

# デジタルカメラによる 反射係数計測を用いた樹木の色変化計測

第十 つばさ

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

近年、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観測されている。このような環境変化は、自然環境や生態系に様々な影響を及ぼすことが懸念されている。植物の季節変化を正確に捉えるためには、色情報を精密に取得する必要がある。しかし、同一の対象物でも光源が直達光か散乱光かによって画像の画素値は変化する。そこで本研究では、白板を用いた補正を行うことで、光源条件に依存せず、デジタルカメラ画像から植物の色変化を反射係数として評価できる手法の構築を試みた。その結果、周辺光量落ちと分光感度の2つの補正をすることによって、もみじを対象とした植物の色変化を計測することができた。今後の課題は、撮影時の天空状況を考慮することで、相対的な値の反射係数から物理量としての反射率を計測することである。

**Key Words** : 植生観測, 散乱光, 反射係数, 白板補正

## 1. はじめに

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では一般的に長期間の観測に適している人工衛星などが用いられるが、低分解能である。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画像の明るさや色が変化するため、撮影者自身で補正が必要になる。本研究室では2019年から2025年まで、佐岡地区里山研究フィールドにて定期的な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計測を行なっていた。<sup>[1]</sup> 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、図1に示すように、同じ対象物でも光源の状態によって画像から取得できる画素値は異なる。そのため村井<sup>1)</sup>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た。しかし、この研究では雲量が9以上の日を対象としているため、光源条件が限られてしまう。

次に吉本<sup>[2]</sup>は晴れの日を観測データからその物体が入射光をどれだけ反射するかの割合を表す反射係数 ( $\rho$ ) の計測を試みた。デジタルカメラを使用し、白板の

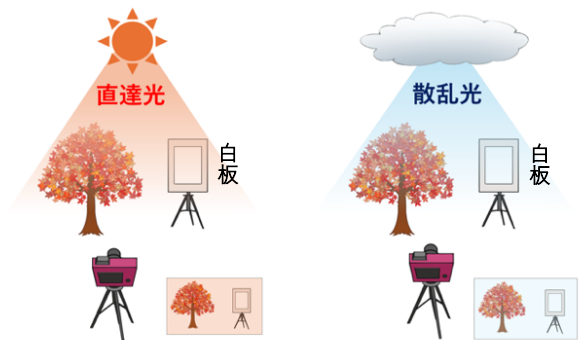


図 1 : 直達光と散乱光による画素値の変化

画素値 (DN) から求めた反射係数を求により、安定した色の評価が行えることを示した。

なお、使用した式は以下の通りである。

$$\rho = \frac{P_{obj}}{P_{white}}$$

$P_{obj}$  : 対象物の画素値,  $P_{white}$  : 白板の画素値

しかし、吉本<sup>2)</sup>の研究では、実際の地物の色変化を計測していない。また、デジタルカメラの感度特性も考慮されていない。そこで本研究は、分光感度の補正も行い、実際に地物の反射係数をデジタルカメラ画像から計測し、植物の色変化を評価した。

本研究で使用するデジタルカメラの諸元は表1の通りである。

表 1:カメラ・レンズの諸元

項目	内容
機種名	PENTAX K-r
センササイズ	約23.6 × 15.8 mm
有効画素数	約1,240万画素
カメラ 解像度	4,288 × 2,848
量子化ビット	12 bit
ISO感度	200
画像形式	JPEG / RAW (DNG)
レンズ 焦点距離	55 mm
絞り値 (F値)	F5.6

## 2. デジタルカメラ画像の校正

### 2.1 周辺光量落ち補正

デジタルカメラにおいて、レンズを通して撮影を行う際、画像の中心部が明るく、周辺部に向かうにつれて暗く写る「周辺光量落ち」と呼ばれる現象が生じる。この影響により、画像処理や画素値解析を行う際に、実際の輝度よりも低い値として評価されるという問題がある。

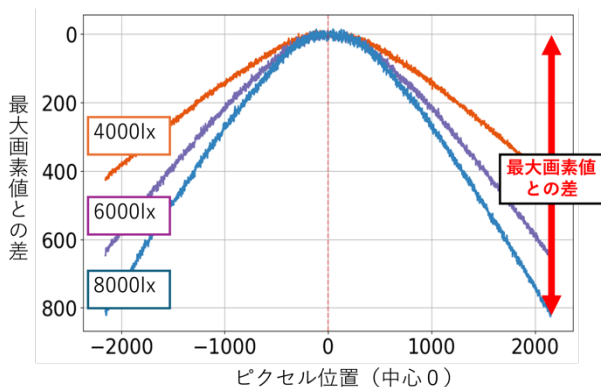


図 2：画像周辺の画素値の減少

図2は、均一な輝度を持つフラットパネルを撮影した画像の中心から水平方向に1列のピクセルを抽出し、最大画素値との差をプロットしたものである。この結果から、画像周辺ほど画素値が減少しているのが確認できる。吉本<sup>[2]</sup>は撮影ごとに均一な明るさでフラットパネルを撮影し、各ピクセルの最大画素値との差から相対的な補正を行った。しかし、フラットパネルの照度を変えながら周辺光量落ちの状況を観察したところ、照度によって周辺の減光量が変化することがわかった。そのため本研究では、画素単位の補正係数を

線形回帰により算出し、各画素の補正量を加算する手法を用いた。

補正量は、フラットパネルを照度 4000~8000lx の 5段階で撮影した際、あるピクセルにおける画素値 (DN) と、各画像内での最大画素値との差をプロットした (図3)。

得られた5点のデータから回帰直線を算出した。

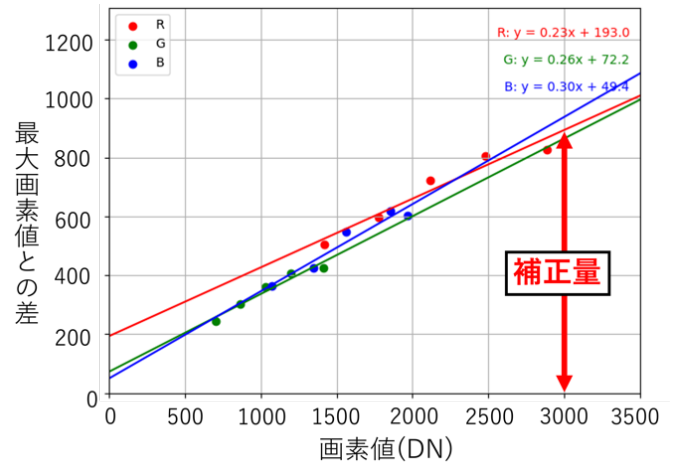


図 3：画像の右端ピクセルにおける画素値と最大画素値との関係

使用した補正量計算式は以下の通りである。

・補正量： $y = a \times DN + b$   
 $y$ : 補正量,  $DN$ : 対象ピクセルの画素値,  $a, b$ : 係数

上記で得られた補正量 (y) を元の画素値に加算することで画素値の補正を行った。例えば、補正したい画像の右端ピクセルの R の画素値が 3000 であった場合、図3に示す矢印の部分が補正量 (y) になる。

### 2.2 分光感度特性を考慮した波長域補正

使用したカメラの分光感度曲線を図4に示す。

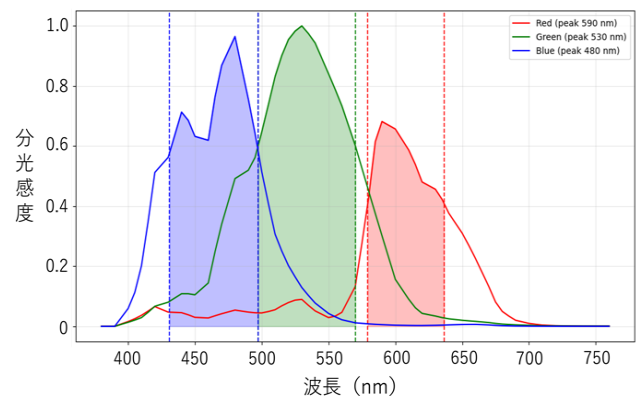


図 4：RGB ごとの分光感度の波長域

分光感度曲線はGバンドの最大値（ピーク波長）を1として正規化している。

このとき、RGBそれぞれの波長域での面積が異なるため、正確な色評価が困難である。RGBごとの面積を同じにするための面積割合を補正係数として、 $k_R$ 、 $k_G$ 、 $k_B$ を設定した。

本研究では、RGB波長帯の面積割合を調整し、照度計で得られた反射係数のばらつきと比較したところ、図5の結果を得た。反射係数の標準偏差が小さい値はそれぞれのピーク波長を1としたとき分光感度0.6以上となる波長域の面積であった。

求めた係数は以下のとおりであった。

$$k_R = 0.575, k_G = 0.617, k_B = 0.624$$

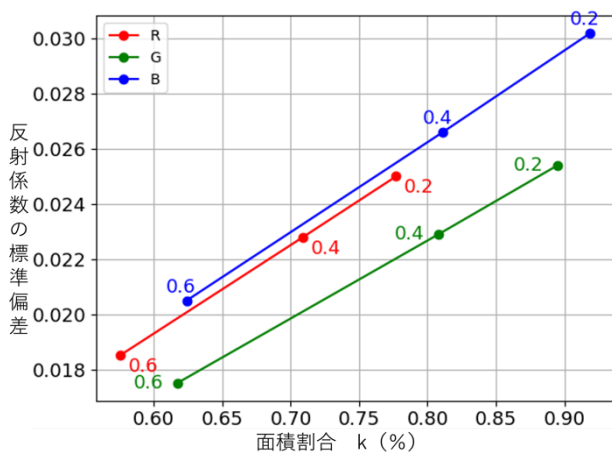


図 5：面積割合による標準偏差の変化

### 3. 反射係数計測の妥当性検討

妥当性検討のため計測対象は、白板と建物の煉瓦を対象とした（図6）

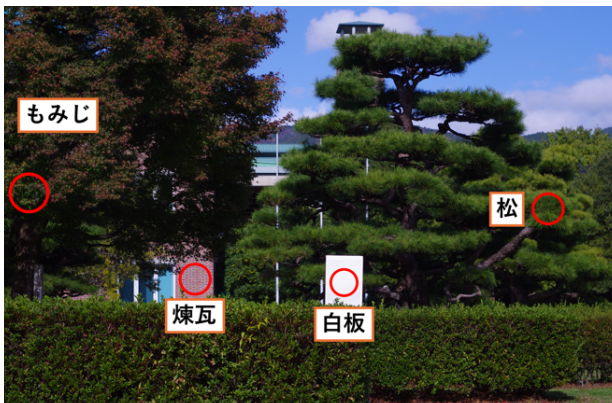


図 6：対象物とポリゴン抽出領域(JPEG)

### 3.1 日射量と白板の画素値との関係

高知工科大学システム工学群建築・都市デザイン専攻社会気象工学研究室が地域連携棟裏で観測している日射量データと、撮影画像から抽出した白板領域のRバンドの画素値との関係を図7に示す。

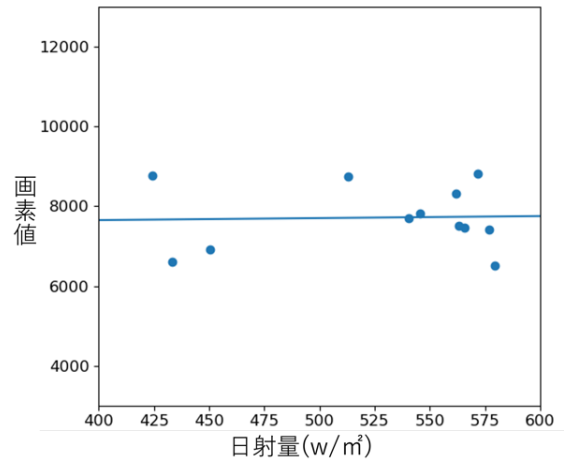


図 7：白板の画素値と日射量の関係

日射量の増加に対して白板領域の画素値には顕著な変化は認められず、両者の間に明確な相関関係は確認されなかった。この要因は、白板を設置した撮影地点と、日射センサーの設置地点における周辺環境の相違や、白板が受光する光の視野と日射センサーの観測視野が一致していない点が挙げられる。

### 3.2 煉瓦の反射係数

撮影画像から得られる反射係数が定量的に色を評価することができるかを確認する。

色変化のしない建物の煉瓦について、Rバンドの画素値と反射係数の推移を図8に示す。

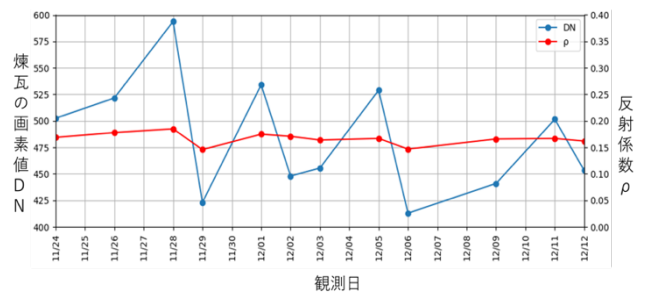


図 8：煉瓦の R と反射係数の推移

撮影期間には天候が変化し、それに伴い画素値(DN)も変化しているが反射係数( $\rho$ )はほぼ一定（標準偏差：0.011）であった。このことから白板を用いた反射係数により、色の評価ができると期待される。

#### 4. 樹木の反射係数計測結果

地物の対象植生として、松、もみじを選定し11月24日から12月12日の期間で撮影を行った。図9.10は撮影期間での松ともみじの反射係数の推移である。

常緑樹である松は画素値の増加傾向が見られなかったのに対し、落葉樹であるもみじは時間とともにR成分の画素値が徐々に増加しており、反射係数の推移から紅葉の進行が数値的に観測できた。

もみじの色変化に着目すると、R成分がG,B成分より大きくなることを紅葉ポイントとした。

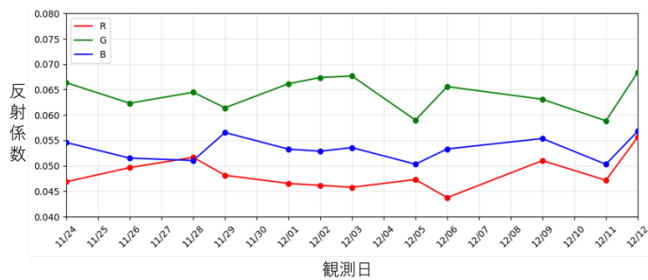


図9：松の反射係数の推移

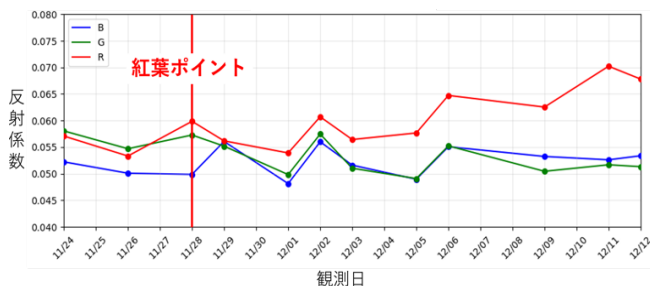


図10：もみじの反射係数の推移

図6に紅葉ポイント前後のもみじと白板の様子を周辺光量落ち補正をかけた TIFF 画像にて示す。

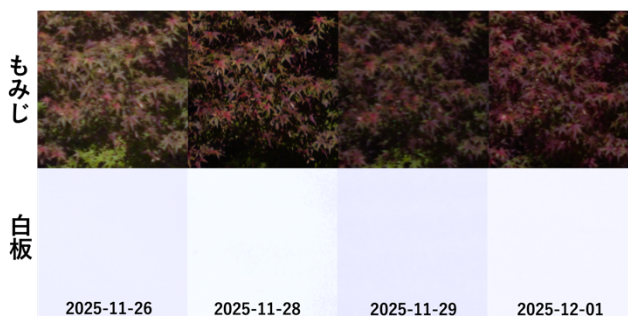


図11：紅葉ポイント前後のもみじと白板の様子

写真からは紅葉の明確な紅葉ポイントの区別することはできなかったが、白板を使用し反射係数に変換したグラフからは明確に紅葉ポイントを明らかにすることができた。

図12に紅葉前と紅葉後のもみじの様子を示す。

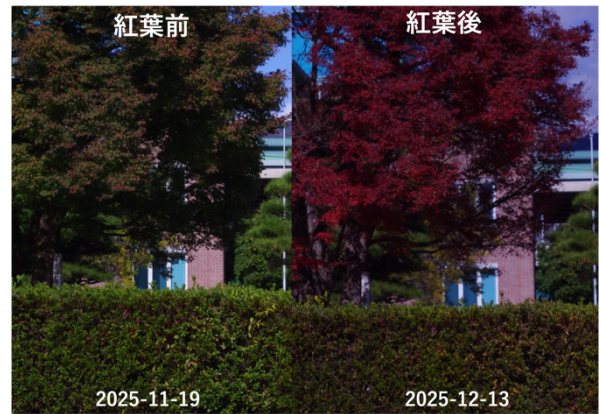


図12：紅葉前後のもみじの様子

紅葉による現象として葉の葉緑素であるクロロフィルが分解され減少し、アントシアニンが蓄積して赤に変化するポイントを画像のDNからも確認できた。

#### 5. おわりに

光源条件によって同一対象物の画素値が変化する問題に対し、白板を基準とした補正により、光源に依存しない反射係数計測の手法を構築した。

周辺光量落ち補正と分光感度特性補正を行った上で、色が一定の煉瓦を用いて本手法の妥当性が示された。

実際の樹木観測では、常緑樹である松の反射係数 (R成分) は上昇傾向が見られなかったのに対し、もみじではR成分がG・B成分を上回った日を境にR成分が時間変化とともに増加し、紅葉が進行していることが確認できた。これにより、白板を用いた反射係数により植物の色変化を定量的に追跡できることが示された。ただし、観測場所の状況や白板の受光視野の調節など観測時の条件を改良する必要がある。

また、反射係数は相対量であり地物固有の物理的反射特性を直接表すものではない。今後は、撮影時の天空状況を考慮し、反射率へ変換することでさらに高精度の色評価ができると考えられる。

#### 参考文献

- [1] 村井 亮介. 2021, UAV に搭載したデジタルカメラによる画素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
- [2] 吉本 哲大. 2023, デジタルカメラを用いた反係数計測
- [3] 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