

傾斜地における局地気象観測(温度)

長崎大学工学部 学生員○松竹慎吾
 長崎大学工学部 正会員 武政剛弘
 長崎大学大学院 吉本隆英
 九州共立大学工学部 正会員 園田裕虎

1. はじめに

地表面の熱収支は、表面の植生や土壌水分に大きく影響される。本研究では、久住高原の傾斜地で行った地温観測結果に筆者らが提案している地温日変化の表現式を適応し、その式が良く日変化を表現できることを示した。さらに提案式を用いて土壌の深さ方向への地温変動の振幅の減衰から平均熱拡散係数を算出し、その値の妥当性を評価している。

2. 理論解析

z軸を地表面から下向きに取り、深さzでの時刻tの地温を θ 、熱拡散係数を κ で示し κ は時間のみの関数とし、そしてz軸方向にのみ熱の移動が起こると仮定すれば、次のような熱伝導方程式が得られる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \quad (1)$$

ただし熱拡散係数 κ は λ/C で表され、 λ :熱伝導率、 C :体積比熱である。

従来の地温解析では①式の κ は一定として取り扱われるが、実際には熱伝導率は地温と含水量に強く依存している¹⁾ので、熱拡散係数の値も1日を周期に変動していると考えられる。したがってここでは土壌中の熱移動を特徴づける熱拡散係数 κ が時間tの周期関数、

$$\kappa = \kappa_0 \{1 - \gamma \cos(t - \delta)\} = \kappa_0 f(t) \quad (2)$$

で表現できると仮定する。このとき地温日変化の表現式は次式のようになる。

$$\theta(z, t) = \theta_0 + \theta_{10} \exp(-z \sqrt{\omega/2\kappa_0}) \sin\{\omega t - \gamma(\sin \omega t) - z \sqrt{\omega/2\kappa_0 + \epsilon_1}\} \quad (3)$$

$$\theta(z, t) = \theta_0 + \bar{R}_1 \sin(\omega t - \gamma \sin \omega t + \epsilon_1) \quad (4)$$

ただし $\bar{R}_1 = \theta_{10} \exp(-z \sqrt{\omega/2\kappa_0})$, $\epsilon_1 = \epsilon_1 - z \sqrt{\omega/2\kappa_0}$

ここで $\theta_{12} = \bar{R}_1$

とおいて計算すると、

$$\ln \frac{\theta_{12}}{\theta_{10}} = -z \sqrt{\omega/2\kappa_0}$$

$$\left(\ln \frac{\theta_{12}}{\theta_{10}} \right)^2 = z^2 (\omega/2\kappa_0)$$

$$\kappa_0 = \left[\frac{z}{\ln(\theta_{12}/\theta_{10})} \right]^2 \frac{\omega}{2} \quad (5)$$

上式は深さ0cmとzcmの地温変動振幅からの平均熱拡散係数の算出式となる。任意の深さ z_1 , z_2 の地温変動振幅をそれぞれ $\bar{R}_1(z_1)$, $\bar{R}_1(z_2)$ とすれば、次式となる。²⁾

$$\kappa_0 = \left[\frac{z_1 - z_2}{\ln \bar{R}_1(z_1) - \ln \bar{R}_1(z_2)} \right]^2 \frac{\omega}{2} \quad (6)$$

3. 実測

九州大学農学部附属久住高原農場の傾斜地において、草地と裸地でそれぞれの地表面からの深さ0cm, 1cm, 2cm, 3cm, 5cm, 7cm, 10cmの地温を、1997年9月21日から10月8日まで10分間隔で連続して観測を行った。今回計算に使用する観測結果は、9月22日の0時から24時間測定によって得られた草地の地表面からの深さ0cm, 2cm, 5cm, 7cm

の地温変動値である。

4. 結果および考察

9月22日の各層の地温変化をそれぞれ、深さ0cm,2cm,5cm,7cmについて図1に示す。同図の測定結果から④式の解析値と実測値との比較を行う。

解析値を処理する過程は割愛するが、図2の結果から④式が良く日変化を表現していることが分かる。ここでは図2に深さ2cmでの値を示す。なお測定値を処理する過程で算出される各層での値を表1に示す。

次に図1の0cmから7cmまでの地温変動の振幅の減衰をから、表1の値を⑥式に適用して平均熱拡散係数 κ_0 を求めると、

$$\kappa_0 \div 0.30 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{/h)}$$

この値から熱拡散係数の1日の最大最小値が算出される。

$$\kappa_{\text{max}} = \kappa_0 (1 + \gamma) = 0.56 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{/h)}$$

$$\kappa_{\text{min}} = \kappa_0 (1 - \gamma) = 0.04 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{/h)}$$

さらに、熱拡散係数 κ の日変化は図3となる。

D.A.DE VRIES¹⁾により地表内の含水比が変化しない場合でも地温の変化により熱伝導率 λ が変化することが示されている。今回の観測でも、地表面の含水比はほとんど日変化を示さないが、地温日変化により熱伝導率 λ が日変化する。その結果、熱拡散係数 κ も日変化すると考えられる。

ここで観測現場の土壌成分から推測される熱伝導率を $\lambda = 0.28 \times 10^{-3} \text{ (cal/cm} \cdot \text{sec} \cdot ^\circ\text{C)}$ として、同採土による測定値の仮比重 $\rho_v = 0.62 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ 、体積含水率 $W_v = 49.2 \text{ (\%)}$ より次式、

$$C = 0.2 \rho_v + W_v / 100, \quad \kappa = \lambda / C$$

を用いて熱拡散係数 κ を求めると

$$\kappa = 0.17 \times 10^{-3} \text{ (m}^2\text{/h)}$$

が得られる。この数値は前述の②式より算出された値と比較すると、ほぼ妥当な値となっている。したがって、提案式の妥当性が云えるのではないかと考えられる。

【参考文献】

- 1) D.E.DE VRIES: Physics of environment
- 2) 武政剛弘・長 智男・黒田正治・薦田広章: 乾砂層内の温度日変化の新しい表現法. 農業気象43(4), 305-310, 1988

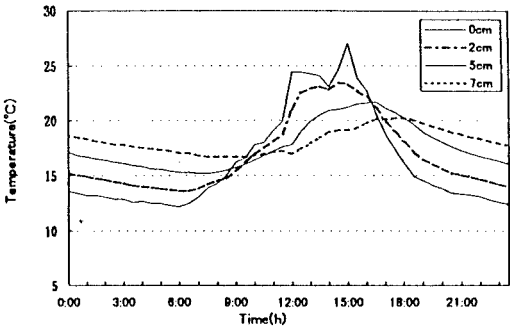


図1 各層における地温実測値

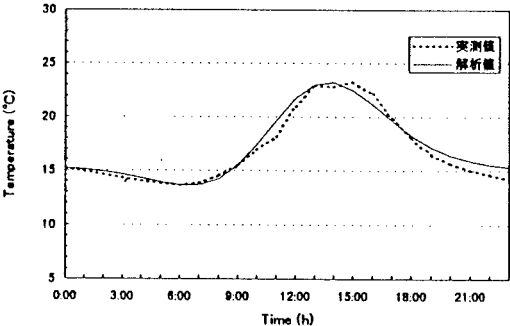


図2 測定値と解析値の比較

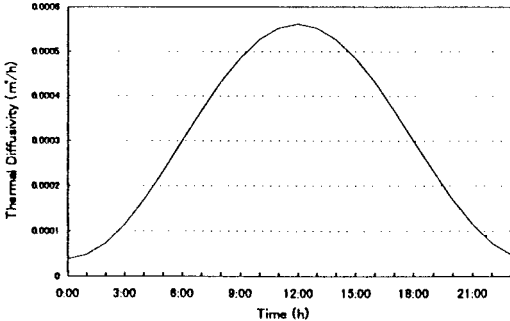


図3 κ の日変化の解析地

表1 各層における θ_s , $\bar{R}_1$, $\bar{\epsilon}_1$ の値

depth z (cm)	θ_s (°C)	$\bar{R}_1$ (°C)	γ (deg)	$\bar{\epsilon}_1$ (deg)
0	19.80	7.40	50	228.96
2	18.45	4.85	50	222.22
5	18.40	3.20	50	198.71
7	18.45	1.75	50	166.77