

# 光源とカメラの位置関係が UAV 植生画像に及ぼす影響

1220181 米富 源一郎

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

異方向性反射特性 (BRF) とは光源の入射光とカメラの撮影位置の関係により対象となる地物表面の反射率が変化する特性である。多方向観測が特徴である UAV による植生観測においては、BRF を把握することは、観測結果の高精度化に不可欠である。本研究では、デジタルカメラを用いて UAV で撮影を行なっているため反射率の代わりに RGB それぞれの DN 値 (digital number) を使用し観測を行う BDF (Bidirectional Digital-number Function) を用いる。植生の BDF 観測では光源の入射方向と観測方向のベクトルのなす角  $\theta$  と緑の関係性は負の相関の傾向が見られた。太陽から入射した光が入射方向へ集中する傾向があると考えられる。本研究では、光源とカメラの位置関係が UAV 植生観測に及ぼす影響から通常の UAV 観測により植生の BDF を解析する手法を開発した。しかし反射の傾向によって樹種ごとの判別には至らなかった。

**Key Words** : BRF, BDF, UAV, DSM

## 1. はじめに

異方向性反射特性 (BRF/Bidirectional Reflectance Function) とは、光源の入射光とカメラの撮影位置の関係により対象となる地物表面の反射率が変化する特性である。多方向観測が特徴である UAV による植生観測においては、BRF を把握することは、観測結果の高精度化に不可欠である。本研究では、デジタルカメラを用いて UAV で撮影を行なっているため反射率の代わりに、RGB それぞれの DN 値 (digital number) を使用し観測を行う BDF (Bidirectional Digital-number Function) を用いる。通常の UAV 観測により植生の BDF を解析する手法は確立されていない。そこで本研究では、UAV を用いた BDF 解析手法の確立を試みる。

### 1.1 入射光とカメラ位置の関係

対象物から光源の入射方向へのベクトルを  $\vec{s}$ 、対象物から観測方向へのベクトルを  $\vec{d}_i$  とし、 $\vec{s}$  と  $\vec{d}_i$  のなす角を  $\theta$  とする。その後、DN 値 (G) となす角  $\theta$  の散布図から回帰分析を行う (図-1)。

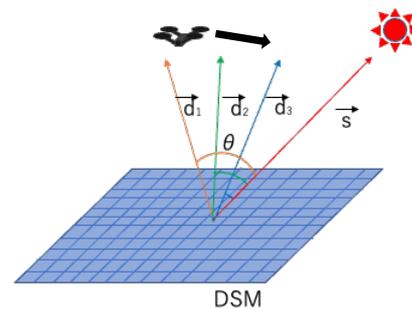


図-1 太陽の入射光と UAV の位置関係図

### 1.2 反射光とカメラ位置の関係<sup>1)</sup>

次に地表面は水平であることは極めて珍しく、あらゆる方向に傾いている。対象物から光源の入射方向へのベクトル  $\vec{s}$  と対象物の法線ベクトルを用いて地形の傾きを考慮した光源の反射方向ベクトル  $\vec{r}$  を求める。対象物から光源の反射方向へのベクトル  $\vec{r}$  と対象物からカメラ方向へのベクトル  $\vec{d}_i$  のなす角を  $\Phi$  とし、DN 値となす角  $\Phi$  の散布図から回帰分析を行う (図-2)。平滑な地表面では一般的になす角  $\Phi$  が小さいほどカメラが受け取る輝度 (DN 値) は大きくなる。

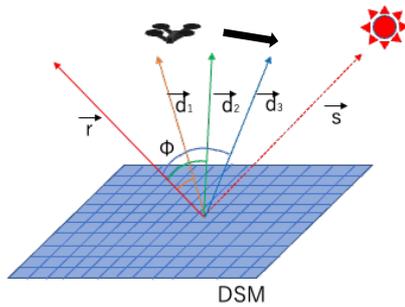


図-2 太陽の反射光と UAV の位置関係図

入射光とカメラ位置の相関, 反射光とカメラ位置の相関を解析することで地物の反射特性の傾向を見る。

## 2. 観測手法

高知県香美市佐岡地区に位置する佐岡研究フィールドの 300×300m の範囲を観測対象としている。観測対象範囲にはヒノキ, アラカシ等の多数の植生が存在する。

図-3 の通り UAV の撮影経路は 8 コースを設定し, 自動飛行により植生観測を行なっている。

撮影機材と設定を以下に示す(表-1)。

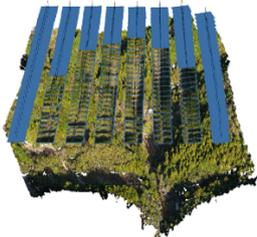


図-3 観測対象エリアと飛行ルート

表-1 使用機材と設定

UAV	Inspire2
カメラ	ZenmuseXSs
センサー	CMOS
解像度	5,280×3,956
レンズ	15mmLens
視野角	72°
絞り	4.5
シャッタースピード	1/600秒
画像形式	JPEG
ISO	200
サイドラップ率	75%
オーバーラップ率	90%
撮影枚数	214枚

## 3. 解析手法

解析手順を図-4 に示す。

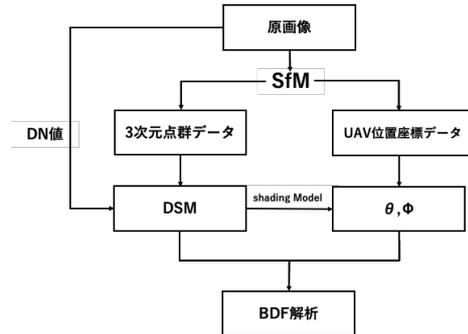


図-4 解析手順のフロー

### 3.1 BDF 解析における各原画像の RGB 取得法

UAV で撮影された画像から対象エリアの三次元点群データを作成する。三次元点群データの作成には SfM(Structure from Motion)を用いた。SfM とは対象物を多方向から撮影した複数枚の写真から, 対象物の三次元形状を復元する技術である。SfM には Metashape を使用した。

次に SfM から得た対象エリアの範囲を点群データから 20×20cm メッシュの DSM を作成する。

DSM(Digital Surface Model)とは, 点群データから樹木, 構造物などを含んだ表面の高さを属性値として持つ数値標高モデルである。標高は各メッシュの点群の最大値を付与した。

本研究では図-5 に示す通り DSM に原画像の RGB 値を付与する際に, BDF 解析の対象となる点の地上座標  $(x_p, y_p, z_p)$  を式 (a) と式 (b) を用いて地上座標からカメラ座標へ変換し, 1 ピクセルの長さで割り, 画像座標に変換することで DSM に対応する原画像座標を各原画像で求めた。

$$\begin{pmatrix} u_p \\ v_p \\ w_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_p - x_0 \\ y_p - y_0 \\ z_p - z_0 \end{pmatrix} \quad (a)$$

$$\begin{cases} u = -\frac{c}{w_p} u_p \\ v = -\frac{c}{w_p} v_p \end{cases} \quad (b)$$

$u_p, v_p, w_p$ : カメラの投影中心を原点とする座標

$a_{11} \sim a_{33}$ : カメラ回転行列

$x_p, y_p, z_p$ : DSM 上での地上座標

$x_0, y_0, z_0$ : カメラ位置の地上座標

$u, v$ : カメラ座標  $c$ : カメラ焦点距離

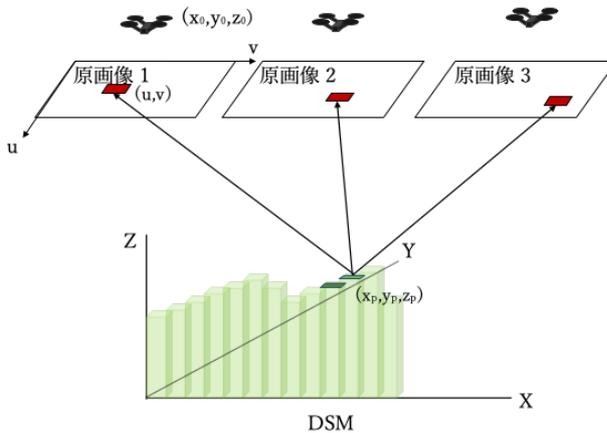


図-5 DSM 頂点に RGB 値を与える手法の概略

### 3.2 光源の入射方向と観測方向のなす角 $\theta$ の導出

Python の PyEphem ライブラリを用いて、観測点である地上座標  $(x_p, y_p, z_p)$  と観測時刻から太陽高度  $\theta_{alt}$ 、太陽方位角  $\theta_{az}$  を求め、太陽の入射方向の単位ベクトル  $(x_s, y_s, z_s)$  を求めた。次に地上座標  $(x_p, y_p, z_p)$  からカメラの位置座標  $(x_0, y_0, z_0)$  までの UAV の観測方向の単位ベクトル  $(x_q, y_q, z_q)$  を求めた後に式 (c) を用いてなす角  $\theta$  を算出した。

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{x}_s \cdot \vec{x}_q + \vec{y}_s \cdot \vec{y}_q + \vec{z}_s \cdot \vec{z}_q}{(\sqrt{x_s^2 + y_s^2 + z_s^2}) \cdot (\sqrt{x_q^2 + y_q^2 + z_q^2})} \right) \quad (c)$$

### 3.3 光源の反射光と観測方向のなす角 $\theta$ の導出

3.2 で求めた太陽方位角  $\theta_{az}$  を  $180^\circ$  回転させることで光源の反射方位角  $\theta_{az.ref}$  を算出し、地形の法線ベクトルを考慮することで太陽の反射方向の単位ベクトル  $(x_r, y_r, z_r)$  を求めた後に式 (d) を用いてなす角  $\Phi$  を算出した。

$$\Phi = \cos^{-1} \left( \frac{\vec{x}_r \cdot \vec{x}_q + \vec{y}_r \cdot \vec{y}_q + \vec{z}_r \cdot \vec{z}_q}{(\sqrt{x_r^2 + y_r^2 + z_r^2}) \cdot (\sqrt{x_q^2 + y_q^2 + z_q^2})} \right) \quad (d)$$

## 4. 解析結果

### 4.1 白黒ボードによる BDF の解析結果

まず、佐岡研究フィールドでの観測の際に設置している黒ボードと白ボードの BDF 解析を行なった。白ボードは Raw データを使用しても飽和してしまうため、解析には使えなかったため黒ボードを用いて BDF 解析を行なった (図-6)。対象となる点  $3 \times 3$  ピクセルの光源の入射方向、反射方向と観測方向のなす角  $\theta$ 、 $\Phi$  と G (緑) の平均の散布図から回帰分析を行い、相関を求めた (図-7)。



図-6 観測地点

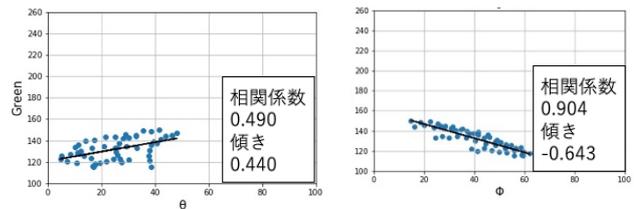


図-7 BDF 解析結果

図-7, 左の光源の入射方向と観測方向のベクトルのなす角  $\theta$  と緑 (G) の DN 値の関係性には正の相関が見られた。右図の光源の反射方向と観測方向のベクトルのなす角  $\Phi$  と緑 (G) の DN 値には負の相関が見られた。2つのグラフは同様に反射方向にカメラが近づくほど、DN 値が明るくなる傾向がある。つまり、黒ボードでは太陽から入射した光が反射光方向に集中していることが分かる。

### 4.2 草地での BDF 解析結果

次に BDF 解析を草地で行う (図-8, 9)。



図-8 観測地点

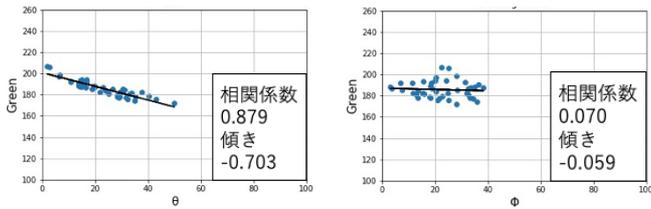


図-9 草地での解析結果

草地の BDF 解析では図-9 の左図通り光源の入射方向と観測方向のベクトルのなす角  $\theta$  と緑 (G) の DN 値には負の相関が見られた。なす角  $\theta$  が小さくなればなるほど DN 値は大きくなるため、太陽から入射した光が入射光方向に集中していることが分かる。

### 4.3 樹冠での解析結果

続いて BDF 解析を樹冠(アラカシ, ヒノキ)で行った(図-10, 11, 12)。使用するサンプルデータは樹冠の樹頂点を取得した。



図-10 観測地点

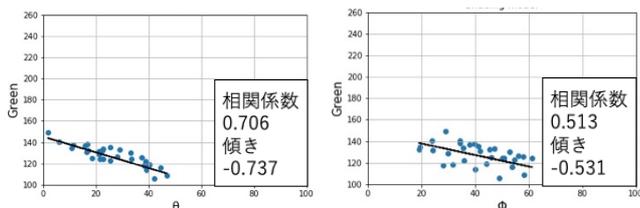


図-11 アラカシでの解析結果

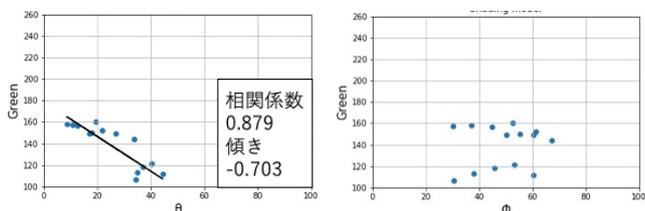


図-12 ヒノキでの解析結果

樹冠での観測ではヒノキ, アラカシともに図-11, 12 それぞれの左図の通り, 光源の入射方向と観測方向のベクトルのなす角と緑(G)の DN 値には負の相関が

見られた。なす角  $\theta$  が小さくなればなるほど緑 (G) の DN 値は大きくなるため、太陽から入射した光が入射方向へ集中する傾向にあることが分かる。

## 5. おわりに

本研究では、光源とカメラの位置関係が UAV 植生観測に及ぼす影響から通常の UAV 観測により植生の BDF を解析する手法を開発した。黒ボードには図-13 のように太陽から入射した光が反射光方向に集中する傾向があると考えられる。樹冠では、図-14 のように入射光方向に強く散乱する傾向があると考えられる。樹冠には細かい凹凸が存在するため、なす角が大きくなるほど、直達光による影が影響すると報告されている<sup>2)</sup>。

本研究では反射の傾向を解析したが、反射の傾向によって樹種ごとの判別には至らなかった。

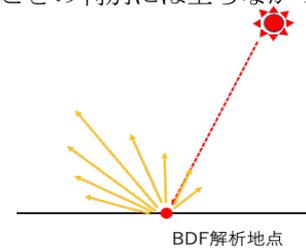


図-13 黒ボードでの反射傾向図

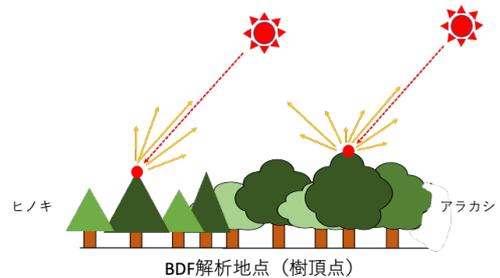


図-14 樹冠での反射傾向図

## 参考文献

- 1) 高木 方隆:国土を測る技術の基礎  
-地理空間情報技術者をめざす人のために-
- 2) H. G. Jones • R. A. Vaughan:  
Remote sensing of vegetation p273
- 3) 宮森 秋光 : UAV 観測による植生の異方向性反射特性の計測 (2020 年度学士論文)