

# UAV を活用した可視光画像解析による 播種工法面の検査基準測定に関する一考察

A CONSIDERATION OF A MEASUREMENT OF INSPECTION STANDARD FOR  
SLOPE PROTECTION WORKS BASED ON VISIBLE LIGHT IMAGE ANALYSIS  
USING UAV

田中一字<sup>1</sup>・昌本拓也<sup>2</sup>・酒匂一成<sup>3</sup>・伊藤真一<sup>4</sup>・軸屋雄太<sup>5</sup>・中島亮輔<sup>6</sup>  
Kazutaka TANAKA, Takuya MASAMOTO, Kazunari SAKO, Shinichi ITO, Yuta JIKUYA,  
and Ryosuke NAKAJIMA

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科工学専攻博士前期課程 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

E-mail: k1881304@kadai.jp

<sup>2</sup> 株式会社地域地盤環境研究所 (〒819-0395 大阪市中央区大手前 2 丁目 1 番 2 号国民會館大阪城ビル 4F)

E-mail: tky.masamoto@geor.co.jp

<sup>3</sup> 鹿児島大学学術研究院理工学域工学系 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

E-mail: sako@oce.kagoshima-u.ac.jp

<sup>4</sup> 立命館大学理工学部環境都市工学科 (〒525-8577 草津市野路東 1-1-1)

E-mail: sito@fc.ritsumei.ac.jp

<sup>5</sup> 山口大学大学院創成科学研究科工学系学域社会建設工学分野 (〒755-8611 宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: yuta-j@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>6</sup> 元鹿児島大学大学院理工学研究科総合理工学専攻博士後期課程 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)

E-mail: k8102047@kadai.jp

**Key Words:** *plants, vegetation index, vegetation rate, UAV, RGB image analysis, slope*

## 1. はじめに

我が国における播種工の成績判定や維持管理時の点検では、検査基準として植被率が用いられている。植被率とは、植生が地表面を被覆している割合で、地表面に対する植生の水平投影面積を百分率で表した数値である。植被率を用いることによって、法面の植生の生育状況を定量的に把握できる。しかし、現状では植被率の計測は検査員による目視で行われており、結果には個人差が含まれる。そのため、より客観的に植被率を算出する手法が求められている<sup>1)</sup>。本研究では、客観性のある解析手法として画像解析技術を用いた植被率の計測手法に着目した。

画像解析を活用して植被率を計測する際には植生

指数 (Vegetation Index) と呼ばれる指標がよく用いられる<sup>2)</sup>。植生指数は、植生から反射される光の波長に対応した赤、緑、青の各バンドから得られる画像のデジタル値 (以下、輝度値) により算出される。植生指数の算出に用いられる画像には、近赤外域の反射光を含む画像 (以下、近赤外画像) と可視光域のみの反射光による画像 (以下、可視光画像) の 2 種類に分けられ、それぞれの画像の種類に対して様々な植生指数が提案されている。これらの植生指数は、植生域である画素ほど大きくなるように設定されており、任意の閾値を設定し二値化することで植生域の抽出が可能となっている。

まず、近赤外画像による手法は、植生が光合成の際に利用する可視波長域 (400~700nm) 付近では反

射が小さく、近赤外波長域（800～1,300nm）では反射が大きくなる特性を活用したものである。近赤外面像から得られる植生指数の中でも、Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)は計算式が単純で理解しやすく広く使用される指標であり、実務への適用事例<sup>3)</sup>も見られる。しかし、近赤外面像を撮影するための機器は高価であり、フィルターの装着等の特殊な改造を必要とするという課題が挙げられる。

次に、可視光画像による手法について述べる。可視光画像とは、赤、緑、青の各バンドから得られる輝度値の組み合わせにより、各画素の色が定まる画像である。可視光画像を用いる場合の利点として、デジタルカメラやスマートフォン内蔵カメラ、ドローン搭載カメラ等、比較的安価で一般に普及している機器により取得可能であることが挙げられる。また、このような機器は近赤外面像を撮影する手法に比べ取り扱いが容易であり、特別な技能を必要としない。一方で、可視光画像を用いる場合の課題として、取得される輝度値は太陽光といった光源条件や撮影機器の設定によって変化するため、算出される植生指数はこれらの影響を受ける可能性があることが挙げられる。このように双方の手法にはメリット・デメリットが生じており、明確な植生指数の算出方法は定まっていないことが現状となっている。

そこで、昌本ら<sup>4)</sup>は、低コストかつ特別な技能を必要としない可視光画像を用いた植生指数の算出手法に着目し、精度向上のために光源条件や撮影機器の設定方法について検証した。本研究では、昌本らの手法をより広域に適用するため、近年、建設業で積極的に取り入れられている UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 機器を活用した可視光画像による広域かつ客観的な播種工の品質・維持管理手法の確立を目指し、まずは UAV に搭載された撮影機器の性能を評価するために、植被率のばらつきを低減するための撮影機器の設定条件について検証を行う。

## 2. 使用機器の設定に関する検討

先述の通り、可視光画像の輝度値は、太陽高度や天候により変化する特徴がある。また、室内での撮影の場合など同一の光源下で同一の被写体を撮影する場合においても撮影機器の設定により画像の輝度値は様々に変化する。そのためこれらの影響を低減できるような適切な機器設定を行うことが必要である。本章では、本研究で使用する機器 (DJI Mini 3 Pro, Da-jiang Innovations Science and Technology Co., Ltd, China, 以下、本機種) の植被率の算出結果のばらつ

きを低減するような撮影設定についての検討を行う。本機種のイメージセンサー (撮像素子) は 1/1.3 インチ CMOS であり、撮影画素数は 4032×3024 である。

画像の輝度値に影響を与える本機種の主な設定項目は、絞り値 (F 値)、シャッタースピード、ISO 感度、ホワイトバランスである。

絞り値とは F 値とも言われ、焦点距離をレンズ口径で除した値であり、レンズから入る光の量を調整する機能である。F 値は F2 や F5.6 などの様に表され、数字が大きくなる程、光の取り込む量は少なくなる。一方、ISO 感度は、取り込んだ光を電荷に変換する際に電荷を増幅する度合いを表す。



例えば、暗い環境で撮影を行う場合、適切な明るさの写真を撮影するため多くの光を取り込む必要がある。そのため F 値を大きくする必要があるが、周辺環境の光の量が少ない環境では F 値を大きくしても光の量が足りず、シャッタースピードを遅くしてなるべく多くの光を取り込む必要がある。シャッタースピードを遅くするとブレが目立ちノイズの大きな画像となる。そこで ISO 感度を調節し、取り込んだ光の電荷を増幅させ、暗い環境でもシャッタースピードを適切な値に設定したままノイズの少ない画像を撮影できるように設定することが可能である。

しかし、本研究で用いた機種の F 値は F1.7 に固定されており、シャッタースピードに対して光量を調整する機能が搭載されていない。そのため本研究では絞り値並びにシャッタースピードについては、検討の対象外とした。

また、画像解析にはオープンソースの画像処理ライブラリである Open CV を用いた。

### (1) ISO 感度に関する検討

ISO 感度とは、光を電荷に変換する際に電荷を増幅する度合いを表す指標であり、光を取り込む量を表す。ISO 感度の数値が小さいほど電荷の増幅量は小さく、多くの光を取り込むためノイズの少ない滑らかな画像を撮影することができる。対して ISO 感度の数値が大きいと電荷の増幅量は大きくなり、取り込む光の量は少なくなるため、シャッタースピードを速くし、動きの激しい被写体においてもブレを抑えて撮影することができるが、ノイズが目立ちやすいとされる。

本機種における ISO 感度とノイズの関係を示すために、-1 に示す色見本を用意し、撮影環境は-2 に示すように撮影ボックスの中に色見本を設置し、色見本より上方 65.5cm に本機種を設置した。そこから ISO 感度を 100, 200, 400, 800, 1600, 3200, 6400

の各パターンで設定し、それぞれ5回ずつ撮影を行った。また、撮影機器の設定に関して画像サイズは4032×3024px、ホワイトバランスは撮影ボックスに設置し、自動にしたときに設定された5600Kとし、シャッタースピードは黒つぶれ、白飛びを起こさないように自動とした。そして、各ISO感度で撮影された画像において各バンドの輝度差分値を式(1)で表される $\Delta DN$ と定義し、その頻度を確かめることでノイズの評価を試みた。

$$\Delta DN = X(DN_{i,j}) - Y(DN_{i,j}) \quad (1)$$

$$DN = (R, G, B) \quad (2)$$

ここに、 $X, Y$ :輝度差分値を計算する画像の組み合わせ、 $i, j$ :各画像における画素位置、 $DN$ :各バンドの輝度値、 $R, G, B$ :それぞれ赤、緑、青の各バンドの輝度値。

図-3に各ISO感度と平均輝度値の関係、図-4に各ISO感度と輝度差分値の標準偏差の関係の色番号22を例に示す。図-4に示すように、ISO感度が低いほどばらつきが小さくなる傾向となった。また、ISO感度が1600より高くなるにつれてばらつきも小さくなっている。これは、ISO感度が高すぎると、輝度値の増幅が強くなり、輝度値が飽和、即ち赤、緑、青の各バンドの輝度値（以下、それぞれ  $R, G, B$ ）がそれぞれ255となり、ばらつきが小さくなるためと考えられる。上記の結果を踏まえ、本研究ではISO感度を最もばらつきが低くなった100に設定する。

## (2) ホワイトバランスの検討（室内）

自然光源は、天候や太陽高度の違いにより光の色味が様々に変化する。一般に、この色味は色温度[K]を用いて数値化される。色温度の数値が小さいほど赤系の色を帯びた光となり、数値が大きくなるにつれ白色、青系の色へと変化する。例えば、夕景時は3,500K程度、日中の晴天時は5,000K程度、曇天時では7,000K程度である。ホワイトバランス（以下、WB）とは、このような色温度の変化に対し、白い被写体を白く写すために画像を補正する機能である。

本節では、光源の時間的な変化が生じない光量が一定である室内において画像の輝度値の変化を極力抑える適切なWBを設定するため、前節並びに前々節と同じ撮影条件下で撮影された色見本を用いて検討を行った。本機種の設定はISO感度100、シャッタースピードは撮影ボックスの中で自動設定された1/640[s]とし、WBを2,000~10,000まで500ずつ変化させて撮影した。また、撮影対象の色はR, G, Bの比を考えやすくするため無彩色である色番号19~



図-1 色見本（各番号はそれぞれ色番号）



図-2 本機種による色見本の撮影状況

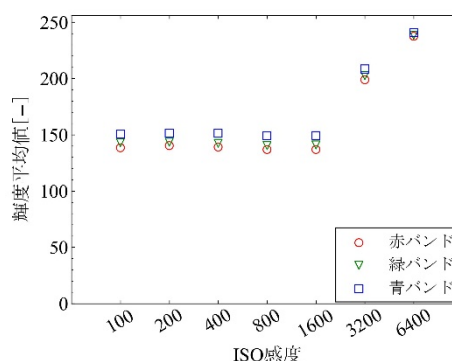


図-3 ISO感度と平均輝度値の関係

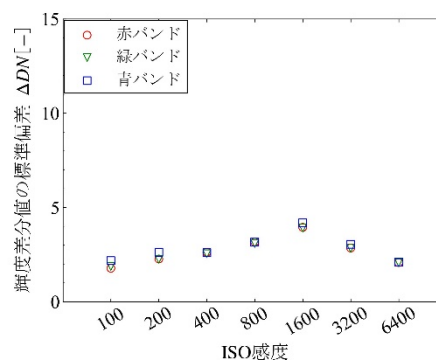


図-4 ISO感度と輝度差分値の標準偏差の関係

24の色を使用した。

上記の検討の結果得られた WB と輝度平均値の関係について、色番号 22 を例に図-5 に示す。図-5 より、WB が小さい場合、青バンドの輝度値が大きくなる傾向が得られた。この原因として、色温度が低い場合、赤系の光源を打ち消す効果が作用したことが考えられ、WB の機能は、色温度の影響を打ち消すように設定されていると推察される。無彩色の場合、R、G、B の値がそれぞれ等しい値を取るが、色番号 19～24 の色では各色番号となる WB の値はそれぞれ違う値となった。そのため、光源が一定である環境において WB の値は自動とすることにした。

### (3) ホワイトバランスの検討（屋外）

本機種において、自然光源の場合に植生の画像の輝度値の変化を極力抑える WB の適切な設定を把握するため、図-6 に示すように自然光源下にて植生の定点観測を実施した。撮影条件としては、撮影場所は鹿児島大学郡元キャンパス内にある角度が約 35 度の法面であり、法面の法線上 60cm の高さに本機種を設置して撮影を実施した。撮影日時は 2023 年 9 月 22 日の午前 6 時から午後 6 時 30 分まで、30 分毎に撮影を実施した。当日の日照条件として天気は快晴、日照量の変化を図-7 に示す<sup>5)</sup>。本機種の設定としては、画像サイズは 4,032×2,268 画素、ISO 感度は 100、シャッタースピードは自動、WB は撮影ボックス内、即ち周囲の光の量が一定である環境において自動で設定される 5,600 に固定した場合と、自動に設定した場合の 2 パターンで撮影を行った。なお、ISO 感度に関しては、屋外撮影時では周囲の環境が明るいことと、図-4 の結果から 100 と設定している。

各時刻に対する輝度平均値の関係を図-8 に示す。また、表-1 は各バンドにおける WB を自動とした場合、5,600 の固定値とした場合のそれぞれの平均値と標準偏差の値を示す。表より、赤バンドでは WB を自動とした方では標準偏差が若干大きくなる傾向が表れた。しかし、緑バンド並びに青バンドでは 5,600 に固定した方が、標準偏差が大きくなる傾向が表れたが、いずれも自動の場合と 5,600 の固定値とした場合に大きな差は見られないことがわかった。そのため、本研究においては撮影ボックス内で WB を自動とした場合に設定された 5,600 を WB の値として設定することにした。

### 3. 屋外における植生の撮影

前章において、ISO 感度を 100、シャッタースピー

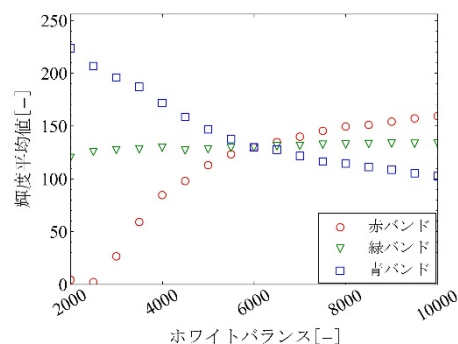


図-5 ホワイトバランスと輝度平均値の関係



図-6 自然光源下での被写体の撮影状況

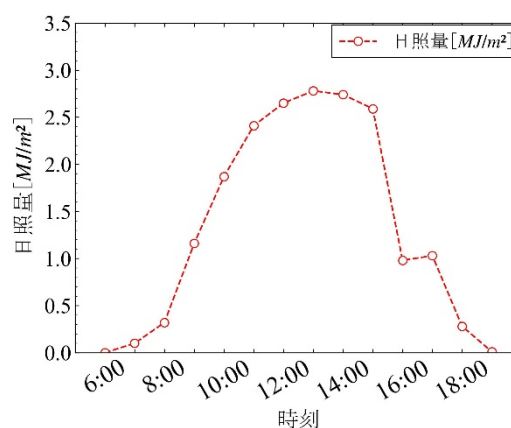


図-7 各時刻における鹿児島市の日照量

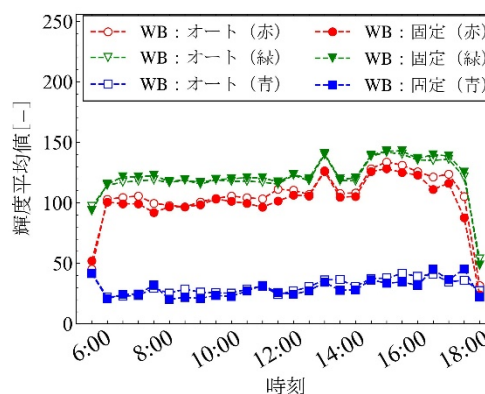


図-8 各時刻における輝度平均値

ドを自動，WB を 5,600 の固定値に設定して撮影を行うこととした．本章では，それらの条件の下で屋外（照度：21,700lx，手元の照度計にて記録）において植生を撮影し，具体的に植被率を算出した検討結果について述べる．第 1 章で述べた通り，可視光画像における植生指数には様々な指標が提案されているが，本研究では *ExG* (Excess Green Index,  $ExG = 2G - R - B$ ) を植生指数とした．被写体となる植生はマメ科のホワイトクローバー (Trifolium repens L.) とし，被写体を 図-9 の様に撮影した画像 (2,300×1,500 画素) を解析対象とした．

ここで，植被率の計測方法について述べる．本研究の検討対象とした植生指数は各画素の輝度値を用いて算出され，植生域である画素ほどその値は大きくなる．従って，植生指数について任意の閾値を設定し二値化することで，植被率の計測が可能となる．そのため本章では適切な閾値を設定するための手法について検討した．

図-9 に示す解析対象となる画像（画素寸法は  $9.7\mu\text{m}$ ）から赤枠で示された  $500 \times 500$  画素の領域を 3 箇所抽出する．そして，まず，抽出した 3 枚の画像（以下，抽出画像）に対して，目視による二値画像（植生域：白，非植生域：黒）を作成する．また，抽出画像から閾値  $t$  を用いて植生域と非植生域を判定した二値画像（以下，解析画像）を作成する．閾値  $t$  とは，植生域と非植生域を判定する *ExG* の値を示しており，閾値以上の *ExG* を植生域と判定する．そして，目視による二値画像に対する解析画像の正確度を次式により算出する．

$$Acc = \frac{TP + TN}{TP + FN + FP + TN} \quad (3)$$

ここに，*Acc*：正確度（0 から 1 の値を取り，解析結果が目視判断通りに分類されているほど 1 に近づく．），*TP*：解析結果，目視判断ともに植生域となった画素数，*TN*：解析結果，目視判断ともに非植生域となった画素数，*FN*：目視では植生域となり，解析では非植生域となった画素数，*FP*：目視では非植生域となり，解析では植生域となった画素数．

図-10 は，閾値  $t$  を -0.20 から 0.80 まで 0.01 ずつ変化させて作成した解析画像に対する正確度を示す．

図-10 より， $t$  が大きくなるにつれて正確度が増加し，やがて正確度がピークに達し，徐々に正確度が低下して，最終的に一定値を取るようになった．正確度の値が最終的に一定値をとるようになる原因は， $t$  がある値を超えると，植生域となる画素がほとんど表れず，*TP*，*FP* が常に 0 となるためであると考えられ

表-1 各 WB における平均値と標準偏差の値

|      | WB=自動   |         | WB=5,600 |         |
|------|---------|---------|----------|---------|
|      | 平均値     | 標準偏差    | 平均値      | 標準偏差    |
| 赤バンド | 105.417 | ±22.627 | ±100.940 | ±22.018 |
| 緑バンド | 120.114 | ±17.238 | ±121.658 | ±18.644 |
| 青バンド | 31.185  | ±6.288  | ±29.339  | ±7.333  |



図-9 植被率の算出に使用する被写体

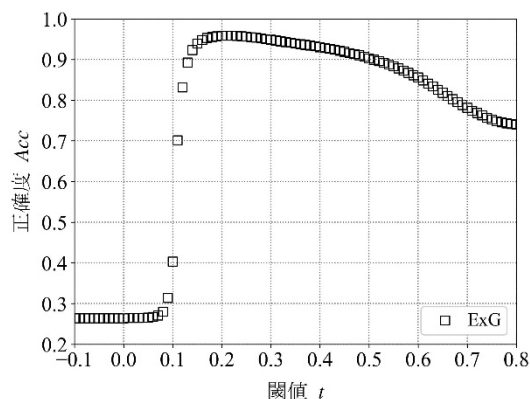


図-10 各閾値  $t$  と正確度 *Acc* の関係

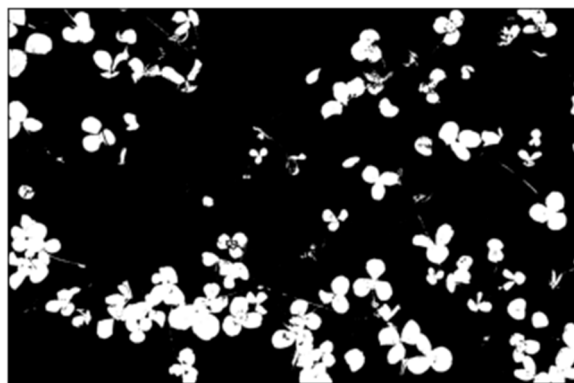


図-11 閾値  $t=0.21$  の解析画像

る。本研究では、最適な閾値について、正確度が最も高い値を示すときの閾値とすることとしており、図-10 から正確度Accが最大値 0.9586 を示す閾値  $t=0.21$  となった。

そこで、閾値  $t=0.21$  で判定した解析画像を作成し、解析対象となる画像の全画素数 2,300×1,500 画素に対して  $ExG \geq 0.21$  となる画素数の百分率を植被率と定義して、植被率の算定を行った。

図-11 は、閾値  $t=0.21$  の解析画像であり、 $ExG \geq 0.21$  となる画素を白、 $ExG < 0.21$  となる画素を黒で表している。この結果より、上記で定義した植被率を算出すると 20.97% という結果となった。また、図-11 と図-9 を比較してみると、概ねの植生の位置を捉えることが出来ていると考えられる。一方、枯葉の部分などは検出されておらず、緑の色素が強い葉のみが抽出されているものと思われる。

#### 4. おわりに

本研究では、UAV を活用した可視光画像による広域かつ客観的な播種工の品質・維持管理手法の確立を目指し、まず UAV に搭載された撮影機器の性能を評価するため、植被率のばらつきを低減するための撮影機器の設定条件に付いて検証を行った。以下に、本研究で得られた知見をまとめる。

- 1) 植被率のばらつきを低減させるために適切な撮影機器の設定を検討した結果、今回の検討条件下では、ISO 感度 100 に設定すると最もばらつきが小さくなること、WB は自動および固定値 5,600 で輝度平均値に大きな差異は認められなかったことがわかった。
- 2) ISO 感度を 100、シャッター速度を自動、WB を 5,600 に設定して、屋外（照度：21700lx、手元の照度計にて記録）において植生の撮影を行った。そして、植被率を算出するための二値画像を作成するための最適な閾値  $t$  について検討を行った。その結果、今回の検討条件下では、閾

値  $t=0.21$  のときが最も目視による判定に近い二値画像を示すことがわかった。

今後、本研究成果を踏まえ、広域な観測を実施する際の撮影機器の設定条件についてさらに検討をすすめていきたい。また、実際の法面には多種多様な植生が生育している場合があり、更に季節によって植生の生育状況は変化することが考えられる。そのために季節や植生の生育状況によって  $ExG$  以外の植生指数に着目する必要があるかなどについて検討を行っていきたい。

謝辞：本研究を行うに当たり、一般社団法人九州地域づくり協会「研究等助成事業」の支援を頂きました。ここに謝意を示す。

#### 参考文献

- 1) 昌本拓也、酒匂一成、伊藤真一：草本植生を用いた播種工の施工初期に着目した地表流に対する法面保護効果に関する一考察、第 11 回土砂シンポジウム論文集、pp.137-142, 2022.
- 2) Tehrany, M. S., Kumar, L., Drielsma, M., J.: Review of native vegetation condition assessment concepts, methods and future trends, Journal for Nature Conservation, Vol.40, pp.12-23, 2017.
- 3) 鹿島建設：ドローン空撮画像を用いて、のり面緑化工事の品質管理を高度化、<https://www.kajima.co.jp/news/press/202205/25c1-j.htm>, 2022.5.29 時点.
- 4) 昌本拓也、酒匂一成、伊藤真一：草地型播種工の客観的な成績判定に向けた可視光画像解析技術の適用可能性の検討、地盤工学ジャーナル、Vol.18, No.1, pp.81-96, 2023.
- 5) 気象庁：各種データ・資料（鹿児島県（鹿児島）2023年9月22日）、[https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\\_no=88&block\\_no=47827&year=&month=&day=&view=](https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=88&block_no=47827&year=&month=&day=&view=), 2024.7.5 時点.

(2024.5.31 受付)