

## サーモ TDR による礫含有土壌の水分量および熱特性の計測

## Measuring soil moisture and thermal properties in gravel-containing soil using Thermo-TDR

○小島悠揮<sup>1</sup>, 鈴木拓実<sup>2</sup>, 神谷浩二<sup>1</sup>Yuki Kojima<sup>1</sup>, Takumi Suzuki<sup>2</sup>, and Kohji Kamiya<sup>1</sup>

## 1. はじめに

リモートセンシングを用いた表層土壌の水分量や物理特性の面的測定手法の開発が進められており、その精度は、地上の土壌センサとの比較で検証される。この時、自然土壌には礫などの大きな粒子が含まれるため、バルクの水分量や物理特性をセンサで正確に測定するには、礫の影響を考慮することが重要である。しかし、一般的な土壌センサは測定サイズが小さく、礫の存在を考慮できず、バルクの水分量や物理特性を正確に把握できない。

サーモ TDR は、体積含水率、体積熱容量、熱伝導率など様々な土壌物性を測定できる有用なセンサだが、検針部のサイズが約 4 cm と小さいため同様の問題を抱えている。そこで本研究では、サーモ TDR のサイズを拡大することで、礫を含む土壌においてバルクの水分量および熱特性を適切に測定できるか検討した。

## 2. 実験材料と方法

サーモ TDR は 3 つのサイズを作成した。従来の形状である検針長さ  $L = 40$  mm, 間隔  $r = 6$  mm (S サイズ),  $L = 70$  mm,  $r = 10$  mm のセンサ (M サイズ),  $L = 100$  mm,  $r = 15$  mm のセンサ (L サイズ) を作成した。

実験試料は黒ボク土と礫の混合土を用いた。混合土の乾燥質量に対する礫分の質量比  $R_m$  を 0, 10, 20, 30% に設定し、混合土を作成した。この時、黒ボク土は体積含水率

を 0.00, 0.20, 0.40  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  に調整したものを用いた。作成した混合土は、黒ボク土の圧縮状態が均一 ( $800 \text{ kg m}^{-3}$ ) になるように、プラスチック容器 (縦 153 mm × 横 278 mm × 高さ 165 mm) に充填した。作成した各サーモ TDR センサを土壌表面から挿入し、TDR 法によって土壌の比誘電率を、DHPH 法によって熱伝導率、体積熱容量を測定した。尚、今回黒ボク土を使用したことから、測定した比誘電率は Miyamoto et al. (2001) の式によって体積含水率に換算した。

混合土の体積含水率の真値は炉乾燥によって求めた。また、その体積含水率を用いて、各土壌構成要素 (黒ボク土粒子、礫、水) の体積割合と体積熱容量から土壌の体積熱容量の真値を決定した。さらに、混合土の熱伝導率を定常法によって測定し、真値として扱った。

## 3. 結果と考察

図 1 にサーモ TDR で測定した体積含水率を示した。S, M サイズのセンサは、未混合土でも平均  $0.07 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  の過大評価が見られたが、礫混合土ではその過大評価傾向が促進され、最大で  $0.17 \text{ m}^3 \text{m}^{-3}$  の過大評価が見られた。その一方で L サイズセンサでは、真値に近い値を計測できた。小型センサでは黒ボク土の水分量を計測しており、礫の影響を捉えられていないと考えられる。

図 2 にサーモ TDR で計測した体積熱容量を示した。S サイズのセンサと比べて、M,

1) 岐阜大学工学部 Faculty of Engineering, Gifu University

2) 岐阜大学大学院自然科学研究科 Graduate School of Natural Science and Technology, Gifu University

キーワード: 礫混じり土, サーモ TDR, 体積含水率, 体積熱容量, 熱伝導率

L サイズのセンサは礫含有率が増加すると測定値にばらつきが見られた。その一方で、平均値は真値に近い値を計測できていた。例えば  $R_m = 30\%$ 、黒ボク土の水分量  $0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  の混合土では真値の  $2.3 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  に対して、S, M, L サイズのセンサは平均値がそれぞれ  $2.7, 2.3, 2.4 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 、標準偏差が  $0.3, 0.6, 0.9 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  だった。このことは、センササイズの拡大により測定値がバルクの値に近づいたことを示している。センササイズに伴って測定値がばらつく傾向は、プローブに礫が近接する確率が高くなるためと考えられる。またプローブのたわみなどが発生しやすくなったことも原因として考えられる。

図 3 にサーモ TDR で計測した熱伝導率を示した。熱伝導率も体積熱容量と同様の傾向が見られた。S サイズセンサは真値よりも小さい値となる傾向があり、M と L サイズセンサは測定の変動は増えるものの、平均値は真値と近かった。  $R_m = 30\%$ 、黒ボク土の水分量  $0.4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  の混合土では真値の  $0.80 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  に対して、S, M, L サイズのセンサは平均値がそれぞれ  $0.56, 0.74, 0.82 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 、標準偏差が  $0.07, 0.10, 0.14 \text{ W m}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  だった。体積含水率の測定結果と同様に、熱特性においても S サイズセンサは混合土内

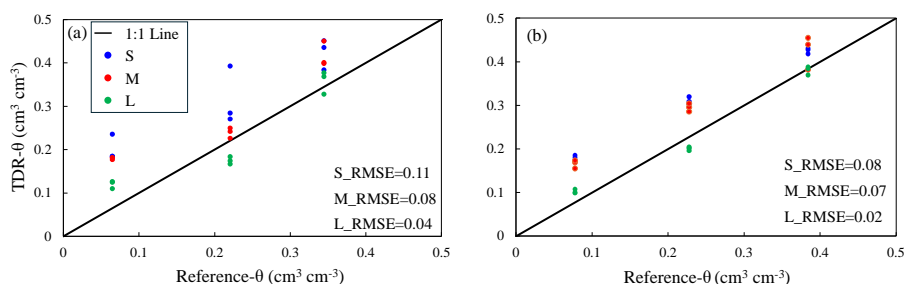


図 1 サーモ TDR で計測した体積含水率 (a)  $R_m 30\%$ , (b)  $R_m 0\%$ .

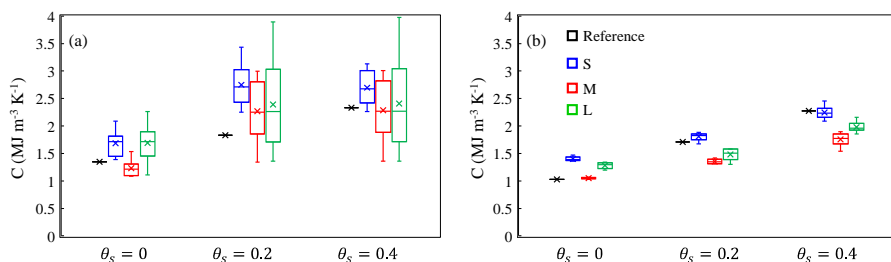


図 2 サーモ TDR で計測した体積熱容量 (a)  $R_m 30\%$ , (b)  $R_m 0\%$ .

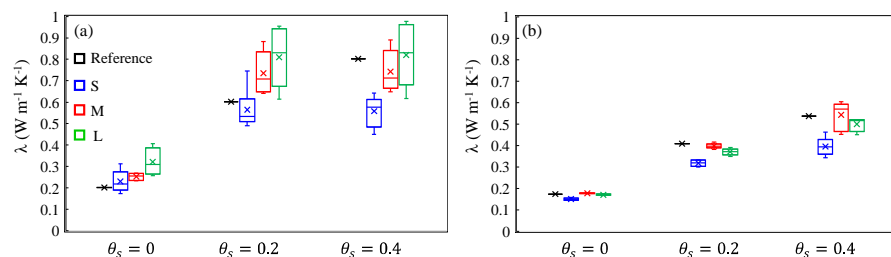


図 3 サーモ TDR で計測した熱伝導率 (a)  $R_m 30\%$ , (b)  $R_m 0\%$ .

の黒ボク土の特性を測定していると考えられ、従来形状のセンサではバルクの値を捉えられないことがわかった。

#### 4. おわりに

サイズの異なる 3 つのサーモ TDR を用いて、礫混合土の土壌水分量と熱特性の計測を試みた。従来形状のサーモ TDR センサでは、礫まで含めたバルクの土壌特性を計測することが難しいこと、サイズ拡大によってこれを解決できる可能性が示された。その一方で、センサの拡大によって測定値にばらつきが生じやすくなることも分かったため、検温プローブやプローブ内の温度計の追加など、センサデザインの改良によってばらつきを抑える工夫が必要である。