

# UAV 搭載スペクトルカメラによる火山地域の地表面センシング

株式会社エイト日本技術開発

○小野秀史 藤原康正

## 1. はじめに

降灰後の土砂流出への警戒に対しては、地形情報や火山灰の物性・堆積厚と併せ、表層水理状況の把握が重要である。特に降灰直後の表層状態は変化が速く、時間経過とともに危険箇所が移りうるため、状況把握の遅れは監視や規制判断の遅れに直結する。この課題に対し、遠隔から表層の水理状況や表面流発生場を検知する方法として、UAV 搭載近赤外スペクトルカメラによる解析手法の活用に着目する<sup>1) 2) 3)</sup>など。

筆者らは、これまでに近赤外スペクトルカメラを用いて土壌中の含水状態を評価する手法の検討を進めてきた。特に野外撮影においては、気象条件や季節時間帯による太陽光源の強度変化、対象物の反射・吸収特性の課題、大気中水分による観測光の吸収、観測対象物とそれ以外の領域の区別などの課題があり、撮影試験を通して各々の課題に対処してきた<sup>4)</sup>など。

近赤外領域の 970nm, 1450nm, 1940nm 付近には水分子の吸収スペクトル帯が存在し、一般的にはこの特性を利用して水分量や含水率を推定できる。しかし、黒色・有色の火山灰・火山砕屑物では、構成する鉱物そのものが持つ吸収特性が重なり、水分だけの影響として分離しにくくなる課題がある。今回、この課題に対処・検討する目的で、野外試験を実施した。

## 2. 野外試験

野外試験は 2025 年 10 月 23 日に桜島黒神地区において実施した。天候は、試験前日が雨、当日は曇り時々雨で、飛行域周辺の地表面は湿潤状態であったが、計測区画は 1 週間前より養生シートで保護しており、対象土壌が過剰な含水状態にならないように配慮した。

UAV に搭載したマルチスペクトルカメラは、エバ・ジャパン社製近赤外ビデオスペクトルカメラである。測定波長は、960nm, 1050nm, 1150nm, 1470nm, 1500nm, 1600nm の 6 バンドで、スペクトル分解能は 10nm, 画像解像度は 640×480pixel である。このカメラの特徴として内蔵分光方式の採用が挙げられる。これにより、UAV をラインスキャンのために飛行させる必要なく、定点位置からの観測撮影ができるため、複雑な地形を対象とした調査観測が可能である。

プラットフォーム UAV には DJI Matrice 600 Pro を用いた (写真 - 1)。カメラはジンバルを介して搭載し、UAV から給電を行った。撮影高度は対地高度 40~100 m の範囲とし、この間で段階撮影を行った。撮影に際しては、可能な限り同一時刻帯に観測を集約し、太陽高度および天空条件の変化による影響を低減した。また、計測区画内の土壌表層の体積含水率を、誘電式体積含水率計により別途計測し、画像情報と現地実測値とを対応付けた。

## 3. 解析手順

### 3.1 白黒補正

取得したマルチスペクトル画像に対し、暗基準画像及び白基準画像を用いた白黒補正を行い、各バンドの



写真-1 マルチスペクトルカメラを搭載した UAV

反射率を算出した。波長  $\lambda$  における補正後反射率  $R(\lambda)$  は、観測画像の信号値  $I_{\text{raw}}(\lambda)$ 、暗基準画像の信号値  $I_{\text{dark}}(\lambda)$ 、白基準画像の信号値  $I_{\text{white}}(\lambda)$  を用いて、次式により求めた。この補正により、センサ固有の暗電流成分および照明強度の偏りを低減し、観測区画間で比較可能な反射率データを得た。

$$R(\lambda) = \frac{I_{\text{raw}}(\lambda) - I_{\text{dark}}(\lambda)}{I_{\text{white}}(\lambda) - I_{\text{dark}}(\lambda)}$$

なお、対象とする波長帯のピークシフトは 15°C の変化で 10nm 程度であるため、地表温度の計測結果への影響はほぼ無視できる。

### 3.2 解析対象領域 (関心領域) の設定

白黒補正後の反射率画像に対し、火山灰土壌面のみを解析対象とするため、関心領域 (Region of Interest: ROI) の設定を行った。火山砕屑物被覆面とその他の対象物との識別が比較的容易な画像を参照し、植生、影部及び不明かな異物を除外した上で、火山砕屑物被覆面のみを抽出した。

### 3.3 NDSI (正規化差スペクトル指数) の算出

抽出した各バンドの反射率に基づき、NDSI (Normalized Difference Spectral Index) を算出した。NDSI は、2 つの波長における反射率差をその和で除した指標であり、次式で定義される。

$$NDSI_{\lambda_1, \lambda_2} = \frac{R_{\lambda_1} - R_{\lambda_2}}{R_{\lambda_1} + R_{\lambda_2}}$$

ここで、 $R_{\lambda_1}$  および  $R_{\lambda_2}$  は、それぞれ基準波長  $\lambda_1$  及び特徴波長  $\lambda_2$  における反射率である。波長対の採用にあたり、水分吸収を反映しやすいことだけでなく、火山砕屑物中の鉱物 (特に FeO に富む輝石) の結晶場遷移による吸収の影響を受けにくいこと、さらに大気中水分の吸収影響が卓越しにくいことを評価の目標条件とした比較検証を行う必要から、今回下記の 2 ケースの組合せを検討した。

case1:  $\lambda_1 = 1050\text{nm}$ ,  $\lambda_2 = 1500\text{nm}$

case2:  $\lambda_1 = 1600\text{nm}$ ,  $\lambda_2 = 1470\text{nm}$

水 (-OH 基) の分子振動に伴う吸収波長帯は 1450nm 帯に存在するが、同時に大気中水分による太陽光の減光ピークも重なるため、 $\lambda_2$  の選定について敢えて帯域をシフトしている。

#### 4. 解析結果と考察

両ケースとも、NDSI 値と参照体積含水率との間に正の相関が確認された。ケース1では、40 m, 70 m, 100 mでそれぞれ決定係数は $R^2=0.7326, 0.6462, 0.6635$ であった。一方、ケース2ではそれぞれ $R^2=0.8657, 0.7096, 0.7900$ であり、各高度でケース1を上回る良好な相関が認められた(図-1, 図-2)。特に高度40 mでは高い相関を示す。このことから、本試験の野外条件下では、ケース2の基準波長 $\lambda_1$ 及び特徴波長 $\lambda_2$ の組合せ設定の方が、相対的に安定した評価が得られると言える。高度別の回帰式についてケース1とケース2を比較すると、ケース2の方が回帰係数の変動幅が比較的小さいことから(図-1, 図-2:各々の右下の図を比較)、ケース2の $\lambda_1, \lambda_2$ の組合せは大気中水分の影響を低減できる期待がある。なお、曇天条件下では1470 nmの取得信号量低下に起因するノイズが確認できるため、撮影では光量を充足させる点に留意が必要である。

NDSI 解析結果に基づく検量線を用いて変換した推定体積含水率分布図を図-3に示す。観測対象が黒色・有色火山砕屑物であっても、含水状態の面的差異の識別が可能である。また、解析画像から局所的な高含水域や流路状の分布も抽出できる。これらの結果を用い、表層水理状況を把握する手段として期待できる。

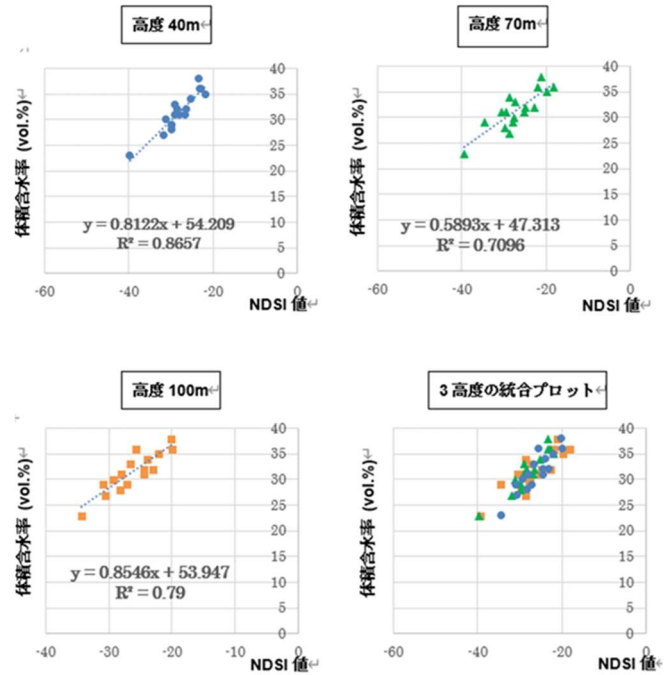


図-2 ケース2 ( $\lambda_1=1600\text{nm}$ ,  $\lambda_2=1470\text{nm}$ )における NDSI 値と体積含水率の相関

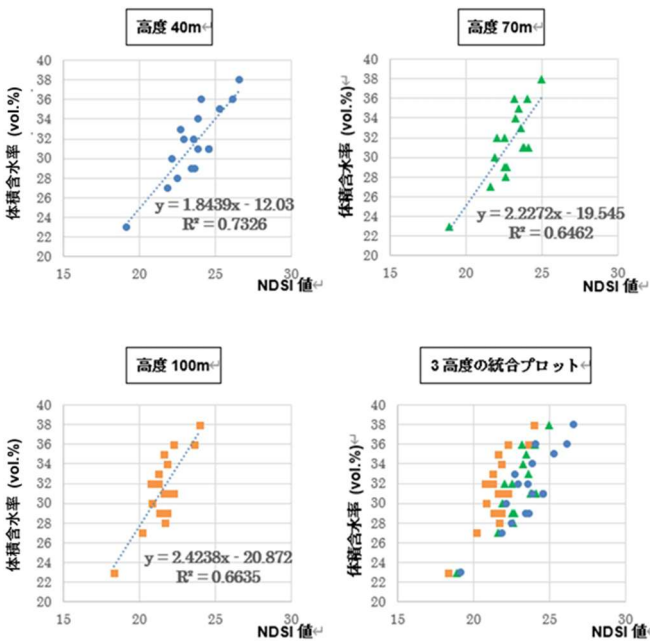


図-1 ケース1 ( $\lambda_1=1050\text{nm}$ ,  $\lambda_2=1500\text{nm}$ )における NDSI 値と体積含水率の相関

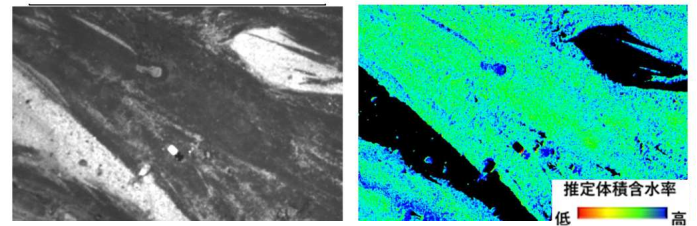


図-3 NDSI 解析に基づく推定体積含水率分布図の例 (左) 解析前のスペクトル画像 (右) 解析画像

#### 謝辞

今回の野外試験の実施にあたり、国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所及び桜島砂防出張所の職員の皆様には、野外試験に対するご理解とご便宜を賜るとともに、フィールドの使用許可を頂いた。また、九州技術事務所職員の皆様には、懇切なるご助言を頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) Bertalan, L., Holb, I., Pataki, A., et al.: UAV-based multispectral and thermal cameras to predict soil water content. Computers and Electronics in Agriculture, 200, 107262, 2022.
- 2) Guan, Y., & Grote, K. R., Assessing the Potential of UAV-Based Multispectral and Thermal Data to Estimate Soil Water Content Using Geophysical Methods. Remote Sensing, 16(1), 61, 2024
- 3) 小野秀史: 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, 72(10), 86-93, 2020.
- 4) 小野秀史・藤原康正・嶋将志: 火山砕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, 127, 2020.

#### 5. おわりに

検討結果より、黒色・有色の火山灰・火山砕屑物に対して、UAV 搭載近赤外マルチスペクトルカメラを用いた含水状態評価が可能であることを確認した。有効撮影高度は100 mまで保証できる。一方今回の試験では、雨天・曇天という気象条件の制約から、撮影対象の表層火山砕屑物の体積含水率が20%を超える領域の評価とした。乾燥側に範囲を拡大し相関性評価を行うため、補足の追試を行う必要がある。本手法は、噴火後の降灰斜面に対する緊急調査、表面流発生域の抽出、及び土石流危険性評価の高度化に有効と考えられる。