

デジタルカメラを用いた反射係数計測

1240176 吉本 哲大

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

気候変動による地球温暖化が進行し、海面上昇や降水量の変化が見られる。それにより、自然環境や生態系に及ぶ様々な影響が危惧されている。そこで、国土情報処理研究室では 2019 年から本学の佐岡フィールドにて定期的にデジタルカメラ P1 搭載 UAV を用いた植物観測を行っている。植物の季節変化をデジタルカメラで捉えるには、正確な色情報の取得が必要である。しかし、同じ対象物でも光源が直達光か散乱光かによって画像の RGB 値は異なる。本研究では、観測時の光源に関係なく色の変化を評価できるようにするためデジタルカメラの画像から反射係数推定を行うための手法構築を試みた。今後の課題として対象植物の分光反射特性やデジタルカメラの感度特性を考慮し、反射された放射量から反射率を求める必要がある。

Key Words : 植生観測, 散乱光, 放射照度, 反射係数

1. はじめに

気候変動による地球温暖化が進行し、海面上昇や降水量の変化が見られる。それにより、自然環境や生態系に及ぶ様々な影響が危惧されている。植物は開花や展葉、紅葉や落葉時期など季節の移り変わりに伴う植物の状態変化の時期が影響を受けていると考えられている。そこでこれらの季節の移り変わりに伴う植物イベントを観測するための植生フェノロジー観測が注目されている。一般的に人工衛星を用いたフェノロジー観測は、長期間観測に適しているが低分解能である¹⁾。これに対して UAV に搭載されたデジタルカメラであれば高分解能の撮影画像を取得可能である。しかし、光源の状態によって明るさや色が変わるため、撮影者自身で補正が必要になる。

本研究では 2019 年から本学の佐岡フィールドにて 1 年を通した月ごとの観測を行うため、定期的にデジタルカメラ搭載 UAV を用いた樹種ごとのフェノロジー観測を行なっている。植物の季節変化をデジタルカメラで捉えるには、正確な色情報の取得が必要である。しかし、同じ対象物でも光源が直達光か散乱光かによって画像の RGB 値は異なる。地物の色は太陽の直達光の場合で黄色が強くなり、大気による散乱光の場合は青色が強くなる。このことから、先行研究では村井²⁾は曇りの日の観測データから RGB の正規化により植物の色の変化を考察している。また、若吉³⁾はデジタルカメラの Raw 画像を用い

て明るさを正確に測る仕組みを開発した。さらに直達光では光源とデジタルカメラの位置関係が樹冠上の明るさに影響を与えていることが報告されている。その一方でデジタルカメラの測定値(digital number)による色の評価は相対的であるため、絶対的指標として光源に対する地物の反射率を求める必要がある。デジタルカメラによる反射率計測ができれば観測時の光源に関係なく色の変化を評価できるようになる。

一般的な反射率計測では分光放射計が用いられるが広い植生を対象とした計測には適さないため、本研究はデジタルカメラの画像から反射率推定を行うための手法構築を試みた。

2. 反射係数とその計測手法

反射率は光源の放射量と地物によって反射した放射量の比率であり、光源の放射量は波長ごとに特徴がある。同じ光源であれば明るさが異なる場合でも反射率に変換すればその値は一定となる。反射された放射量を画像化するデジタルカメラでは、分光感度特性が分かっているだけでは反射された放射量の計測はできない。デジタルカメラは分光放射特性によって RGB の値が取得できるが波長ごとの感度を測ることは困難である。一方、分光反射特性があらかじめ計測されている白板があれば、その白板が反射した放射量をデジタルカメラが捉えることで白板を用いた光源の放射量を推定することができる。

本研究では、白板を用いて推定された光源の放射量と対象物の反射量の比を反射係数と呼ぶことにする。また、直達光が当たる日向と散乱光が当たる日陰の双方がある状況では複数の光源が混在するため、本研究では晴天の夕方に山の端に太陽が隠れた散乱光のみの状態で撮影実験を行なった。(図 1)



図 1 撮影手法

デジタルカメラは、焦点距離が 24mm となるレンズを装着した対象物を撮影する地物撮影カメラ (PENTAX k-r) と 180° の画角で円周の画像を作り出す円周魚眼レンズを装着した光源を撮影する天空監視カメラ (NIKON D610) を使用した。カメラ設定は以下の通りである。(表 1)

表 1 デジタルカメラ設定

機材	絞り	SS	ISO
地物撮影カメラ	8.0	1/200	200
天空監視カメラ	8.0	1/200	200

3. 画像の校正

3.1 バットピクセル

撮影した画像データには様々なエラーや計測には適さない画像処理が含まれているため、画像の校正と計測は適した現像処理が必要となる。校正には計測時の画像は Raw 画像を用いる。Raw 画像はイメージセンサが記録した未加工の 2 次元配列データのことで輝度値が整数値で入力されている。この整数値は Digital Number (DN) と呼んでいる。Raw 画像からエラーを取り除きデータの現像処理を行なった。

デジタルカメラの主要なエラー要因としてバットピクセルが上げられる。バットピクセルには暗い画像の中で常に明るいピクセルのホットピクセルや明るい画像の中の黒い点のデットピクセルが存在する。これらは、レ

ンズに入る光の反射を無視して起こるピクセルエラーである。異常値であるバットピクセルはレンズにキャップを付けた状態で写真を複数枚撮り、撮影したダーク画像すべての画素を足し合わせ、その平均をとる加算明合成より特定した。そして、異常値であるバットピクセルは画像全体の中央値と差し替え除去した。

3.2 周辺光量落ち補正

デジタルカメラでレンズを通して撮影した場合、中心部は明るく写り四隅になるほど暗くなる周辺光量落ち現象である。画像が均質でなければ処理する際に明るさが実際の値より低くなる。均質な画像を作成するには、フラットパネルを撮影し、周辺光量落ちの現象を把握する必要がある。

はじめに、フラットパネルの精度検証を放射計 (SEKONIC C-800) により行なった。放射計は LED や蛍光灯などの光源も正確に測定できる分光センサーを搭載したデジタル撮影対応の高性能カラーメータで、観測波長が 380nm から 780nm の波長分解能が 1nm である。

図 2 はフラットパネルの精度検証を行なった結果である。放射計とフラットパネルの計測結果は RMSE が 7.81x となった。

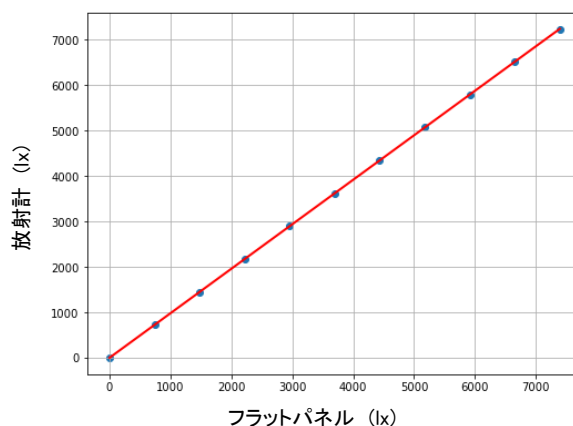


図 2 フラットパネルと放射計の関係

使用したフラットパネル (ImageEngineering LG3) は均質な光源を放射することが可能なカメラ校正用のライトボックスを用いた。

図 3 は地物撮影カメラでフラットパネルを撮影した画像である。地物撮影カメラは三脚に水平に設置しフラットパネルにレンズを 2cm の距離で撮影した。

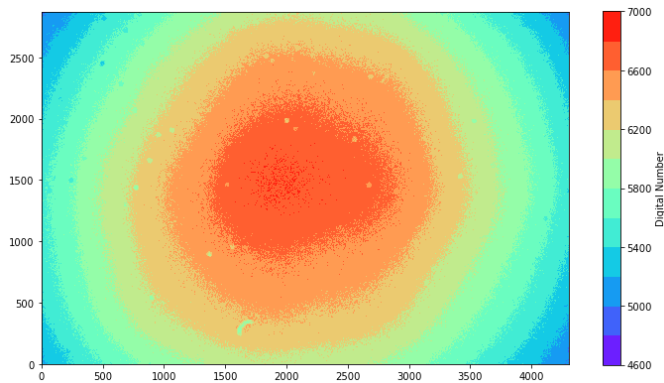


図 3 カメラレンズによる周辺光量落ち

周辺光量落ちを補正し DN(digital number)を一定にするため、各画素の DN_i とその画像全体における最大値 DN_{max} を用いて各画素の補正係数式(a)より求め、その補正係数(a_i)を各画素に乗算することで補正を行なった⁴⁾。

$$a_i = \frac{DN_{max}}{DN_i} \quad (式a)$$

補正後は明るさを一定にするだけでなくセンサ上の埃や汚れ、傷にも対応が可能である。

周辺光量落ち補正をした地物撮影カメラ画像の DN を CN_p (corrected number)とした。

なお、天空監視カメラ(魚眼レンズ)はフラットパネルを画像幅全体にフラットパネルが写るように撮影することが不可能である。よって、周辺光量落ち補正は地物撮影カメラのみで行うことにした。

4. 放射照度変換

フラットパネルは放射させる照度を 0.1%刻みで出力することが可能である。図 4 は放射照度を 0%から 100%まで 10%刻みで出力し、地物撮影カメラで 11 枚撮影した。RGB の各平均値を用いた。

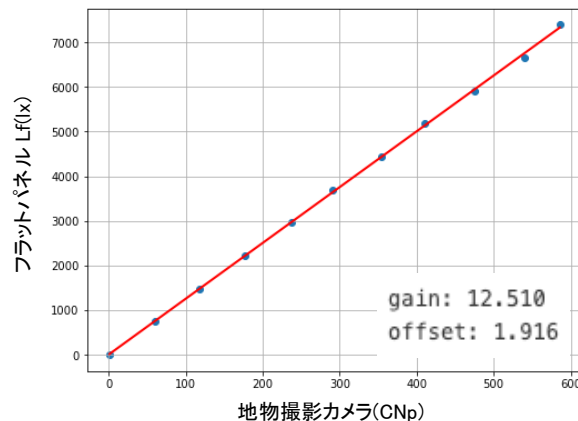


図 4 地物撮影カメラの放射照度変換

フラットパネルの放射照度 L_f (lx)と CN_p から gain(傾き), offset(切片)を求め、放射照度変換式(b)で放射照度 L_p を求めた。

$$L_p = 12.51 \cdot CN_p + 1.916 \quad (式b)$$

天空監視カメラの放射照度変換に用いる RGB はフラットパネルの部分のみを抽出し、それ以外の部分を表示しないようにするマスク処理を行なった。

天空監視カメラも同様に 11 枚撮影しフラットパネルマスク処理を行う範囲中で RGB の各平均値を用いた。

(図 5)

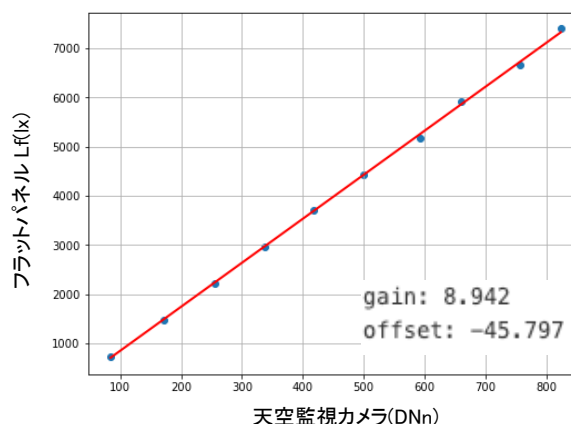


図 5 天空監視カメラの放射照度変換

フラットパネルの放射照度 L_f (lx)と DN_n から gain(傾き), offset(切片)を求め、放射照度変換式(c)から放射照度 L_n を求めた。

$$L_n = 8.942 \cdot DN_n - 45.797 \quad (式c)$$

5. 白板を用いた天空放射照度の推測手法

佐岡研究フィールドにて 2024 年 1 月 26 日 16 時 15 分から 20 分おきに散乱光のみとなる夕方で撮影を行なった(図 6)。

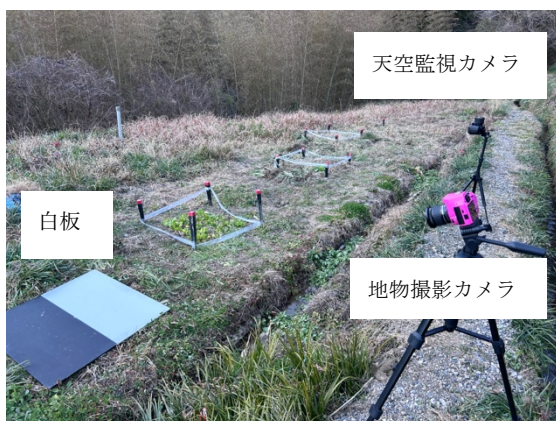


図 6 撮影風景

画像を使用するにあたり、前章 2 で示したバットピクセルの除去と周辺光量落ち補正、放射照度変換を行った。

各 RGB での天空放射照度と白板の放射照度を求めた。異常値対策のため、各シーン 5 枚ずつ撮影し 5 枚の画像の放射照度の中央値を使用した。図 7 は白板の放射照度 L_p と天空放射照度 L_n の散布図である。RGB ごとに傾きのみを求めたものである。回帰直線は原点を通る。

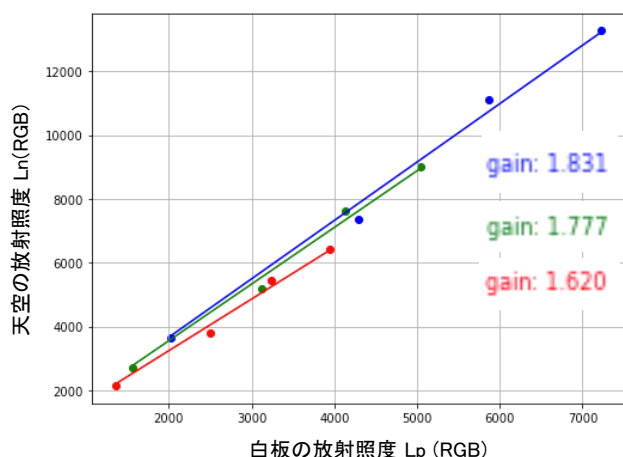


図 7 天空と白板の関係 (RGB)

$$\begin{aligned} L_s(R) &= 1.620 \cdot L_p \\ L_s(G) &= 1.777 \cdot L_p \\ L_s(B) &= 1.831 \cdot L_p \end{aligned} \quad (式d)$$

反射係数は L_p から天空の推定放射照度 L_s を式 (d) で求めた。

6. 地物の反射係数推定

反射係数を式 (e) を用いて 3 バンドで各植物の反射係数 Ref を推測する。観測時期が冬であるため、シロツメクサ、セキショウ、枯れ草の 3 種類の植物を観測した。

$$Rec = \frac{\text{各植物 } L_p}{\text{推定した天空放射照度 } L_s} \quad (式e)$$

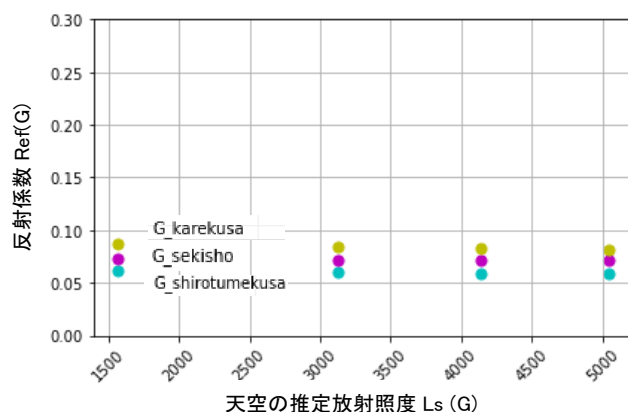


図 8 白板から予想した反射係数 (G)

図 8 は G バンドでの反射係数の結果である。反射係数は天空の推定放射量に関係なくほぼ一定となった。

7. おわりに

本研究では、2 つのデジタルカメラの天空監視カメラと地物撮影カメラを使用し、推定された光源の放射量とデジタルカメラで捉えた反射量の比を反射係数として計測した。白板から推定した植物の反射係数は天空の光源の影響に関係なく一定となった。本研究より標準化の指標となる白板画像のみで地物の反射係数を推定することができる。また、対象植物の分光反射特性やデジタルカメラの感度特性を考慮し、反射された放射量から反射率を求める必要がある。

参考文献

- 1) 小野 朗子. 2012, デジタルカメラを用いた落葉針葉樹カラマツ林の植生解析, 日本リモートセンシング学会誌 Vol. 33 NO. 3, 200 - 207
- 2) 村井 亮介. 2021, UAV に搭載したデジタルカメラによる RGB 値を用いた植生のフェノロジー観測手法, 応用測量論文集, 第 32 巻 Vol. 32, 33-44
- 3) 若吉 慧門. 2024, UAV 搭載デジタルカメラ画像を用いた樹木の二方向性反射特性
- 4) 高木 方隆, 国土を図る技術の基礎-地理空間情報技術者を目指す人々のために-, 254