

## 速報

気温データによる地中5cmの地温データの補完方法の検討<sup>\*1</sup>清水貴範<sup>\*2</sup>・石塚成宏<sup>\*3</sup>

キーワード：気温、地温、補完方法、再帰型推定式

## I. はじめに

森林浅層土壌中の地中温度（地温）は、地中の熱・物質拡散に強い影響を及ぼす。例えば、土壌中の水分条件が比較的良好な我が国では、森林土壌面からのCO<sub>2</sub>フラックスは地温のみの関数として表され、それに基づいて通年の土壌呼吸量積算値が算出されている（石塚ら、2002）。その際、観測中のトラブルなどによって長期間の地温データに欠測が生じた場合には、気温データに基づく補完が行われる。しかし、気温から地温への推定は必ずしも精度良く行われるとは限らない。そこで本研究では、気温と林内の地温との関係について考察し、短期間に得られた気温・地温の関係から以降2ヶ月程度の地温を比較的精度良く推定するための方法を考案したので、ここに報告する。

## II. 観測データ及び検討方法の概要

森林総合研究所九州支所では、九州森林管理局と共同で、熊本県鹿北町に鹿北流域試験地を設定して気象観測を行っている。試験地内の主な樹種は谷筋～山腹でスギ、尾根付近ではヒノキであるが、山腹から尾根にかけての一部には常緑広葉樹が繁茂している。今回検討に用いるデータは、2000年10月22日から2001年1月5日にかけて得られた76日分の気温及び地温データである。気温データは、試験地内に建設した気象観測塔の地上高45m地点で、通風筒内の白金測温抵抗体を用いて観測したものである。また、地温データは試験地の山腹斜面の1地点で、地中深度5cmにサーミスタ温度計（ティアンドディ社：TR-0106）を設置して観測したものである。設置した地温計を検定付の水銀温度計と現地で比較した結果、誤差は±0.3℃程度であった。

本研究ではまず、解析対象データの初め3日分（2000年10月22日から同月24日までのデータ：以下、単に「3日分のデータ」と記す）から得られる気温と地温との関係について考察し、気温から地温への推定式の作成を行う。それに基づいて以降73日分の地温の推定を行って、その結果を実測データと比較することで、推定式の精度について検討を行う。

## III. 観測結果及び考察

## 1. 1次式による推定法

林内の地温に欠測を生じた場合、欠測していないデータセットを用いて気温-地温の関係を1次回帰式によって決定し、その式を用いて補完を行うのが最も単純な方法である。そこでまず、3日分の気温-地温データセットによる1次回帰式を用いて、以降73日分の地温を推定した際の推定精度について検討する。

図-1は気温の瞬間値と同時刻の地温の瞬間値とを、3日分のデータについて比較したものである。林内の地温は気温に対してある時間遅れを持って変化し、その値は上空の放射の影響をあまり受けずに緩やかに推移するため、日較差が非常に小さいという特徴を持つ。ただし、気温の瞬間値に対して地温の瞬間値を1時間後・2時間後…とずらして比較してみると、同時刻の瞬間値同士の比較に対して相関係数が著しく減少する（表-1）。従って、観測地での地温変化の時間遅れは、気温に対して1時間以内であったと考えられる。

次に、地温の変化の傾向を考慮して、気温の移動平均値を用いた比較を試行した。表-2は地温の瞬間値に対して、気温の平均化時間を1時間・2時間…と延ばして相関係数の変化を追跡した結果である。ここで例えば「2時間」とは、地温の瞬間値と同時刻から2時間遡った時刻までの気温の平均値との比較を意味する。観測地では、ある時刻の地温は同時刻における樹冠上の気温の瞬間値よりも、前時刻まで遡った平均値と高い相関があり、中でも前5時間の平均気温と最も相関が高いことが分かった。3日分のデータから得られた前5時間の平均気温  $T_{air(5)}$  と地温  $T_{5cm}$  との1次回帰式は、

$$T_{5cm} = 0.4032T_{air(5)} + 10.368 \quad (1)$$

となった。以降、式（1）によって推定される  $T_{5cm}$  の値を、「1次式による推定値」と呼ぶ。

## 2. 地温の履歴を考慮した推定式の考案

地温の変化が緩やかであるとは、地温の時間変化が外的要因（ここでは主として気温としている）の影響をそれほど強く受けずに連続的に変化している、と言い換えることが可能である。つ

<sup>\*1</sup> Shimizu, T. and Ishizuka, S.: An examination of the method to interpolate the soil temperature using a parameterized response to air temperature

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Center, Forestry and Forest Products Res. Inst., Kumamoto 860-0862

<sup>\*3</sup> 森林総合研究所北海道支所 Hokkaido Res. Center, Forestry and Forest Products Res. Inst., Sapporo 062-8516

まり、ある時刻の地温の値を推定する際に最も重要な値は前時刻の地温であり、その値から小さく連続的に変化する量について推定できれば、再帰的にその時刻の地温が得られることになる。そこで、これらの値を利用した推定式を考えることにする。このような条件で式を設定する場合、1次元の熱伝導方程式を差分化した以下の式 (Campbell, 1985) が参照できる。

$$C(T_i^{j+1} - T_i^j) / \Delta t = \frac{K_i(T_{i+1} - T_i) / \Delta z_{i+1} - K_{i-1}(T_i - T_{i-1}) / \Delta z_i}{0.5(\Delta z_{i+1} + \Delta z_i)} \quad (2)$$

式 (2) で  $T$  は対象とする節点における温度、下付きの添え字はある節点の位置、上付きの添え字はある時刻の値であることを表している。 $C, K$  は節点間の比熱及び熱拡散係数、 $\Delta t$  は前時刻からの経過時間、 $\Delta z$  は節点間の距離である。 $T_i$  として深度 5 cm の地温 ( $T_{5cm}$ )、 $T_{i+1}$  として樹冠上の気温 ( $T_{air}$ )、 $T_{i-1}$  としてほとんど日変化しない深さの地温 ( $T_d$ ) を考え、式 (2) を参考にして以下のような式を考えた。

$$T_{5cm}^{j+1} - T_{5cm}^j = \alpha (T_{air} - T_{5cm}) - \beta (T_{5cm} - T_d) \quad (3)$$

式 (3) では式 (2) における  $C, K, \Delta z, \Delta t$  は全てパラメータ  $\alpha$  及び  $\beta$  に入れ込まれた形になっている。 $T_d$  の値は観測値としては得られていないため、地温を推定する時刻から遡ること前 24 時間の地温の平均値を用いることとする。また、気温の瞬間値は前時刻の値よりも同時刻の値の方が地温の瞬間値に与える影響が大きいことを考慮して、式 (3) は陰的に解くことにする。以上より、パラメータ  $\alpha, \beta$  を決定できれば、気温及び前時刻の地温の値から再帰的に次時刻の地温を推定できる。本研究での 3 日分の気温と地温のデータから決定されたパラメータは  $\alpha = 0.09115, \beta = 0.12164$  であった。これらのパラメータを用いて以降 73 日分の地温の推定を行う。推定した地温は「再帰型推定式による推定値」と呼ぶことにする。

表-1. 地温変化に時間遅れを仮定した際の気温との相関係数

気温からの時間遅れ	地温との相関係数 R <sup>2</sup>
0時間	0.5879
1時間	0.4742
2時間	0.3514
3時間	0.2354
4時間	0.1374

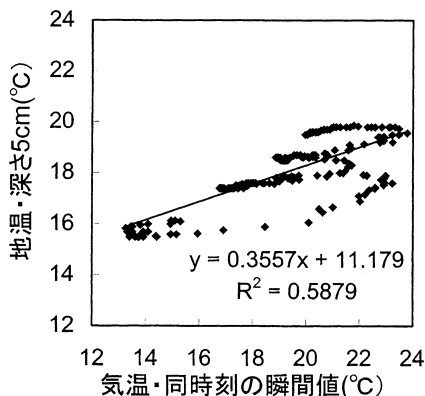


図-1. 気温の瞬間値と地温との関係 (3日分のデータセットによる)

#### IV. 推定精度の評価

図-2 に 1 次式及び再帰型推定式による 73 日間の地温推定値と実測値との時系列での比較を示す。1 次式による推定値は、地温の季節変化に追随出来ないことが分かる。これは 3 日分のデータのみに基づく回帰では、地温がほとんど変化しないために、切片項が大きくなる値になってしまうことに起因している。一方再帰型推定式による推定値は、季節変化を良く反映している。ただし、期間の後半で地温をやや過小に推定する傾向が顕れており、単一のパラメータセットを用いた際の限界が見てとれる。今回提案した再帰型推定式による地温推定法が、より実用的な方法として確立するためには、パラメータ決定の際に用いる気温・地温データセットの数 (本研究では 3 日分) や、同一のパラメータセットによる地温の推定を行った場合に推定精度を保持しうる期間について、詳細に検討する必要がある。また、気温データが付近の気象官署のものしか得られない場合の推定精度についても検証を行うことにより、より強固な補完方法になるものと考えられる。

#### 引用文献

- Campbell, G. S. (1985) パソコンで学ぶ土の物理学, (柏測辰昭訳, 187pp, 鹿島出版会, 東京), 25-28.  
 石塚成宏ほか (2002) 日林講要集 113 : p.501.

表-2. 地温と気温移動平均値との相関係数

気温平均化時間	相関係数 R <sup>2</sup>
1時間	0.6320
2時間	0.6685
3時間	0.6951
4時間	0.7106
5時間	0.7157
6時間	0.7091

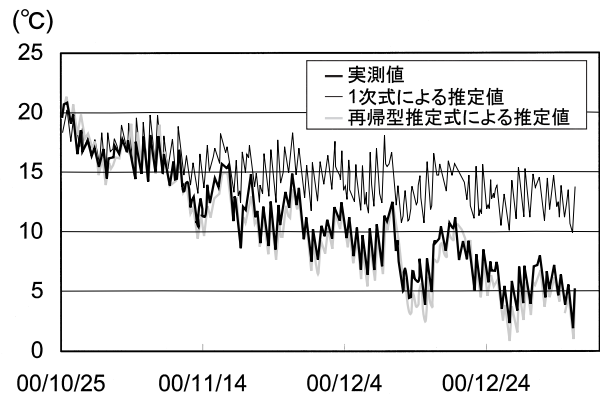


図-2. 1次推定式及び再帰型推定式を採用した場合の地温の推定値と実測値との比較

(2002年12月1日 受理)