

低価格な土壤水分センサの出力値に関する基礎的な研究 Basic research on output values of low-cost soil moisture sensors

○阿部 功希* 藤川 智紀** 金子 貴徳**

○Koki ABE* Tomonori FUJIKAWA** Takanori KANEKO**

1. はじめに

現在、限られた労働力で収量、品質、作業効率、作業精度を維持・向上させていく必要があり、スマート農業が期待されている。例えば、農作物への灌水作業の効率化を担う土壤水分センサは、精度は多少劣っても低価格のものの方がより広範かつ急速に普及が進むと予想される(藤巻ら, 2021)。低価格な土壤水分センサ(以下、低価格センサ)と出力値の関係については、González-Teruel et al. (2018)は粘土と砂質土を用いて、土性の違いによる低価格センサの出力値の変化を確認しており、土性ごとに校正式のパラメータが異なることを示している。また、藤巻ら(2021)は鳥取砂丘砂を用いて、低価格センサの出力値が高塩分濃度で低下することを報告している。日本の土壤においても土性と塩分濃度が低価格センサの出力値に与える影響を明らかにする必要がある。よって、本研究では豊浦砂と国内の畑地に広く分布する黒ボク土で土性と塩分濃度が低価格センサに与える影響を検証する。

2. 試料および方法

試料は、風乾後に2 mmの篩にかけた黒ボク土(Andosol, 東京都世田谷区)と塩分を取り除くために3回洗浄した豊浦砂(Sand, 山口県下関市)の2種類を用いた。それぞれ土壤に、0, 250, 2,500, 25,000 ppmの4段階の濃度に調整したNaCl水溶液を少量ずつ混合し、土壤水分量を10段階(含水比: 黒ボク土 9~68%, 豊浦砂 1~23%)に調整した。黒ボク土は現場を参考に、 0.8 Mg m^{-3} の乾燥密度で、砂は 1.5 Mg m^{-3} の乾燥密度で 100 cm^3 定積コアサンプルに充填した。低価格センサは、1本約200円で購入した静電容量式土壤水分センサ(Capacitive Soil Moisture Sensor V1.2, DFROBOT社製; 以下、CSMS)を用いた。CSMSは試料に、5.3 cmの深さまで鉛直に挿入し、Raspberry Piを介して、Googleスプレッドシート上に1分毎に表示される出力電圧を測定開始から30分間記録した。このとき、出力電圧は安定するまでに5分程度要するため、出力電圧の最頻値を採用した。

3. 結果と考察

Fig. 1に体積含水率と出力電圧の関係を示す。黒ボク土と豊浦砂はどちらも出力電圧が高くなるほど、体積含水率は低くなった。また、体積含水率が同じ場合、黒ボク土は豊浦砂よりも出力電圧が高くなった。加えて、どちらの土壤においてもNaCl水溶液の

*東京農業大学大学院地域環境科学研究科地域創成科学専攻, 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1/ Department of Rural Science, Graduate School of Agro-Environmental Science, Tokyo University of Agriculture, Japan

**東京農業大学地域環境科学部地域創成科学科, 〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1/Department of Rural Science, Faculty of Agro-Environmental Science, Tokyo University of Agriculture, Japan

キーワード: スマート農業, リモートセンシング, 土壤水分センサ, 塩分濃度, 土性

濃度が高くなるほど、出力電圧は低くなった。CSMSは、土壌中の水分が増えると、電極間の静電容量が増加することから、出力電圧が低くなる。Fig. 1の体積含水率と出力電圧の関係より、線形関数（以下、線形）、指数関数（指数）、多項式関数（多項式）の3種類で近似した。

$$\begin{aligned}
 \text{線形 (Linear)} \quad & \text{VWC (m}^3 \text{ m}^{-3}) = ax + b & \text{VWC : 体積含水率} \\
 \text{指数 (Exponential)} \quad & \text{VWC (m}^3 \text{ m}^{-3}) = ae^{bx} & x : \text{出力電圧} \\
 \text{多項式 (Polynomial)} \quad & \text{VWC (m}^3 \text{ m}^{-3}) = ax^3 + bx^2 + cx + d & a, b, c, d : \text{定数}
 \end{aligned}$$

Table 1に各土壌の塩分濃度における近似式のパラメータと決定係数を示す。Kulmány et al. (2022)と同様に黒ボク土は、NaCl水溶液が0, 250, 2,500 ppmの場合、線形や指数でも良好に近似することができた。しかし、25,000 ppmの場合は、多項式は良好に近似できたが、線形や指数は決定係数が小さくなった。豊浦砂は、NaCl水溶液が0, 250, 2,500, 25,000 ppmの全ての場合において、多項式で良好に近似することができたが、25,000 ppmの場合は、決定係数が小さく精度が悪い結果となった。Placidi et al. (2020)は砂質土の乾燥密度が変化すると液相の分布が変化することで土壌水分センサの出力値が異なると述べている。本実験での黒ボク土と豊浦砂を比べると、乾燥密度および液相の分布の違いが、CSMSの出力値に影響した可能性がある。

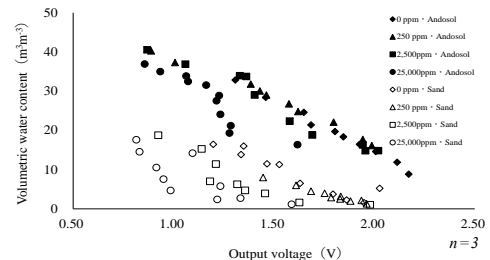


Fig. 1 体積含水率と出力電圧の関係
The relationship between volumetric water content and output voltage

Table 1 各土壌の塩分濃度における近似式のパラメータと決定係数
Empirical equation parameters and coefficients of determination for salt

Soil	concentration (ppm)	Function	Empirical equation parameters				R ²
			a	b	c	d	
Andosol	0	Linear	-26.59	67.47	—	—	0.99
		Exponential	226.74	-1.40	—	—	0.96
		Polynomial	-16.34	84.71	-170.62	147.70	0.99
	250	Linear	-21.44	59.95	—	—	0.99
		Exponential	88.61	-0.80	—	—	0.94
		Polynomial	-2.77	6.55	-22.34	56.57	0.99
	2,500	Linear	-24.64	63.61	—	—	0.95
		Exponential	109.15	-0.99	—	—	0.90
		Polynomial	47.08	-206.87	266.11	-66.30	0.98
25,000	Linear	-31.00	64.40	—	—	0.84	
	Exponential	112.00	-1.21	—	—	0.83	
	Polynomial	224.78	-826.93	955.82	-317.58	0.92	
Sand	0	Linear	-18.66	38.94	—	—	0.88
		Exponential	461.61	-2.62	—	—	0.87
		Polynomial	98.71	-460.71	684.83	-312.78	0.97
	250	Linear	-12.83	26.35	—	—	0.97
		Exponential	1201.30	-3.35	—	—	0.94
		Polynomial	33.19	-164.12	255.49	-118.65	0.98
	2,500	Linear	-17.12	30.97	—	—	0.74
		Exponential	340.19	-3.05	—	—	0.87
		Polynomial	-10.60	-22.99	-20.34	49.27	0.90
25,000	Linear	-18.40	28.29	—	—	0.61	
	Exponential	202.43	-3.21	—	—	0.68	
	Polynomial	-74.23	288.31	-379.55	173.72	0.68	

4. おわりに

低価格な静電容量式土壌水分センサを用いて、土性と塩分濃度が異なる土壌の出力電圧の変化を確認し、黒ボク土は豊浦砂よりも出力電圧が高くなることが明らかになった。また、土性に関わらず NaCl 水溶液の濃度が高くなるほど、線形関数と指数関数の決定係数は小さくなり、直線から外れる結果となった。今後の課題として、乾燥密度や EC、有機物含有量などがセンサの出力電圧に与える影響を検討する。

参考文献

- 藤巻晴行, 齊藤忠臣 2021. 低価格静電容量式土壌水分センサの出力値の塩分依存性とその補正法. 土壌の物理性 148, 33-37
- González-Teruel, J.D., Torres-Sánchez, R., Blaya-Ros, P.J., Toledo-Moreo, A.B., Jiménez-Buendía, M., Soto-Valles, F., 2018. Design and calibration of a low-cost SDI-12 soil moisture sensor. Sensors, 19, 3, 1–16
- Placidi, P., Gasperini, L., Grassi, A., Cecconi, M., Scorzoni, A., 2020. Characterization of low-cost capacitive soil moisture sensors for IoT networks. Sensors, 20, 1, 1–14