

UAV 観測による植生の異方向性反射特性の計測

1210165 宮森 秋光

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

BRF は、太陽光の入射の方向と撮影方向の関係により地物表面の反射率が変化する特性である。BRF は地物の表面の凹凸など形状によっても異なってくる。従来の BRF は、地上観測による狭い範囲か、人工衛星による低解像度画像による観測が一般的で、森林単位での植生の BRF 観測手法は確立されていない。UAV は空撮画像による森林単位での植生の BRF 解析が可能と考えた。対象エリアの $50\text{cm} \times 50\text{cm}$ メッシュの DSM 作成し、三次元射影変換と画像マッチングを用いて各原画像を用いたオルソ画像を作成した。オルソ画像群の各ピクセルの撮影時刻の UAV 方向への単位ベクトルと太陽方向への単位ベクトルの内積と輝度の関係性(傾き, 凹凸具合, 相関係数)を見るために BRF 解析画像を作成した。BRF 解析画像から対象エリアのモウソウチクの竹林地帯は負の相関が強く, 凹凸具合は上に大きい傾向がみられた。ほかの植生でも正の相関かつ, 正の傾きがあると考えられるが, 内積と輝度の関係性(傾き, 凹凸具合, 相関係数)からでは樹種の判別ができるまでに至らなかった。

Key Words : BRF, SfM, 三次元射影変換, 画像マッチング

1. はじめに

異方向性反射特性 (BRF/Bi-directional Reflectance Factor) は、太陽光の入射の方向と撮影方向の関係により地物表面の反射率が変化する特性である。対象物から太陽方向へのベクトルを \vec{s} , 対象物から UAV カメラ方向へのベクトルを \vec{d} とすると, \vec{s} と \vec{d} の内積が大きくなるにつれて対象物の輝度も比例して大きくなる(図-1)。さらに, 地物の表面の凹凸など形状によっても異なってくる。

植生は複雑な形状をしており, 葉の向きによって太陽光の反射の角度が変わり, BRF は変化する。従来の BRF は, 地上観測による狭い範囲か, 人工衛星による低解像度画像による観測が一般的で, 森林単位での植生の BRF 観測手法は確立されていない。そこで, 本研究では UAV による空撮画像による森林単位での植生の BRF 解析が可能と考えた。本研究は, UAV 画像から BRF 解析を行い, UAV による空撮画像を用いた複雑な形状での BRF の計測手法の開発が目的である。

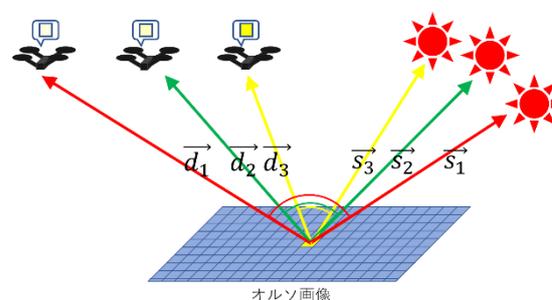


図-1 太陽と UAV の位置関係による UAV が受け取る輝度の概念図

2. 手法

2.1 観測対象エリア

高知県香美市佐岡地区のモウソウチク, ヒノキ, アラカシなどが植生しているエリアを本研究で解析する対象エリアとした。対象エリアを図-2 に示す。



図-2 対象エリア

2.2 使用機材

観測に使用した UAV と搭載したデジタルカメラは DJI の Inspire2 と、同社の ZenmuseX5s である。使用機材とカメラの設定を表-1 に示す。

表-1 使用機材と設定

UAV	Inspire2
カメラ	ZenmuseX5s
センサー	CMOS
解像度	5,280 × 3,956
レンズ	15mmLens
視野角	72°
色温度	6500K
絞り	4.5
シャッタースピード	1/600秒
画像形式	JPEG
ISO	200

2.3 解析手法

解析手法のフローを図-3 に、点群データからオルソ画像作成の概念図を図-4 に示す。

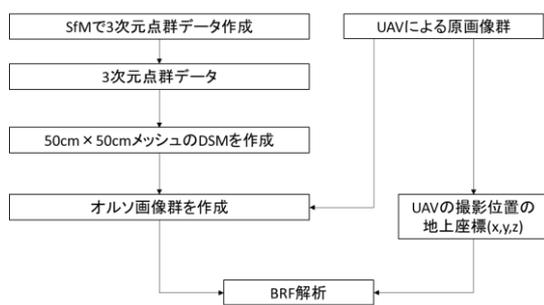


図-3 解析手法のフロー

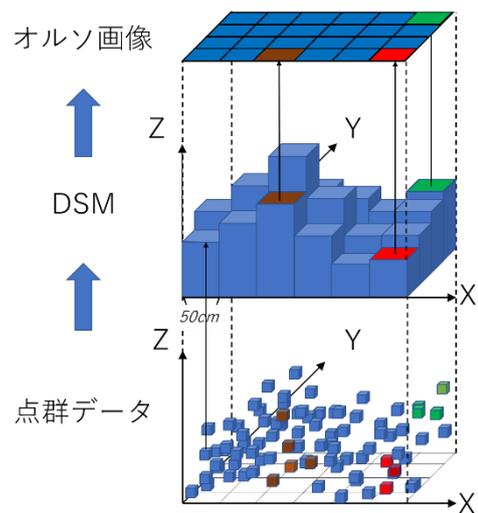


図-4 点群データからオルソ画像作成の概念図

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した。三次元点群データを作成するのに SfM(Structure from Motion)という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を用いた。対象エリアの範囲で点群データから 50cm×50cm メッシュの DSM を作成した。DSM(Digital Surface Model)とは、点群データから樹木、構造物の表面の高さを数値標高モデル化したものである。Z(標高)はメッシュ内の点群の最大値を取得した。DSM から三次元の幾何変換を用いて正射投影にしてオルソ画像を作成した。オルソ画像作成のフローを図-5 に示す。

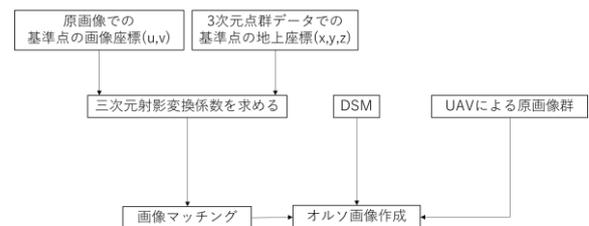


図-5 オルソ画像作成のフロー

次に点群データの基準点の地上座標(x,y,z)と UAV の原画像での基準点の画像座標(u,v)と未知係数 $a_1 \dots a_{14}$ を使い、三次元射影変換式¹⁾ (a), (b) を用いて各原画像での三次元射影変換係数を求めた。

$$u = \frac{a_1x + a_2y + a_3z + a_4}{a_5x + a_6y + a_7z + 1} \quad (a)$$

$$v = \frac{a_8x + a_9y + a_{10}z + a_{11}}{a_{12}x + a_{13}y + a_{14}z + 1} \quad (b)$$

$a_1 \sim a_{14}$: 未知係数

DSM に三次元射影変換係数を用いて原画像での画像座標(u,v)の周辺 5px×5px の RGB の平均値を付与した(図-6).そして各原画像からオルソ画像を作成した.

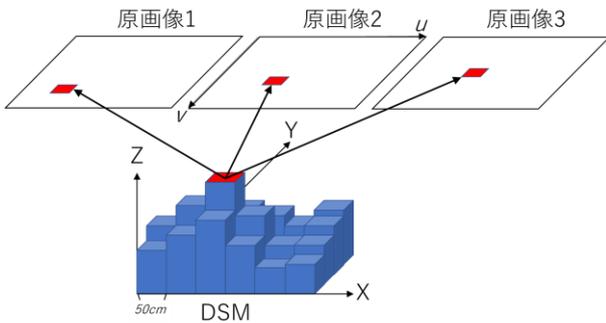


図-6 三次元射影変換を用いたオルソ画像作成の概念図

しかし、三次元射影変換のみでオルソ画像を作成した場合、各オルソ画像でのずれが大きく、BRF解析に用いることができなかった(表-2).

表-2 三次元射影変換のみの平均残差

画像番号	Xの残差(m)	Yの残差(m)
原画像1	0.017	0.971
原画像2	0.020	0.498
原画像3	0.027	0.023
原画像4	0.011	0.430
原画像5	0.011	1.016
平均残差	0.017	0.588

そこで、三次元射影変換に加え、python のライブラリである OpenCVにある画像マッチングを用いることにした.画像マッチングの概念図を図-7に示す.その際、使用する原画像 1~原画像 5のうち、原画像 3を基準画像とした.基準画像の三次元射影変換係数を用いて基準画像での位置(u,v)の周辺 5px×5px の RGB の平均値を付与し、基準画像での基準オルソ画像を作成した.

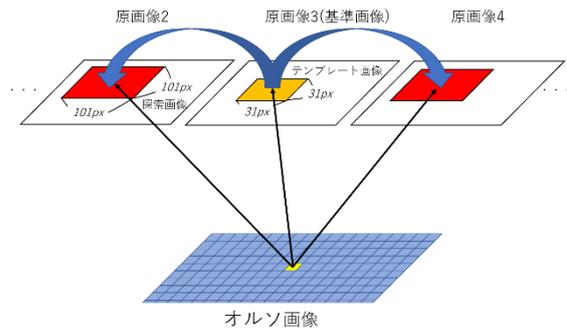


図-7 画像マッチングの概念図

基準画像の三次元射影変換係数を用いて原画像 3での画像座標(u,v)の周辺 31px×31px をテンプレート画像とし、原画像 2,原画像 4での三次元射影変換係数を用いて原画像 2,原画像 4での画像座標 (u,v)の周辺 101px×101px を探索画像とした.画像マッチングで最も類似している座標(u,v)の周辺 5px×5px の RGB の平均値を付与し、原画像 2,原画像 4でのオルソ画像を作成した.同様に原画像 1,原画像 5は原画像 2,原画像 4をテンプレート画像としてオルソ画像を作成した(図-8).

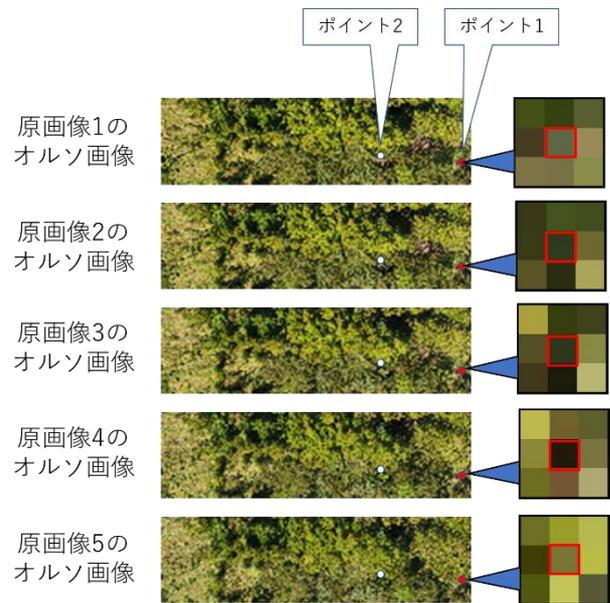


図-8 各オルソ画像とポイント1でのピクセルの色の变化

画像マッチングを用いて作成したオルソ画像群の残差は、三次元射影変換のみで作成したオルソ画像群より小さくなった(表-3).そのため各オルソ画像を重ね合わせ、BRF解析できるようになった.

表-3 三次元射影変換+画像マッチングの平均残差

画像番号	Xの残差(m)	Yの残差(m)
原画像1	0.011	0.014
原画像2	0.008	0.009
原画像3	0.006	0.018
原画像4	0.003	0.009
原画像5	0.022	0.005
平均残差	0.010	0.011

3. 解析結果

オルソ画像のあるピクセルの地上座標 (x_p, y_p, z_p) から撮影時刻の UAV の地上座標 $d(x_d, y_d, z_d)$ へのベクトルを \vec{d} とし、その単位ベクトル \vec{d}_e を求めた。ピクセルの位置での太陽高度 θ_{alt} 、太陽方位角 θ_{az} を求めて、太陽高度、太陽方位角から太陽方向への単位ベクトル \vec{s} を求めた。各ピクセルでの二つの単位ベクトルの内積をIとして、RGBのG(緑)との関係を調べた。IとGの散布図から回帰分析を行い、回帰直線の傾きと相関係数を求めた(図-9)。また、Iの最小値と最大値の2点を結ぶ直線から、ほかの3点と直線との最大の残差を凹凸具合として算出した(図-10)。

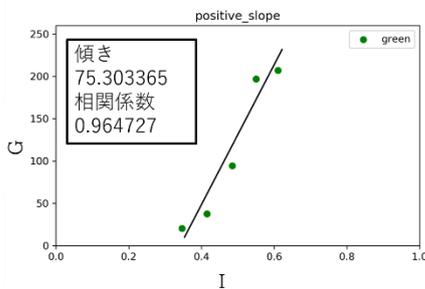


図-9 ポイント2でのBRFと回帰直線

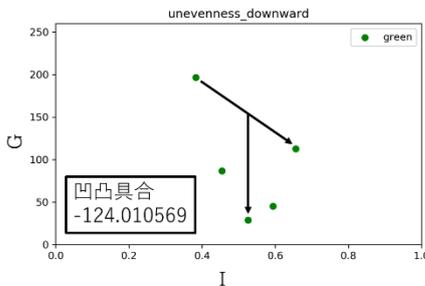


図-10 ポイント1でのBRFと凹凸具合

各メッシュにおいて、回帰直線の傾きを赤バンドに、凹凸具合を緑バンドに、相関係数を青バンドに割り当てたBRF解析画像を作成した(図-11)。

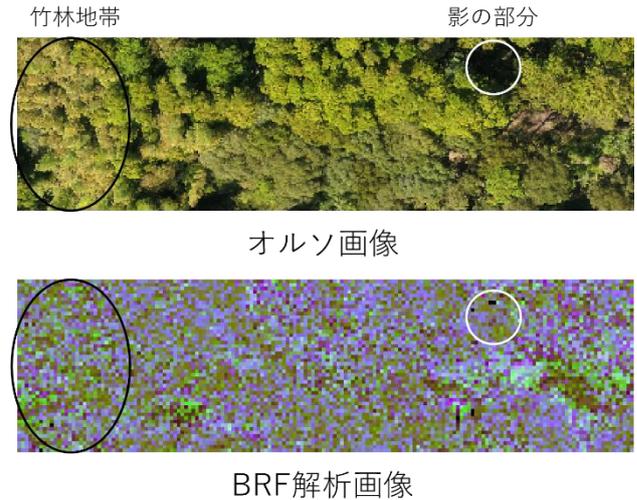


図-11 対象エリアのオルソ画像(上)とBRF解析画像(下)

対象エリアのオルソ画像と比較するとBRF解析画像から左側のモウソウチクの竹林地帯に黄緑色が多く分布しており、竹林は負の相関が強く、凹凸具合は上に大きい傾向がみられる。さらに影の部分はうぐいす色のピクセルが分布しており影は凹凸具合が小さく、負の傾きの状態である。ほかの植生には藤紫色が分布しており、正の相関かつ、正の傾きの状態であるが、樹種の判別ができるまでに至らなかった。

4. おわりに

本研究では、原画像から三次元射影変換と画像マッチングを用いてオルソ画像を作成し、オルソ画像群からBRFを計測する手法を開発した。しかし、各ピクセルでのBRF(傾き, 凹凸具合, 相関係数)からではモウソウチクを除いて、樹種ごとのBRFの特徴を判断できなかった。

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目指す人のために-, pp. 203-204