

マルチバンドパスフィルターを用いた デジタルカメラ画像による RGB 計測手法

1230031 大原 麻実

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

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おり、デジタルカメラ P1 から取得した RGB 値を使用したフェノロジー解析を行っている。しかしデジタルカメラ P1 の RGB 値は、開花や紅葉などの判読はできるが、計測用のカメラではないため、色彩、彩度の変化を計測することは困難である。本研究では、マルチスペクトルカメラとマルチバンドパスフィルターを用いてデジタルカメラ P1 の分光特性を確認した。また、マルチバンドパスフィルターを使用し、フィルターなしのデジタルカメラ P1 とフィルターありのデジタルカメラ P1 の 2 回撮影を行うことで RGB 計測を相対値にして、3~4% の誤差で計測できるようになった。今後の課題として実際に植生観測で行う際、マルチバンドパスフィルターを使用し 2 回撮影を行う必要があるため、精度の高い幾何補正が求められる。

Key Words: マルチバンドパスフィルター, デジタルカメラ, マルチスペクトルカメラ, 分光特性

1. 背景

気候変動による影響評価のための基礎データや、生物多様性植生の評価として植生観測などが行われている。植生の変化を正確に捉えるには観測精度の向上は重要な課題である。

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で定期的に UAV を用いた植物フェノロジー観測を行なっている¹⁾。植生フェノロジー観測とは、植生を定期的に観測し、季節の移り変わりに伴う植生の状態や変化を観測することである。観測にはデジタルカメラ P1(以降 P1 カメラと略記)を用いている。しかし P1 カメラの RGB は、開花や紅葉などの判読はできるが、計測用のカメラではないため、色彩、彩度の変化を正確に計測することは困難である。図 1 は一般的なデジカメの分光反射特性である²⁾。G バンドの波長帯が B バンド、R バンドの波長帯まで重なっており、色の評価において十分な精度があるとは言えない。デジカメにおける計測精度を向上させる取り組みとして、4 種類のシャープカットフィルターを使用し、赤外線の反射率データを取得した研究がある³⁾。しかし、この研究では赤外線以外の波長帯

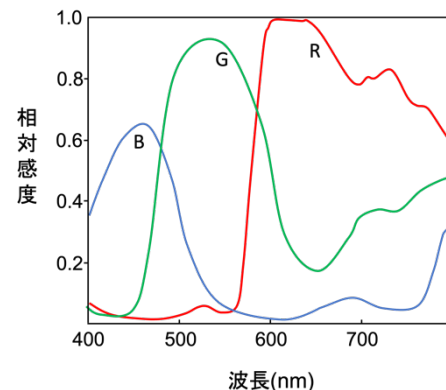


図 1 一般的なデジタルカメラの分光反射特性

については取り組まれておらず、RGB 計測までおこなった記載はなかった。近年では UAV に搭載できる小型のマルチスペクトルカメラも登場しており一般的なカメラよりも精度の高い RGB 計測が行えるようになった。国土情報処理研究室でも RedEdgeMx(以降 MS カメラと略記)を所有している。MS カメラは図 2 のようにバンドごとの波長幅が正確にわかっており、またバンドごとの観測波長幅が重なってないため正確な色情報を取得できる。しかし、MS カメラは P1 カメラと比べ空間分解能が低い。

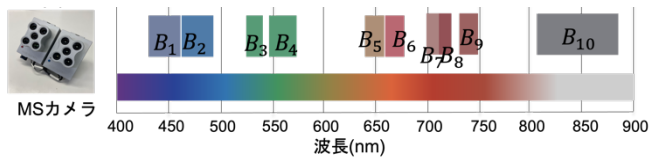


図2 MSカメラの観測波長帯

そこで, 正確な色情報を取得できる MS カメラを用いて P1 カメラの分光特性を計測し, P1 カメラによる RGB 値の推定を本研究の目的とした. これにより, 分解能が高いカメラでの RGB 計測ができるようになる.

2. MS カメラによる P1 カメラの分光特性計測

P1 カメラの画素値(DN)が MS カメラの各バンドの線形結合で表現できるとすると, 式(a)で表すことができる. 一般のデジカメには赤外カットフィルターが入っているので, 450nm~700nm の波長帯が対象となり, MS カメラの使用バンドは, バンド $B_2 \sim B_6$ とした. 式(a)において, P1 カメラの DN を R_p, G_p, B_p , MS カメラの DN を $M_2 \sim M_6$, 未知係数を $a_{11} \sim a_{36}$ とする.

$$\begin{bmatrix} R_p \\ G_p \\ B_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (a)$$

未知係数を求めるためには, 正確な DN が必要なため, 色の違う折り紙を撮影し実データを取得する. 式(a)は, RGB ごとに 6 つの未知係数があるので, 6 つの連立方程式で解くことができるが, 計測誤差を考慮して 24 色で計測した(図3).



図3 使用したカラーパレット(A4サイズ)

撮影場所は蛍光灯などの光の影響をなくするため暗室で行い, 光源は LED パネルのライトのみとした. 同じ色を撮影した場合でもピクセルごとに DN のばらつきがあるため, 24 色のカラーパレットについて 10×10 ピクセルの範囲から平均値を取得した. 未知係数 $a_{11} \sim a_{36}$ は最小二乗法により求めた. 求めた係数の値を表1に示す. 表

1 より, R_p では M_5 に対応する係数 a_{14} , B_p では M_2 に対応する係数 a_{31} の値が大きことから, 求めた係数は分光特性を表していると考えられる. G_p については M_5 に対応する係数 a_{24} が大きくなっており, また係数の値が全体的に大きいことから, G バンドにおける感度が広いことが確認できる.

表1 求めた係数の値

R_p	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}
	0.184	-0.380	0.554	2.409	1.332	-10014
G_p	a_{21}	a_{22}	a_{23}	a_{24}	a_{25}	a_{26}
	0.317	-0.462	0.575	0.923	-0.650	-9488
B_p	a_{31}	a_{32}	a_{33}	a_{34}	a_{35}	a_{36}
	1.267	0.207	0.024	-0.142	0.204	-9508

MS カメラの $M_2 \sim M_6$ を使用し, 式(a)から P1 カメラの RGB を算出した. 算出した値と, P1 カメラの値 R_p, G_p, B_p の平均二乗誤差(以降 RMSE と称す), 残差の最大値を表2にまとめた. 表2中の RMSE(DN)は, 量子化 bit14 で表されたものである. RMSE(%) については, RMSE(DN) の値を最大値 16384 で割ったものである.

表2 算出した B_p, G_p, R_p についての残差表

	B_p	G_p	R_p
RMSE(DN)	626	522	687
RMSE(%)	3.82%	3.19%	4.19%
最大値	7.85%	7.78%	10.2%

P1 カメラより撮影された画像(R_p, G_p, B_p)と, MS カメラより推定した画像(R,G,B)を図4に示す.

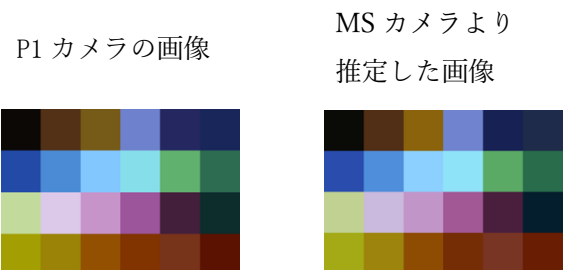


図4 画像の比較

表2の RMSE(DN)は, 8bit で表現すると DN にして 10 ほどの誤差があるが, 図4の左右の画像を比較すると, その差は目視では確認できない. よって式(a)は有効であると期待できる.

3. マルチバンドパスフィルターを用いた分光特性計測

マルチバンドパスフィルター(以降 MBP フィルターと略記)とは,複数の特定の波長域を通すバンドパスフィルターである.本研究では天体観測に用いられる光害カットフィルターである LPS-D1 を用いた.図 5 に LPS-D1 の透過率と図 1 の分光反射特性を重ねたものを示す.LPS-D1 は B バンドと G バンド,G バンドと R バンドの間の波長域をカットするフィルターである.また R バンドの波長域においてカットする波長が多い.MBP フィルターを用いることで RGB が分離され精度が良くなると考えた.

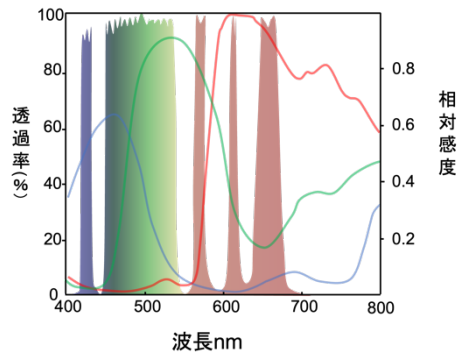


図 5 LPS-D1 の透過率

以降,MBP フィルターを使用した P1 カメラ(以降 P1 カメラ+F と略記)を用いて 2 章と同様の処理をおこなった.式(b)について,P1 カメラ+F の値を R_L, G_L, B_L とし,求められた未知係数を表 3 に示す.

$$\begin{bmatrix} R_L \\ G_L \\ B_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} & a_{56} \\ a_{61} & a_{62} & a_{63} & a_{64} & a_{65} & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_2 \\ B_3 \\ B_4 \\ B_5 \\ B_6 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (b)$$

表 3 について,表 1 の G バンドの係数では, M_5 に対応する係数 a_{24} が大きくなっていたが,表 3 では M_2 に対応する係数 a_{52} が大きい.このことから,MBP フィルターを用いることで G バンドの波長域における値を取得できていることがわかる.

表 3 求めた係数の値

R_L	a_{41}	a_{42}	a_{43}	a_{44}	a_{45}	a_{46}
	0.108	0.035	0.105	0.634	-0.263	-4222
G_L	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}
	0.316	0.646	0.151	0.352	-0.281	-6328
B_L	a_{61}	a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}
	1.345	0.277	0.042	-0.206	0.222	-9183

表 4 算出した B_L, G_L, R_L についての残差表

	B_L	G_L	R_L
RMSE(DN)	531	426	162
RMSE(%)	3.24%	2.60%	0.99%
最大値	7.74%	7.26%	2.82%

表 4 は RMSE を示しており,表 2 と比較すると R バンドの値の精度が上がったことがわかる.表 4 の RMSE(DN)では,8bit で表現すると DN にして 7 ほどの誤差があるが,図 6 の左右の画像を比較すると.図 4 と同様,その差は目視では確認できない. よって式(b)も有効であると期待できる.

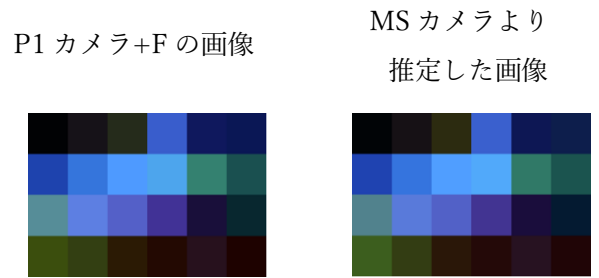


図 6 画像の比較

4. 分光特性を用いた RGB 値の推定

4.1 MBP フィルターと P1 カメラを用いた MS カメラの 5 バンドの推定

前章までで, $a_{11} \sim a_{66}$ の値は求まったので,この章では未知数を $M_2 \sim M_6$ とする.未知数 $M_2 \sim M_6$ の 5 つに対して式(a),式(b)を用いて推定を行う.この解法において,1 次方程式の傾きが近い場合, $a_{11} \sim a_{66}$ による誤差の影響が大きくなってしまいうため逆行列式により解くことはできない.よって,MS カメラの DN が量子化 bit12 に対して,0 から 10 段階で変化させた 410 の組み合わせをすべて代入し,もっとも精度の高い値を推定した.表 5 は推定した各バンドの残差表であり,表中の RMSE(%) については, RMSE(DN) の値を最大値 4096 で割ったものである.

表 5 推定した各バンドの残差表

	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6
RMSE(DN)	109	137	188	171	352
RMSE(%)	2.65%	3.34%	4.59%	4.17%	8.58%
最大値	4.87%	8.01%	10.2%	6.94%	13.5%

表 5 より,推定の精度は RMSE で見ると最も精度が良いのが M_2 であり, M_6 の精度が最も悪い.理由として, M_6 は赤外に近いバンドであり, P1 カメラの赤外カットフィルターにより観測波長帯がとどいていない可能性があるため精度が悪くなったと考えられる.

4.2 相対的な RGB 値への変換と検証

前項で 5 バンドの DN を推定したが, DN は明るさの違いによって色も変わってしまうため,色を評価するために相対的な値に変換する.衛星リモートセンシングにおいて多バンドの相対的な色評価はバンドサムを用いて行われており,式(c)を用いている⁶⁾.R バンドの相対値を求める場合,分母を 5 バンドの合計,分子を R バンドに相当する値の合計,ここでは, M_5 と M_6 の合計となる.

$$R_{\text{Band}i} = \frac{\sum_{j=1}^m \text{BAND}j}{\sum_{i=1}^n \text{BAND}i} \quad (c)$$

相対値にした RGB を検証するため,カラーパレットを一色ずつ放射計で測り,放射量についても式(c)を使用し相対値に変換した. 図 7 はカラーパレットの 24 色のうち図 3 の右下に示す赤色の場合であり,推定した RGB と放射計の値を比較したものである.

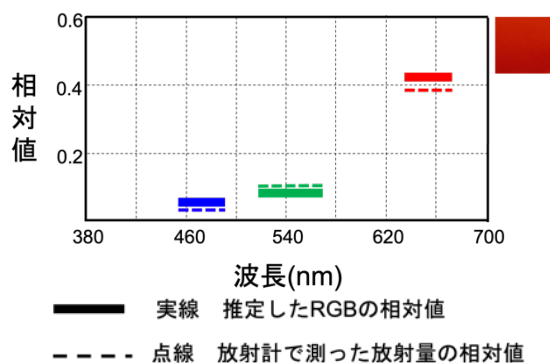


図 7 推定した RGB と放射計の比較(赤色)

表 6 ではカラーパレット 24 色について,放射計との RMSE,残差の最大値を示した.RMSE は最大値を 1 として表されたものである.

表 6 放射計の値と推定した RGB の残差

	R	G	B
RMSE	0.040	0.038	0.056
RMSE(%)	4.04%	3.79%	5.58%
最大値	10.1%	7.50%	12.9%

表 6 の RMSE よりこれまでと同等 3~4% の誤差で値が推定できた.

5. 考察

本研究では,MBP フィルターと MS カメラを使用し P1 カメラの分光特性を確認した.また,MBP フィルターを使用し, P1 カメラと P1 カメラ+F の 2 回撮影を行うことで RGB 計測を相対値にして,3~4% の誤差で計測できるようになった.RGB 計測の精度について,本研究で用いた MBP フィルターは,R バンドの波長帯での波長カットに比べ,G,B バンドでのカットは僅かだったので,G,B バンドの波長をカットするバンドパスフィルターを用いることで係数による誤差が少なくなり,精度が上がると考えられる.また,今後の課題として実際に植生観測で推定を行う際, P1 カメラと P1 カメラ+F の 2 回撮影を行う必要がある.同時に撮影することはできないため,画像の位置ずれを高精度で補正することが求められる.

参考文献

- 1)村井 亮介, 2022.UAV に搭載したデジタルカメラによる植生の生物季節解析,学位論文,p-13
- 2)一般的なデジタルカメラの分光反射特性,
https://www.argocorp.com/cam/ImagingSource/sensor/Sony_IMX250.html
- 3)黒木貴一(福岡教育大学)後藤健介(長崎大学)磯望(西南学院大学),2008.デジタルカメラによるリモートセンシングの方法とその利用,日本地理学会春季学術大会,46 巻,2 号, p. 1-9
- 4) LPS-D1 の透過
<https://idas.uno/space/optical-filter/LPS-d1.htm>
- 5)高木 方隆,2012.国土図る技術の基礎-地理空間情報技術者を目指す人々のために- 改訂 第 2 版,東京公益社団法人日本測量協会,p279-280
- 6)小野朗子,小野厚夫, 林田佐智子, 2013.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,33 巻,3 号, pp200-207