

浅層地盤中での水分と熱の移動現象

岐阜大学工学部 学生員 ○松岡 浩二
岐阜大学工学部 正員 佐藤 健

1 まえがき

地表付近の地盤での蒸発や霜柱形成の問題は、典型的な水と熱の連成移動現象である。蒸発現象では、水が水蒸気に相変化する際に、周辺地盤から吸収する潜熱、霜柱形成現象に関しては、水が凍結する際に発生する潜熱が熱移動・水分移動を起こすことはよく知られている。

本研究は以上のような浅層地盤中で日常的に繰り返し発生している熱と水分の移動現象を現地観測データを用いながら検討したものである。水分と熱の移動を同時に考慮した力学モデルがPhilip&de Vries¹⁾によって既に提案されており、そのモデルを利用した数値解析の結果も徐々に示されるようになってきた。しかしながら、モデルに含まれる各パラメータの決定法や実際現象とモデルの対応については、実測データが限られることもあって充分に行われているとは言い難い。本論文は土中の熱移動を熱伝導現象でどこまで追跡できるのかを調べるために行ったものである。Philipらの指摘によれば、地表付近の熱移動は水分移動と連成関係にあるとのことだが、水分移動が熱移動にどれ程寄与しているのかを実際のデータを用いながら考察した例がないので以下のような検討を行った。

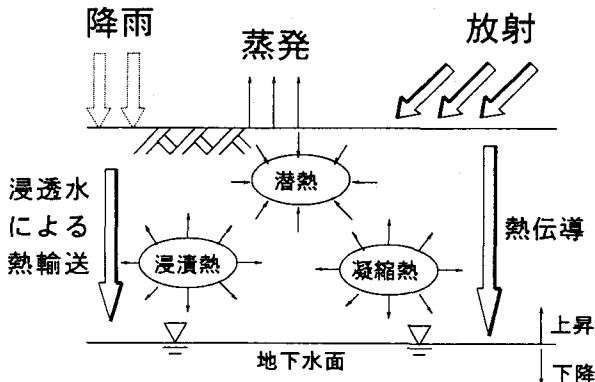


Fig. 1 土中の熱移動

2 現地観測データ

千葉県柏市の気象大学校構内にある産業気象課技術系の観測露場内で観測された昭和39年5月1日から昭和40年4月30日の365日間の観測データを用いた。観測項目は以下のようなものである。

地中温度	土壌水分	降水量	蒸発量	地下水位	気温（最高・最低）
0, 5, 10, 20, 50, 100CM 曲管地中温度計 鉄管地中温度計	0, 5, 10, 20, 50, 100CM 飽和度で表示 炉乾燥法による測定	貯水指示 雨量計	大型蒸発計 （直径 120CM）	自記水位計	観測装置用百葉箱

3 熱伝導による地中温度の再現性

一次元熱伝導方程式を利用して半無限地盤の熱伝導問題を考えてみる。今、地表面温度 Φ_0 が $\Phi_0 = A_1 \cos(\omega_1 t - \varepsilon_1)$ の周期的変動をした場合、深さZ、時刻tでの地中温度 $\Phi(Z, t)$ は

$$\Phi(Z, t) = A_1 e^{-\beta Z} \cos(\omega_1 t - \beta Z - \varepsilon_1) \quad \text{--- ①}$$
 A_1 : 振幅 ε_1 : 位相の遅れ
 ω_1 : 角速度 κ : 熱拡散率

で表せる。ここで、 $\beta = \sqrt{\frac{\omega_1}{2\kappa}}$

①式を利用して、地表面の温度が7日、1年周期のときの計算を行った。その結果をFig. 2に示した。

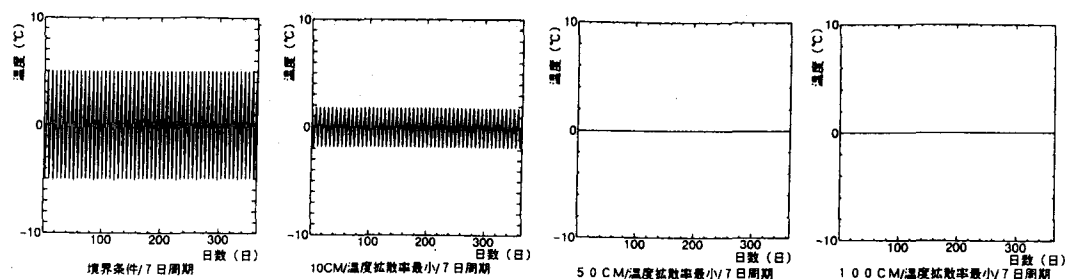


Fig. 2

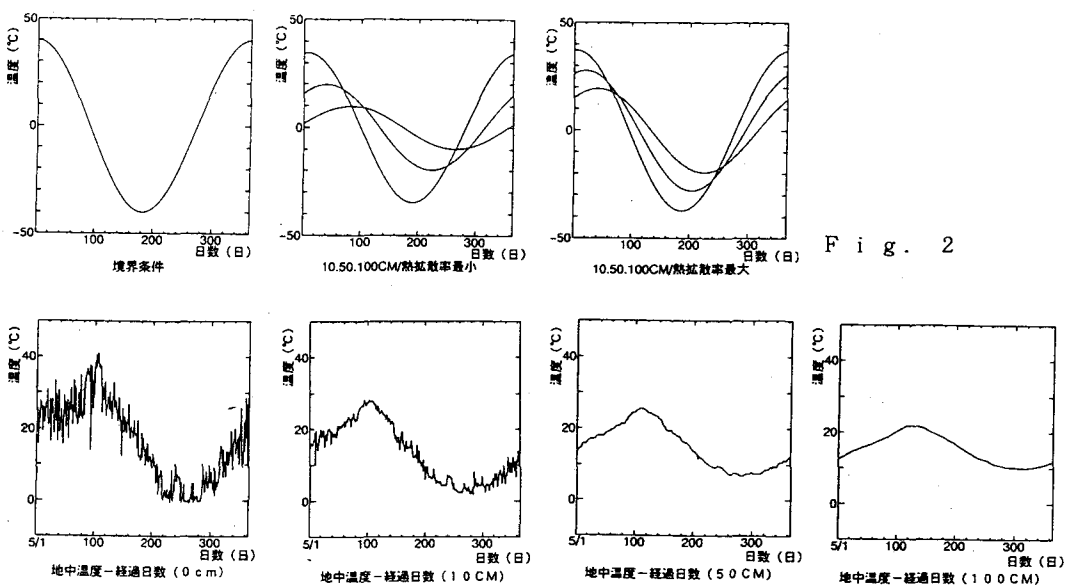


Fig. 3

4 結果と考察

計算に必要な熱拡散率 (κ) は現地の土を用いて丸山²⁾によって既に測定されている。計算は熱拡散率の最大値 (CASE 1)・最小値 (CASE 2) を用いた。実測された土中温度の変化を Fig. 3 に示した。計算値、実測値とも深度が増す程、温度変化の振幅が小さくなっていくのがよく分かる。また熱拡散率が小さくなる程、変動幅の減衰が大きくなることも分かる。熱拡散率 (κ) は、 $\kappa = \lambda / \rho C$ で定義される。熱伝導率 (λ) が小さく、また、比熱 (ρC) が大きくなる程、熱拡散率は小さくなって熱の移動が鈍くなり、Fig. 2 のような結果になったと理解できる。実測値との定量的な比較は検討できなかったが、傾向的には熱伝導でも実測値にみられる土中温度の変動はある程度追跡できそうなことが分かった。しかし、今回の試算は熱拡散率の飽和度依存性を考慮しておらず、土中水分量の変化による熱拡散率の変化を考慮すると結果がどのように変化するかを今後検討をしたい。また、土中温度の変動追跡には、熱拡散率がたいへん重要な役割を担うことが分かったので、現地試料を用いた熱拡散率の再計測とも併せ検討を続ける予定である。

参考文献

- 1) J.R.Philip and D.A.deVries :Moisture Movement in Porous Materials under Temperature Gradient, Trans. Amer. Geo. Un., Vol.38, pp222-232, 1957
- 2) 丸山 栄三 : 土壌の温度伝導度・熱伝導度・比熱・比容に対する土壌水分の影響, 農業気象, Vol.12, No.14, pp5-7, 1957