

## 可視光領域を用いたスペクトル指標による土壌水分量推定の可能性 Estimating Soil Moisture Using Visible Light Spectral Indices

○堅田凜平\*, 佐藤直人\*\*, 登尾浩助\*\*

○Rimpei Katada, Naoto Sato, Kosuke Noborio

### 1. 背景・目的

土壌水分は農業分野において、精密灌漑を行う上で重要な指標とされている (Cheng et al., 2020)。近年では、様々なセンサーを搭載した人工衛星の増加や、UAV、ドローンの普及により、高い時間・空間分解能を持つリモートセンシング技術が、土壌水分の推定に利用されている (Blatchford et al., 2019)。これまで、人工衛星などによって撮影されたマルチスペクトル画像から、植生指標を用いて土壌水分量を推定する研究が行われているが、それらの植生指標はすべて近赤外域の反射率を含んでいる (Siegfried et al., 2019)。近赤外域のスペクトル測定には専用のセンサーが必要であり、体積含水率推定のコストと難易度を高めている。一般的に普及している RGB カメラを用いてより簡易に土壌水分量の推定を行うためには、可視光域の反射率のみを用いる植生指標が必要である。そこで本研究では、可視光域の反射率のみを用いる植生指標である PRI に加えて、新たなスペクトル指標を提案し、それらと土壌水分張力の相関関係の比較から、可視光領域のスペクトルを利用した土壌水分推定の可能性を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1. 栽培実験

室温を 25°C で一定に保った自然光型ガス曝露チャンバー内 (S-2003A, コイト電工, 静岡) 内で実験した。体積含水率を 0.2、0.3、0.5 cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup> に調整した有機培養土 (あかぎ園芸, 群馬) を充填した 3 反復の 1/2000 アールワグネルポットでコマツナ (極楽天) (タキイ種苗, 京都) を 49 日間にわたって栽培した。栽培期間中、TDR プローブを深さ 10cm に水平に埋設して体積含水率を、また T 型熱電対を深さ 10 cm に埋設して地温を 15 分おきに測定・記録した。さらに、コマツナの平均葉長が 3 cm を超えてから 2-3 日に 1 度、葉のスペクトル、葉温、SPAD 値を計測した。取得したスペクトルを用いて PRI と、近赤外域を用いる植生指標である EVI, GARI, NDVI, RDVI, RVI を計算した。最後に、HYPROP (METER GROUP, U.S.A.) を用いて培養土の水分特性曲線を求めた。

#### 2.2. 土壌水分張力の算出

培養土の水分特性曲線は、van genuchten のモデルを用いて表し、TDR プローブで測定した体積含水率  $\theta$  (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>) を土壌水分張力  $h$  (cm) に変換した (van genuchten, 1980) :

$$h = \frac{1}{\alpha} \left[ \left( \frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{\frac{1}{m}} - 1 \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

ここで、 $\theta_s$  は飽和体積含水率 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)、 $\theta_r$  は残留体積含水率 (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)、実験定数  $\alpha$ 、 $n$ 、 $m$  はそれぞれ 0.1759、1.371、 $1-1/n$  とした。

\*明治大学大学院農学研究科 Graduate School of Agriculture, Meiji University

\*\*明治大学農学部 School of Agriculture, Meiji University

キーワード：リモートセンシング、水資源管理、土壌水分

### 2.3. 新規スペクトル指標

土壌水分量の変化に高い感度を持つ新たな指標を模索するため、NDVI の正規化式を参考に、5つの新規スペクトル指標 (NI) を提案した：

$$NI = \frac{(\rho_{\alpha} - \rho_{\beta})}{(\rho_{\alpha} + \rho_{\beta})} \quad (2)$$

ここで、 $\rho$  は波長  $\alpha$  nm,  $\beta$  nm の反射率である。5つの新規スペクトル指標は、 $\alpha, \beta$  をそれぞれ、A: 720 nm, 480 nm、B: 715 nm, 685 nm、C : 660 nm, 465 nm、D: 630 nm, 540 nm、E: 520 nm, 490 nm とした。

## 3. 結果・考察

### 3.1. 既存のスペクトル指標

既存のスペクトル指標と、スペクトル測定前 12 時間 の平均土壌水分張力の相関係数  $r$  を図 1 に示した。いずれの指標も体積含水率  $T$  が高いほど相関係数が大きくなる傾向が見られた。SPAD 値は全条件で土壌水分張力との高い相関関係がみられたのに加え、高い水分条件における NDVI, GARI, EVI, PRI でも土壌水分張力との有意な相関関係が見られた。しかし、低い体積含水率では、どのスペクトル指標でも有意な相関関係は見られなかった。低い体積含水率では根の伸長が抑制されるため (桑原, 1988)、高い水分条件に比べて、根の密度が小さく、水分張力の変化が葉に現れにくかったと考えられる。

### 3.2. 新規スペクトル指標

5つの新規スペクトル指標と、スペクトル測定前 12 時間の平均土壌水分張力の相関係数  $r$  を図 2 に示した。土壌水分張力と A, B, E の間には、既存のスペクトル指標よりも強い相関があった。これらの指標を用いることで、可視光領域のスペクトルのみを利用した土壌水分量の推定が可能であると考えられる。

## 4. 参考文献

- [1] Blatchford, M.L., C.M. Mannaerts, Y. Zeng, H. Nouri & P. Karimi. 2019. Remote Sensing of Environment. 234, 111413. [2] Cheng, M., X. Jiao, W. Guo, S. Wang, Y. Pan, H. Zhang & H. Sang. 2020. Irrigation and Drainage, 69(5), 1051-1062. [3] van Genuchten, M.Th. 1980. Soil Science Society of America Journal. 44(5), 892-898. [4] Siegfried, J., L. Longchamps & R. Khosla. 2019. Journal of Soil and Water Conservation. 74 (1), 33-40. [5] 桑原真人. 1988. 土壌の物理性. 57, 15-21.

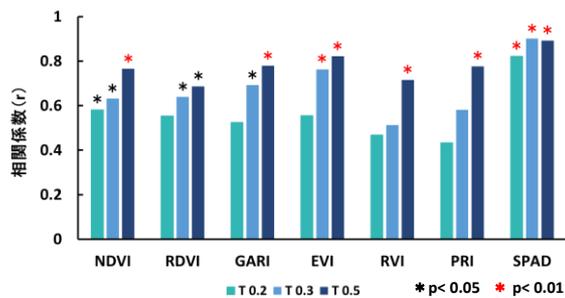


図 1 スペクトル指標と平均土壌水分張力の相関係数  
Fig.1 Correlation coefficient between spectral indices and average matric potential

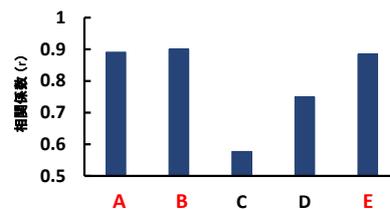


図 2 新規スペクトル指標と平均土壌水分張力の相関  
Fig.2 Correlation between a new spectral index and the average matric potential