_1x+\rho_2y+\rho_3z)} \dots (6)$$

に第2, 3表の数値を代入計算すれば, 温度伝導率は

$$\text{乾区 } a_d^2=0.0057, \text{ 濕区 } a_w^2=0.0051$$

となり, 濕区の方が小で入鉄氏の結果と正反対になる。

実測からの $a^2$ に対する関係誤差は, 乾区32.6%, 濕  
 区8.5%で, 乾区が特に(6)利用の不可な事を暗示して  
 いる。

然るに理論的には全空隙が一定( $y+z=s$ )で水  
 が増し空気が減つた際の $a^2$ は小となる筈である。之は  
 $x=1-s, z=s-y$ , 及び $s$ の範囲として0.4~0.65  
 を(6)に入れて $y$ で微分すれば(詳細省く.)

$$\Delta(a^2) = \frac{d}{dy}(a^2) dy < 0$$

となる事より解る。

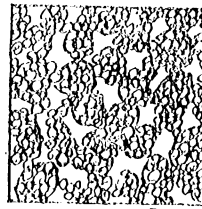
尚, 全空隙量(三成分共に)変化した場合の $a^2$ の増減  
 は,  $z=1-(x+y)$ を(6)に入れて

$$\Delta(a^2) = \frac{\partial(a^2)}{\partial x} dx + \frac{\partial(a^2)}{\partial y} dy$$

を検したが甚だ複雑で判断が困難である。

E.Wollny によれば降雨の為に大型非毛管空隙は31  
 %も減り土壌構造が単粒化するが, 全空隙減少は6%  
 に過ぎぬ。入鉄氏の濕区は前々日灌水したが全空隙量  
 に変化しないから, (6)が特に乾区に不適なのは土壌構造  
 が関係しているのであらう。

第1図



乾燥畑地の団粒構造(第1図)  
 では, 土の実容積の割に団粒  
 と団粒の接触面・点が僅少な  
 ので, 土から土への熱伝導が  
 悪く, (6)は次の如く書き改める  
 がよいと思われる。

$$a^2 = \frac{fk_1x+k_2y+k_3z}{(c_1x+c_2y+c_3z)(\rho_1x+\rho_2y+\rho_3z)} \dots (7)$$

$$\text{但し } 0 < f < 1 \dots (8)$$

即ち土の熱伝導の項を割引する。(7)を用いおぼ入鉄氏  
 の場合に, 乾区は $f_d=0.73$ , 濕区は $f_w=0.91$   
 を乗ずればよい。

$f$ は畑が濕潤で単粒構造ならば1に近く, 乾燥して  
 団粒構造の発達した時は小く, 即ち含水量が小さい或  
 範囲内では(7)の $f$ が小さい為に水分が増せば $a^2$ は大と  
 なり, 水分の或限度以上では単粒構造で(6)が適用され  
 て水分増と共に $a^2$ が小さくなるのであろう。

Ⅳ. 以上で水田と畑の温度伝導の機構を略々説明し得  
 たが尚種々の問題が残っている。其--は, (5), (6), (7)  
 の分母を各成分の合成比熱と合成密度の積とせず, 各  
 成分毎の熱容量の和とすると,  $a^2$ が過大になる事  
 であり, 之は数学的には兩種分母の比較で, 熱容量の和  
 とする方が小さくなる事から解るが, 物理的意義に就  
 ては今後に於て, 前記の $f$ の本質と共に理論と実験双  
 方より更に考究したい。

欄 外 脚 註

- 1). 灌漑法が水田地温に及ぼす影響: 佐藤正一, 九州  
 農事試験院研究発表会講演要旨, 第5号。
- 2). 土壌の水分含量と地中温度: 入鉄利助, 農業及園  
 芸, 12巻12号, P.3097—P.3103。