

TDR水分計を用いて森林土壌の体積含水率を計測する場合の誤差要因

釣田竜也・吉永秀一郎・小林政広 (森林総研)

要旨: TDR水分計を用いて含水率を計測する場合に、TDR水分計の個体差、およびキャリブレーションしないことによって含水率の計測値に生じる誤差を明らかにした。均質媒体で測定した21本の同じ型のTDR水分計の個体差は、含水率にして最大で $0.03\text{m}^3\text{m}^{-3}$ の違いに相当した。TDR水分計を用いて現地計測した火山灰を母材とする土壌の含水率は、キャリブレーションしないでマニュアルに記載してある汎用式を用いた場合に、キャリブレーションした場合より平均値で $0.09\text{m}^3\text{m}^{-3}$ 小さくなった。火山灰を母材とする土壌では、TDR水分計の個体差よりもキャリブレーションしないことの方が大きな誤差の要因になると考えられる。

キーワード: TDR水分計, 含水率, 個体差, キャリブレーション, 誤差

I はじめに

近年、TDR水分計を用いた森林土壌の体積含水率（以下、含水率）の計測が普及してきている。TDR水分計は土壌中の電磁波の伝達周期が水分量に依存して変化することを利用しており、含水率を計測するにはTDR水分計で測定した伝達周期を含水率に関係付ける作業（以下、キャリブレーション）が必要である。伝達周期と含水率の関係は土性や土壌の有機物含量によって変わるため、含水率を正しく計測するためには、土壌ごとのキャリブレーションが必要であることが指摘されている。しかしこれを行わず、TDR水分計メーカーが用意した、様々な土壌に概ね適合するとされる式（以下、汎用式）を用いて含水率を算出する場合が少なくない。また、同じ型のTDR水分計で多点計測を行う場合、個体差が十分小さいことを確認せずに用いることも少なくない。本研究では、TDR水分計の個体差、およびキャリブレーションしないことによって森林土壌で計測される含水率に生じる誤差を明らかにする。

II 研究方法

1. TDR水分計の個体差の確認 本研究ではCampbell社のTDR水分計CS615を使用した。ロッド長は30cm、ロッド間隔は3.2cmである。出力値である伝達周期の単位はミリ秒（ms）である。既報(1)にならい、ガラスビーズ（粒径1mm）とそれより誘電率の大きいエタノールを組み合わせ、土壌の誘電率に比較的近い3種類の均質媒体を作り、それぞれを内径15.4cmの容器に深さ40cmまで詰め、21本のTDR水分計の出力値の個体差を調べた。

2. TDR水分計のキャリブレーション 茨城県城里町の林地斜面の深さ30cm付近から採取した、火山灰を母材

とする褐色森林土を用いた。土性は埴壤土である。2mmの円孔篩を通した風乾土壌を長さ32cm幅12cm高さ10cmの容器内に深さ8cmまで詰め、その中央にTDR水分計を設置した。土壌は現場とほぼ同じ乾燥密度（ 0.62Mgm^{-3} ）に詰めた。注射器で土壌に均一に水を加えながら段階的にTDR水分計の出力値（ms）と重量法で求めた含水率（ m^3m^{-3} ）の関係をプロットし、三次関数の近似曲線をキャリブレーション式とした。

3. TDR水分計による含水率の現地計測 キャリブレーション用の土壌を採取した地点近傍の深さ30cmに同じ型のTDR水分計を設置し、1時間間隔で出力値を計測した。観測は2003年4月に行い、観測中に50mmの降水があった。

III 結果

1. TDR水分計の個体差 21本のTDR水分計の出力値の平均値は、誘電率の大きいエタノールで大きく、誘電率の小さいガラスビーズで小さかった。（表-1）。一方、標準偏差（SD）および最大値と最小値の差には、3つの媒体間で大きな違いがなかった。TDR水分計の出力値の個体差を後に示すキャリブレーション式を用いて含水率に変換すると、標準偏差は $\pm 0.01\text{m}^3\text{m}^{-3}$ の違いに、最大値と最小値の差は $0.03\text{m}^3\text{m}^{-3}$ の違いに相当した。

表-1 均質媒体に対するTRD水分計の個体差 (n=21)

媒体	TDRの出力値(ms)	
	平均値 \pm SD ^a	最大値-最小値
ガラスビーズ(G)	0.810 \pm 0.017	0.052
G+E	1.138 \pm 0.012	0.044
エタノール(E)	1.439 \pm 0.016	0.055

^aStandard Deviation

Tatsuya TSURITA, Shuichiro YOSHINAGA, Masahiro KOBAYASHI (Forestry and Forest Products Research Institute, Matsunosato 1 Tsukuba Ibaraki 305-8687)

Analysis of error in measuring water content at forest soil using Time Domain Reflectometry

2. キャリブレーション式 対象土壌のキャリブレーション式は、含水率を θ (m^3m^{-3})、TDR水分計の出力値を τ (ms) とすると以下ようになった。

$$\theta = -2.3831 \tau^3 + 8.9605 \tau^2 - 10.391 \tau + 4.119$$

($R^2 = 0.996$)

CS615のマニュアルに記載してある、電気伝導度が $100\text{mS}\text{m}^{-1}$ 以下の場合の式(以下、CS615汎用式)は、対象土壌のキャリブレーション式より同じTDRの出力値に対して含水率を小さく算出する傾向があった(図-1)。その差は 1.0ms 付近では約 $0.1\text{m}^3\text{m}^{-3}$ 、 1.4ms 付近で約 $0.08\text{m}^3\text{m}^{-3}$ であった。また、 1.4ms 以上では差が小さくなる傾向があった。

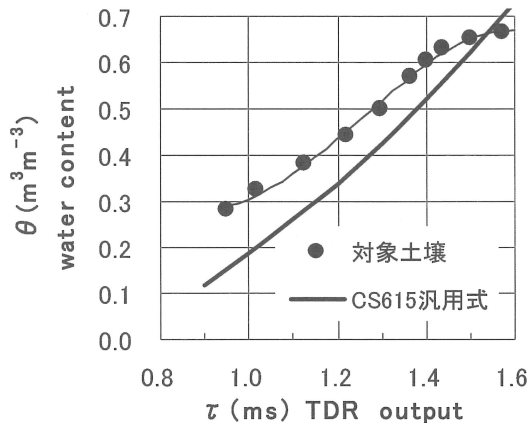


図-1 対象土壌のキャリブレーション式

3. 観測地点の含水率 TDR水分計で計測した観測地点の含水率は、キャリブレーションした場合、 $0.463 \sim 0.522\text{m}^3\text{m}^{-3}$ (平均値 0.491)であった(表-2)。キャリブレーションしない(CS615汎用式を用いる)場合、 $0.369 \sim 0.432\text{m}^3\text{m}^{-3}$ であった。キャリブレーションしない場合、含水率は平均値で約 $0.09\text{m}^3\text{m}^{-3}$ 小さくなった。一方、観測期間中の含水率の変化幅は、キャリブレーションした場合もしない場合も約 $0.06\text{m}^3\text{m}^{-3}$ で大きな違いがなかった。

表-2 計測期間中の観測地点の含水率

キャリブレーション	含水率(m^3m^{-3})		
	計測範囲	(平均値)	変化幅
あり	0.463~0.522	(0.491)	0.059
なし	0.369~0.432	(0.398)	0.063

IV 考察とまとめ

本研究で対象とした土壌では、TDR水分計の個体差よりもキャリブレーションしないことの方が大きな誤差の生じる要因であった。これは今回の対象が、乾燥密度が小さく粘土含量が大きい特徴をもつ火山灰を母材とする土壌であったためと考えられる。これと同様な性質をもつ黒ボク土で、別の型のTDR水分計によるものであ

るが、代表的な汎用式であるTopp式(3)を用いた場合に低水分領域で実際の含水率より約 $0.1\text{m}^3\text{m}^{-3}$ 小さくなる事が報告されている(2)。これとほぼ同様の傾向が本研究でも認められた。粘土含量が大きい土壌は吸着水の割合が大きく、見かけの誘電率が低下することが要因と考えられている(3)。一方、Topp式を用いた場合でもほぼ正しい含水率が算出される土壌も報告されている(2)。従って、キャリブレーションしないことによって生じる誤差は土壌によって異なると考えられる。

火山灰を母材とする土壌では、TDR水分計のキャリブレーションをしないと含水率が $0.1\text{m}^3\text{m}^{-3}$ 程度小さくなると予想される。一方、観測される含水率の変化幅には、キャリブレーションした場合としない場合で大きな違いがなかった。従って、キャリブレーションしないことは、TDR水分計で計測した含水率を土壌の乾湿状態の相対的な変化の指標に用いる場合、特に大きな誤差の要因にならないと考えられる。

引用文献

- (1) 小林政広・酒井正治(2002) 2種類の土壌水分計のキャリブレーション. 九州森林研究55:86-90.
- (2) 宮本輝仁・筑紫二郎(2000) 土壌体積含水率-比誘電率関係への混合誘電特性モデルの適用. 農土論集206:57-62.
- (3) TOPP, G. C., DAVIS, J. L., ANNAN, A. P. (1980) Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. Water Resour Res.,16(3):574-582.