

土の含水率のハイパースペクトルイメージングに用いる 検量式の性能向上と可視化手法の検討

Improvement of Calibration Equations and Visualization Methods for Hyperspectral Imaging of Soil Moisture Content

名和将晃¹・渡辺晋生¹ ¹三重大大学生物資源学研究科

要旨(Abstract) :

凍土のような低含水率の分布をハイパースペクトルカメラにより可視化するためには、検量線の性能向上やノイズを軽減し明瞭に可視化する手法の開発が必要である。そこで、含水率の調整が容易な未凍土を用いてそれぞれ検討した。主成分解析により十分な性能の検量線を作成できた。この検量線と 20 × 20 画素の平均スペクトルに基づき、0.31 以下の含水率分布を評価できた。

キーワード：ハイパースペクトルカメラ, PLS, 可視化

Key words: Hyperspectral Camera, PLS, Visualization

1. はじめに

凍土の利活用や凍土対策を効果的に進めるためには、凍土中に液状で存在する水(不凍水)の分布を知ることが有益である。不凍水分布を非破壊、非接触で面的に捉える方法にハイパースペクトルカメラ(以下 HSC)を用いた方法がある(鈴木, 2023)。しかし、不凍水分布の可視化には、検量線の性能向上やスペクトルのノイズ軽減など、多くの課題が残されている。ところで、未凍土は大きな含水率の違いを比較的容易に調整でき、検量線作成やノイズ削減を検討する上で凍土より有利である。そこでここでは、未凍土を利用し土の含水率の評価に十分な性能の検量線を作成すること、スペクトルのノイズを軽減し土中の水分分布の可視化手法を検討することを目的とした。

2. 試料と方法

藤森シルトの 2 mm 篩通過分を試料とした。HSC には、NH-3 (エバ・ジャパン) を用いた。撮像素素数は 480 × 640 画素であり、350~1100 nm の波長の反射率を 5 nm 毎に撮影可能で、画素毎のスペクトルデータを取得できる。

2-1. 検量線の作成

試料を様々な含水率に調整し、撮影中の試料

表面からの水分蒸発を抑制するためガラス板で挟んだ。試料にハロゲン光を散乱幕を介して照射し、試料の上方約 20 cm に設置した HSC で試料表面からの反射スペクトルを測定した(図 1)。本観察系では 1 画素が 0.1 mm 四方に相当する。走査速度は撮像時間で 1 分とした。試料中央部 1 cm² の領域の 500~950 nm の平均スペクトルと含水率の検量線を Python 3 の scikit-learn ライブラリを用いて主成分解析(PCR, PLS)により作成した。作成データに 25 試料の、テストデータに 7 試料のスペクトルを用いた。この際、主成分数は作成データに対する RMSE の累積寄与率から、検量線への過剰な適合を防ぐよう、RMSE が急激に低下する数とした。また、検量線の性能は RPD で評価した。

2-2. 浸潤過程にある土の含水率の可視化

風乾試料を 2.1 cm × 4.4 cm × 0.3 cm のガラスセルに均一に詰めた。試料片端から 10 分毎に

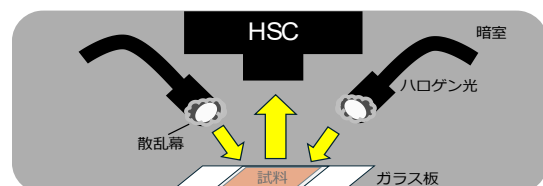


図 1 HSC を用いた観察の概念図

4回、1.5 mLの蒸留水を添加し、最後の添加から10分後の試料表面の反射スペクトルを2-1と同様の手順で測定した。そして、2-1で作成した検量線を用いて含水率分布の可視化を試みた。この際、ノイズを軽減するために、20×20画素毎に平均したスペクトルに対してSeabornライブラリを用いて含水率を表示した。また、撮影直後に試料を6 mm 間隔に分割し、試料の含水率の水平分布を求めた。

3. 結果

図2に含水率0.15と0.34の試料の反射スペクトルを示す。反射率は450~600 nmにかけて上昇し、その後、緩やかに上昇した。反射率は、湿潤土で20%~30%、風乾土で10%~20%と、含水率が低いほど高かった。

図3に主成分解析で作成した検量線で求めた含水率を示す。PLSで検量線を作成した場合主成分数は4、検量線の決定係数は0.80だった。RPDは4.11であり十分な性能の検量線が作成できたとみなせる。一方、PCRで検量線を作成した場合、必要な主成分数は9、検量線の決定係数は0.78となった。ただし、RPDは4.40となり、PLS同様に十分な性能と評価できた。

図4に水分添加10分後の試料のRGB画像、PLSで作成した検量線により可視化した水分分布、実測の含水率分布を示す。浸潤前線は、RGB画像(図4a)に基づく、図中左から3.6 cmに位置した。一方、可視化像(図4b)では3.6 cmを境に含水率が0.25以上と0.20以下に色分けされた。浸潤前線後方の湿潤領域の含水率は試料に水を10分毎に添加したため、0.2~0.4で不均一に分布した(図4c)。可視化像もこうした水分分布をよく表したが、含水率が0.31以下の区画に比べ0.34以上の区画で評価精度が悪かった。これは検量線の作成に用いた試料に含水率0.34以上の試料が少なかったためと考えられる。

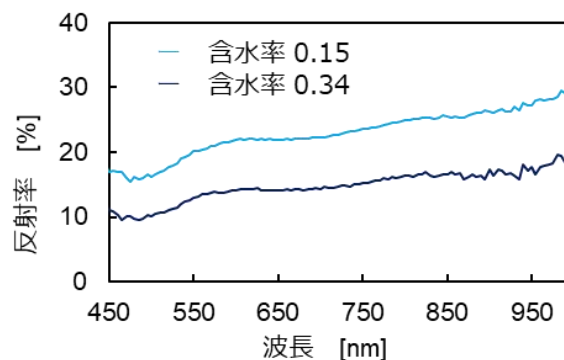


図2 土表面の反射スペクトル

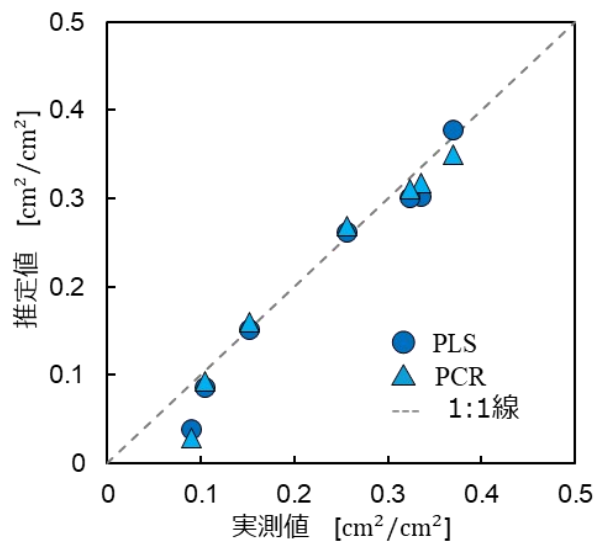


図3 含水率に対する主成分解析結果

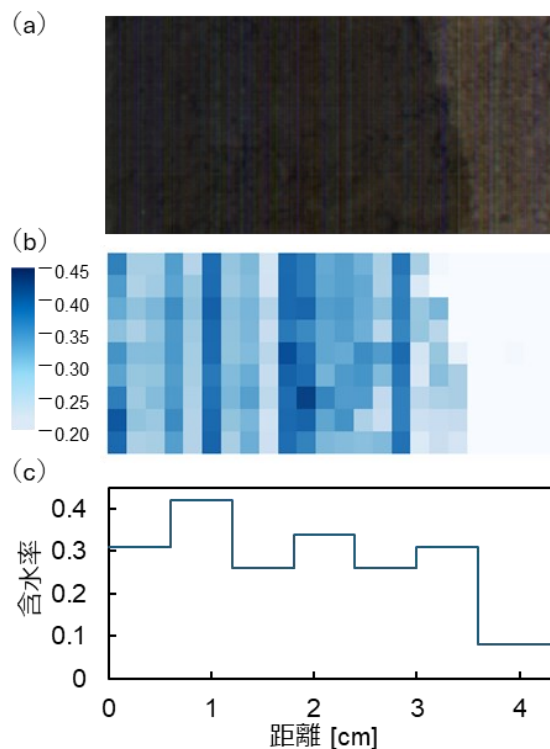


図4 (a) 試料のRGB画像 (b) 含水率の可視化像 (c) 含水率分布