

## UAV に搭載した近赤外マルチスペクトルカメラによる土壌水分計測の有効性と課題

株式会社エイト日本技術開発  
エバ・ジャパン株式会社  
国土交通省近畿地方整備局大規模土砂災害対策技術センター

○小野秀史 海原荘一  
高良洋平  
北本楽・小杉恵・竹下航・山本悟司

## 1. はじめに

災害現場等で崩壊地斜面等の表層土壌の含水状態を非接触かつ迅速に把握するため、UAV に搭載した近赤外マルチスペクトルカメラを用いた計測を試行している。近赤外マルチスペクトルカメラによる土壌水分計測は、室内や野外にて実測実験を重ね、基本的な特性把握を行っている<sup>1)~3)</sup>。本稿では、紀伊山系砂防事務所管内の赤谷地区にて UAV により河道閉塞(天然ダム)発生直後における堤体下流側や崩壊斜面での湧水の把握への利用を想定し、特に砂礫や礫質土を対象として表層土壌水分の分布や半定量的な土壌水分の把握を目指した試行結果を報告するものである。

## 2. 計測に使用した機材

赤谷地区の実証実験で使用した機材を以下に示す。

- (1) 近赤外マルチスペクトルビデオカメラ(エバ・ジャパン製)
    - ・測定波長帯域：近赤外領域の5波長を使用(1050nm, 1150nm, 1300nm, 1500nm, 1600nm)
    - ・解像度：1.6万画素(128×128pixel)
    - ・光源：太陽光源
  - (2) UAV：DJI Matrice600Pro 改造機
- 近赤外マルチスペクトルビデオカメラ及び同軸 RGB カメラは、専用のジンバルを介して UAV に搭載した。



図1 マルチスペクトルカメラと搭載した状態の UAV

## 3. 計測及びデータ処理・解析の手順

計測手順及び計測・撮像データの処理・解析手順を、図2に示す。なお、解析画像の処理には、エバ・ジャパン社製の解析ソフトウェア「HSAnalyzer」を用いた。



図2 計測及びデータ処理・解析フロー

## 4. 解析方法

## 4.1 計測原理

近赤外マルチスペクトルカメラは肉眼では識別できない近赤外領域の光を感知でき、撮影対象物のスペクトルと土壌水分などの物性値に相関があれば、画像処理により物性情報を可視化できる。近赤外領域には水の分子振動に対して吸収特性を示す帯域(1450nm 付近)があり、その特性を利用した土壌水分の計測を試みた。

対象物からの反射光の計測値は無次元であるため、標準反射板を使って光源の反射強度を標準とし、以下に示す相対反射率を求めて解析に用いる基準値とした。

## 4.2 相対反射率の計算

前述の相対反射強度は下式にて得られる。

$$rR(\lambda) = \frac{Ic(\lambda)}{Icstd(\lambda)} = \frac{E(\lambda) \times S(\lambda) \times R(\lambda)}{E(\lambda) \times S(\lambda) \times r(\lambda)} = \frac{1}{r(\lambda)} R(\lambda)$$

ここに、 $I(\lambda)$ ：RAW データ(分光強度計測値)

$Ic(\lambda)$ ：暗電流補正後の RAW データ(分光強度)

$Istd(\lambda)$ ：標準反射板(基準板)計測値

$Icstd(\lambda)$ ：暗電流補正後の基準板計測値

$E(\lambda)$ ：光源強度(分光分布  $S(\lambda)$ )：センサ感度(分光感度)

$R(\lambda)$ ：反射率(分光反射強度)

$rR(\lambda)$ ：相対反射率データ

$\lambda$ ：波長(nm),  $r(\lambda)$ ：基準板の相対反射率とする。

太陽光の強度： $E(\lambda)$ は時間や天候により変動するため、計測目的の対象物と同時に標準反射板(基準板)を計測し、強度補正した相対反射率を求めた。

## 4.3 NDSI 解析

4.2 に示した手順で得られた相対反射率データから、植生・水面等の計測対象物以外を除外したデータ群に対して、正規化分光反射指数解析(NDSI: Normalized Difference Spectral Index)による含水状態の評価を行った。NDSI は選択した2波長( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ )の分光強度の差を和で正規化し、誤差因子の影響を軽減して特徴を明示化するものである。

今回のNDSI解析では、1050nmを基準波長( $\lambda_1$ )とし、1500nmを特徴波長( $\lambda_2$ )とした。水(-OH基)の分子振動に伴う吸収波長帯は1450nmにピークがあるが、同帯域は大気中の水蒸気による吸収の影響が非常に大きいため、この減光ピークの影響が緩和される1500nmを特徴波長( $\lambda_2$ )として採用した。

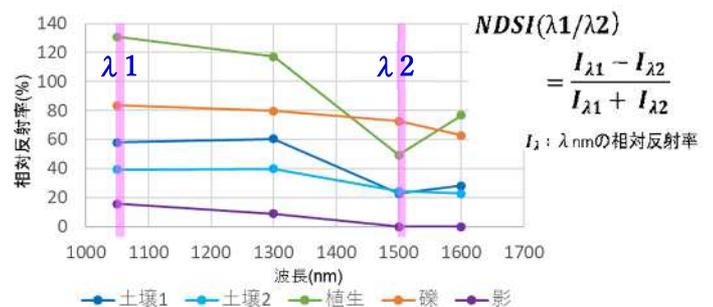


図3 スペクトルグラフ(相対反射率)

なお、計測対象である 900~1700nm の波長帯は、気温 15°C の変化に対し、最大でも 10nm 程度の波長のピークシフトに収まる。これに対して相対反射強度は十分に大きいので、計測値の温度依存による観測結果への影響はほぼないものとみなせる。

#### 4.4 目的対象以外の分別

表層土と植生は同程度の NDSI 値を取りうる可能性があるため、土壌のみを対象とした含水評価ができない。そのため、NDSI 解析に先立ち解析の対象から植生を除外する必要がある。通常、機械学習にて除外を行うケースが多いが、今回はリアルタイムのデータ処理を念頭において、計算処理の負荷を減少させる方法を検討した。一般的に、植生は表層土と比較して短波長寄りの近赤外光の反射率が顕著に高い(図3参照)。そのため相対反射率が一定閾値より高い部分を除外することにより、植生部の除去が可能となる。今回は 1050nm の相対反射率に着目して、計測対象の値と基準板の値を比較し、反射率が高い部分を除外した。

また、水面部分の計測を行う際、水面に映り込んだ表層土や植生の像の影響で、NDSI 値が区別できない場合がある。しかし、水面の相対反射率を表層土や植生の相対反射率と比較すると、近赤外光の短波長寄りの帯域では十分に低い値を示すことが分かっている。よって植生の影響の場合とは逆に、相対反射率が一定閾値以下となるデータを判定することで分別が可能である。今回は 1050nm の相対反射率について基準板の値と比較し、反射率が顕著に低い部分を水面として分別した。

#### 5. 解析事例

NDSI 解析は画素 (128×128pixel) 毎に求められ、解析画像として作成される。強度差を容易に可視するために、ダイナミックレンジに合わせて 20 階調のカラーグラデーション表示を行った。

以下に、今回の解析結果事例を示す。各々、相対反射率を 1500nm 相対反射率スペクトルグラフ、短波長画像、NDSI 解析 (正規化) スペクトルグラフ、及び NDSI 解析結果に基づき作成された 20 階調のカラーグラデーションを施した解析画像を掲載した (図 6, 図 7)。

##### (1) 赤谷地区近傍の崩壊跡地斜面 (事例 1)

図 4 に示す崩壊跡地斜面での計測データの解析結果を図 6 に示す。同じ礫質土であっても、含水に富む部位と乏しい部位が明瞭化され、土壌侵食痕の有無とも関連が認められる。植生除外の方法も機能している。

##### (2) 赤谷地区湛水池に接続する河岸斜面 (事例 2)

図 5 に示す赤谷地区の河岸斜面の計測データの解析結果を図 7 に示す。ここでは斜面に対して人工的に散水を行い、疑似的に地表面に表面流を再現し、表層土壌の水分量変化を計測した。動画撮影により、流水に伴うスペクトル強度のリニアな変化を観察し、土壌水分の上昇と時間経過後の状況変化を連続的に確認できた。

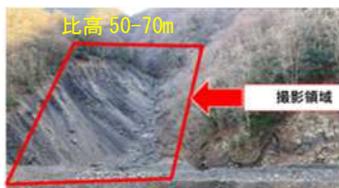


図 4 赤谷地区近傍の崩壊跡地斜面 (事例 1)



図 5 赤谷地区湛水池に接続する河岸斜面 (事例 2)

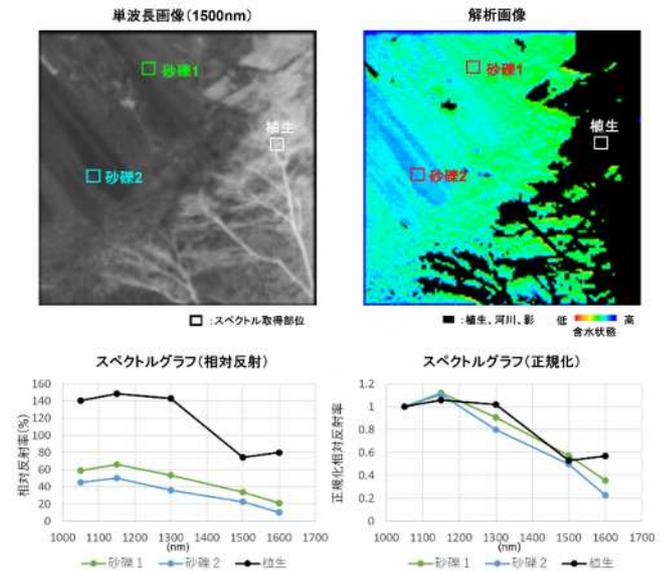


図 6 赤谷地区近傍の崩壊跡地斜面 (事例 1) のスペクトルグラフと解析画像

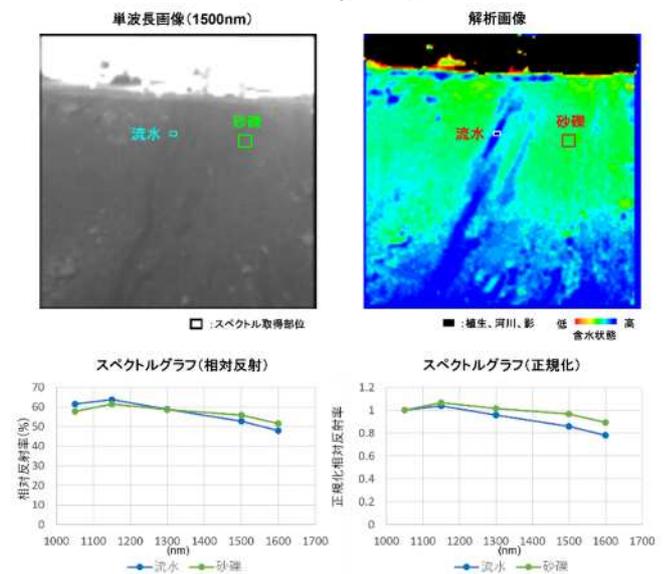


図 7 赤谷地区湛水池に接続する河岸斜面 (事例 2) のスペクトルグラフと解析画像

#### 6. まとめ・課題

UAV に搭載した近赤外マルチスペクトルカメラを使い、天然ダムや崩壊斜面を構成する礫質土を対象に、地表の土壌水分を評価した。試行結果から、総じてスペクトル相対反射強度と含水状態の間に強い相関性を認めることができ、湧水などの土壌水分の把握は可能と考えられる。しかし、含水率等の定量評価を行うためには、今後計測事例数を増やす必要がある。また、土砂の性状に対応して評価するため、水分以外の土質性状 (粒径、粒度分布、組成・構造等) も併せて計測し、各波長の反射強度との相関を精査する必要がある。土壌水分とその他対象の識別には、近赤外領域に加え可視光領域も含めたスペクトル特性に基づく除去法の試行を要する。

#### 参考文献

- 1) 小野ら: UAV 搭載近赤外マルチスペクトルビデオカメラによる土壌水分の観測, 日本火山学会講演予稿集, 2022
- 2) 小野ら: 火山碎屑物の調査におけるハイパースペクトルイメージの活用 (その 2), 日本火山学会講演予稿集, 2020
- 3) 小野: ハイパースペクトルカメラの災害調査への適用, 建設機械施工 Vol. 72 No. 10 pp. 86-93. 2020