

# 土壌水分センサーの動作不良発生状況 およびロガー依存出力値について

星野亜季<sup>1</sup>・藤巻晴行<sup>2</sup>・大黒俊哉<sup>1</sup>・武内和彦<sup>1</sup>

## Malfunctions of soil moisture sensor and its dependence of data logger

Aki HOSHINO<sup>1</sup>, Haruyuki FUJIMAKI<sup>2</sup>, Toshiya OKURO<sup>1</sup> and Kazuhiko TAKEUCHI<sup>1</sup>

**Abstract:** We experienced malfunctions in soil moisture sensors (10HS, ECH<sub>2</sub>O-TE and 5TE; Decagon Devices Inc.) and different range of output value of Em5 with Em5b and Em50, through column experiments. The percentages of malfunctions were 17 %, 0 % and 30 % for 10HS, 5TE and ECH<sub>2</sub>O-TE sensor, respectively. The malfunction was decided that the output value was too high or low to calibrate with data logger which is assumed to work. Also, we found that the range of output value of Em5 data logger was different from that of Em5b and Em50. Therefore, it is needed to specific calibration when Em5 data logger is used with other data logger (Em5b, Em50).

**Key Words :** soil moisture sensor, data logger, malfunction

### 1. はじめに

土壌水分センサーは、挿入した地点および深さにおける土壌水分を連続的に観測できる便利な装置である。得られた土壌水分量を土壌水分保持曲線に代入することでマトリックポテンシャルを簡便に推測できる。近年、誘電率の水分依存性を利用した様々なセンサーが開発されてきた (Inoue et al., 2008)。しかし、センサーは便利な反面、現場観測や植物の応答実験において、データ欠損や周辺機器に依存した出力値異常が発生した場合、研究の遂行に深刻な影響を与える。よって、実験開始前に、使用する土壌水分センサーの動作不良の発生率や周辺機器依存性を予め把握しておくことが重要である。そこで本論文では、最近土壌物理分野で用いられ始めている土壌水分センサー (10HS, 5TE および ECH<sub>2</sub>O-TE) の動作不良状況の実態とデータロガー Em5 に依存したセンサーの出力値異常について報告する。

### 2. 実験の概要およびセンサー選択

今回の報告の内容は、植物の耐塩性および耐乾性に関

する特性について把握するために行ったカラム実験から得られた結果である。植物の耐塩性および耐乾性に関するパラメータを明らかにするために、Fujimaki et al. (2008) で提案されている方法に従いカラム実験を行った。3種のイネ科植物 (*Stipa krylovii*: *Stipa*, *Leymus chinensis*: *Leymus*, *Nelica 1*: *Nelica*) を約5ヶ月栽培し、土壌水分センサーを用いて栽培期間中の土壌水分、土壌温度、塩濃度を測定した。土壌水分、塩分および温度を同時測定するため、10HS (土壌水分) と4極センサー (温度・電気伝導度) もしくは、5TE (土壌水分・温度・電気伝導度)、ECH<sub>2</sub>O-TE (土壌水分・温度・電気伝導度) によって測定を行った。利用可能なセンサー数に限りがあったため、上記の様に種類の異なるセンサーを組み合わせ、最も低いコストで実験の遂行が可能なセンサーを選択した。*Stipa* と *Leymus* の実験では、10HS, 5TE, ECH<sub>2</sub>O-TE をそれぞれ12, 2, 4本用いた。*Nelica 1* の実験では、5TE, ECH<sub>2</sub>O-TE をそれぞれ3, 6本用いた。センサーの埋設深さは5, 15, 25 (もしくは30) cmである。Fig. 1に *Stipa* と *Leymus* の実験において、10HS と4極センサーを組み合わせた場合のカラムおよび *Nelica 1* のカラムのセンサー設置の概要を示した。

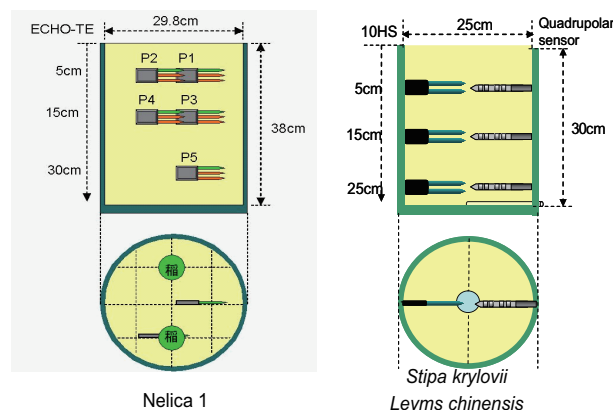


Fig. 1 カラム実験の設定概要。 Schematic of the experimental set up.

<sup>1</sup>Graduate School of Agricultural and Life Sciences, The University of Tokyo, 1-1-1 Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8657, Japan. Corresponding author: 星野亜季, 東京大学農学生命科学研究科

<sup>2</sup>Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8572, Japan  
2009年10月5日受稿 2010年1月25日受理  
土壌の物理性 114号, 23-25 (2010)

**Table 1** 実験における環境設定の概要。  
The settings of experimental environments.

Plants name grew at pots	<i>Stiapa krylovii</i> <i>Leymus chinensis</i>	Nelica 1
Place	Glass greenhouse at University of Tokyo	Biotrom (PLMP-50S) at University of Tsukuba
Temperature	25 °C ( 6:00 – 18:00 ) , 20 °C ( 18:00 – 6:00 )	30 °C ( turn on the light ) , 25 °C ( turn off the light )
Humidity	50 % ± 10 %	50 % ± 10 %
Day length	15 h	14 h
Soil type	Andosols	Andosols

**Table 2** 各土壌水分センサーの動作不良状況。  
The number of malfunction sensors at each kind of sensor.

Plants name grew at pots	<i>Stiapa krylovii</i> <i>Leymus chinensis</i>			Nelica 1	
	10HS	5TE	ECH <sub>2</sub> O-TE	5TE	ECH <sub>2</sub> O-TE
Soil moisture sensor	10HS	5TE	ECH <sub>2</sub> O-TE	5TE	ECH <sub>2</sub> O-TE
The number of used sensors	12	2	4	3	6
The number of malfunction sensors	2	0	0	0	3
Depth of sensors ( cm )	5, 15, 25	5, 15	5, 15, 25	5, 15, 30	5, 15, 30
Depth of malfunction sensors ( cm )	5, 15				15, 30, 30

### 3. センサーの動作不良発生状況

動作不良センサーの実験環境条件を Table 1 に、土壌水分センサー 10HS, 5TE および ECH<sub>2</sub>O-TE の動作不良状況を Table 2 に示す。動作不良の判断は、出力データが異常な値を示し、正しく動作することが確認されているロガーに換えても、異常値の出力を続けた場合に動作不良と判断した。異常値とは、水分・温度・電気伝導度に関する出力値について校正が不可能な程度の極端に大きいもしくは小さい値の場合や、出力しない場合をここでは指す。Stipa と Leymus の実験では、10HS で 2 本の動作不良を確認した。動作不良が確認された土壌水分センサーの埋設深度は 5, 15 cm であった。Nelica 1 の実験では、ECH<sub>2</sub>O-TE で 3 本の動作不良を確認した。動作不良が確認された土壌水分センサーの埋設深度は 15, 30 cm であり、30 cm では 2 度の動作不良を確認した。動作不良と埋設深度に傾向は確認されなかった。全体の実験を通じて、各センサーの動作不良発生率は、10HS では 17 % (動作不良 : 2 / 12 本), 5TE では 0 % (動作不良 : 0 / 5 本), ECH<sub>2</sub>O-TE では 30 % (動作不良 : 3 / 10 本) であった。動作不良の理由は不明であるが、恒温室で行われていた実験中 (Table 1), 土壌からの抜き差しが無い状態で異常値を出力していた。

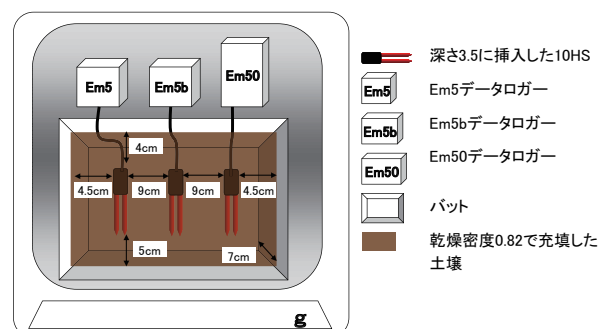
### 4. ロガー機種依存出力値について

Stipa と Leymus の実験において使用した Em5 において、ロガー依存と思われる異常出力値が確認された。そのため、正常に動作することが確認されている、10HS を 3 本用いて、データロガー Em50, Em5 および Em5b のキャリブレーション実験を行った (Fig. 2)。キャリブレーション実験には、蒸留水を用いて水溶性塩類の溶脱を十分に行った黒ボク土を用いた。黒ボク土を 23 × 33 × 6 cm の容器に乾燥密度 0.82 で充填した。この際、

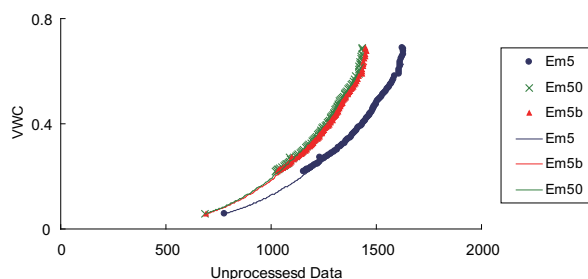
10HS センサーを水平方向に深さ 3 cm の地点へ挿入した。圃場容水量を上回るに足る十分な蒸留水を与え、室温・湿度を一定に保ち、重量変化および各データロガーにおける測定をそれぞれ 5 分毎に行った。重量変化から体積含水率を算出した。その結果を Fig. 3 に示す。X 軸にデータロガーからの出力値を Y 軸に重量変化から割り出した体積含水率 (VWC) をとった。Fig. 3 から、Em5 の出力値がほかの二つのロガーの出力値とは異なることが分かる。キャリブレーション実験から、Em5 とその他のデータロガー (Em5, Em50) を一緒に使用する際は、出力値に十分注意するとともに、データロガー毎のキャリブレーションの必要があることが示された。

### 5. デカゴン社の土壌水分センサーおよびデータロガーの経済的優位性

本論では、デカゴン社の土壌水分センサーおよびデータロガーに関する様々な動作不良を報告したが、コスト面から考えると、プローブ数が約 60 本を越えない限りは、より信頼性の高いと思われる TDR システムよりも 5TE の方が安価である。費用は以下の式で算出した。



**Fig. 2** キャリブレーション実験の設定概要。  
Schematic of the calibration experimental set up.



**Fig. 3** Em50, Em5b および Em5 のキャリブレーション結果 . Calibration data of Em50, Em5b and Em5. Regression formulas are  $Y = 2E-11X^{3.247}$  ( $R^2 = 0.993$  : Em5),  $Y = 3E-11X^{3.247}$  ( $R^2 = 0.993$  : Em50) and  $Y = 3E-11X^{3.247}$  ( $R^2 = 0.993$  : Em5b).

$$CTDR = PL + PC + PMt [n/NMtc + 1] + PM [n/NMc] + 1 + PP \times n \quad (1)$$

$$C5TE = Em50 [n/NLc + 1] + 5TE \times n \quad (2)$$

ここで、*CTDR*：TDR システムに必要な費用、*PL*：データロガーの定価 (CR1000-4M：¥288,750)、*PC*：ケーブルテスターの定価 (TDR100：¥745,500)、*PMt*：温度センサー用マルチプレクサーの定価 (AM25T：¥212,100)、*n*：プローブ数、*NMtc*：温度センサー用マルチプレクサーのチャンネル数 (25 ch)、*PM*：TDR 用のマルチプレクサーの定価 (SDMX50SP：¥120,750)、*NLc*：データロガーのチャンネル数、*NMc*：マルチプレクサーのチャンネル数 (7 ch)、*PP*：プローブの定価 (CS605-L25：¥24,150)、*C5TE*：5TE および Em50 を用いる場合に必要費用、Em50：データロガーの定価 (Em50：¥106,000)、5TE：プローブの定価 (5TE：¥48,000) である。[ ] はガウス記号で、整数への切り捨てを意味する。

以上から、今回の様な、少数のプローブで遂行可能な実験においては、初期投資が少なく済むという利点がある。また、より信頼性を高めるために、センサーを同一

深度に複数埋設したとしても、少数の場合 (測定点 15 点程度の場合) は TDR よりも安く済む。以上から、必要測定点が少数の場合は、繰返し用センサーの埋設をすることで、報告した動作不良に関するリスクを低減させることができると考えられる。また、電子天秤に余裕があれば、Em50 と 5TE を組み合わせて、カラム実験の重量測定を自動化することも可能である。

## 6. おわりに

セミナーの討論時にコリン・キャンベル氏から「データロガー Em5 はその後に開発された Em5b や Em50 とファームウェアが異なるので、もし Em5 で同様な不具合がある場合には連絡してほしい」とのコメントがあった。したがって、本論で指摘した土壌水分センサー出力値のデータロガー依存性については問題が解決できたと思われる。いずれにせよ、土壌水分センサーの開発は日進月歩なので、土壌水分を測定する際は、データロガーと土壌水分センサーの組み合わせを考慮して動作確認しておく必要がある。

## 謝辞

Nelica 1 に関する実験は、筑波大学生命環境科学研究科における修士学位研究の一環として林誌音氏が行ったものであり、実験概要を示した図を提供していただいた。ここに記して、深謝致します。

## 引用文献

- Fujimaki, H., Ando, Y., Cui, Y. and Inoue, M. (2008): Parameter estimation of a root water uptake model under salinity stress. *Vadose Zone Journal*, 7: 31–38.
- Inoue, M., Ould Ahmed, B.A., Saito T. and Irshad, M. (2008): Comparison of twelve dielectric moisture probes for soil water management. *American Journal of Environmental Sciences*, 4(4), 367–372.

## 要 旨

カラム実験から得られた、土壌水分センサー (10HS, 5TE および ECH<sub>2</sub>O-TE) の動作不良状況およびデータロガー Em5 に依存したセンサーの出力値について報告する。動作不良状況は、10HS, 5TE および ECH<sub>2</sub>O-TE でそれぞれ、17%, 0% および 30% であった。動作不良の判断は、出力データが異常な値を示し、正しく動作することが確認されているロガーに換えても、異常値の出力を続けた場合に動作不良と判断した。異常値とは、水分・温度・電気伝導度に関する出力値について校正が不可能な程度の極端に大きいもしくは小さい値の場合や、出力しない場合をここでは指す。また、キャリブレーション実験から、Em5 の出力値がほかの二つのロガーの出力値とは異なることがわかった。Em5 と Em5, Em50 を一緒に使用する際は、データロガー毎のキャリブレーションの必要があることが示された。

キーワード: 土壌水分センサー, データロガー, 動作不良