

## 一般的なカメラによる SPAD 値の推定方法に関する研究

アデルジャン イミティ† 宮本一行† 飯倉宏治†  
秋田公立美術大学複合芸術専攻†

## 1. はじめに

葉緑素値は植物の葉緑素含有量を示す重要な指標であり、植物の成長具合や窒素の栄養診断などのモニタリングに利用されている。葉緑素値は SPAD 計により測定されているため、その測定結果を SPAD 値と呼ぶことが多い。SPAD 計を用いて手軽にリアルタイムで葉緑素値を測定することが可能だが、測定には対象葉を挟む必要があるため、単葉ごとの計測になる。したがって、SPAD 値の測定はポイントサンプリングとなり、広範囲の作物を対象にした時、多数の測定が必要となる。そのため、頻繁に測定を実施する場合は SPAD 値の面的な測定が望まれている。近年、リモートセンシング技術の進歩により、衛星に搭載されたセンサーからの植生画像を利用し、広範囲の植物の育成状況を診断する方法が多く提案されているが[1]、一般的な農家では利用が困難である。一方、最近のデジタルカメラの性能向上がめざましく、価格も安くなってきているので、一般家庭へ広く普及している。このことを受け、安価なデジタルカメラやスマートフォンのカメラによる SPAD 値の推定方法が検討されている[2, 3]。しかし、これらの報告においては測定対象が単葉であったり、接触型の測定であったりするため、SPAD 計による測定と同じく多数サンプリングが必要となる。

本研究では、一般的なカメラを用いて撮影した植物のカラー画像から正規化された色の分布状況と SPAD 値との関係性を調査し、SPAD 値の面的な測定方法の確立を目的としている。本稿では、二十日大根を対象に実施した調査実験および方法について報告する。

## 2. 材料および方法

## 2.1 試験材料

2017年9月29日に秋田公立美術大学の構内に直径22cmの鉢を設置し、試験材料としてサクランボ二十日大根（アタリヤ農園）の種を5cmの間隔で3粒まいた。種まきから5日間前後で各個体から双葉がではじめた。2017年10月12日から、各個体から測定可能な大きさになった葉を選定し、番号を付けて SPAD 計（SPAD-502 Plus, Konica Minolta）で測定を行い、SPAD 値を記録した。最初は各個体から出

てきた双葉を対象に測定を行ったが、本葉が測定可能な大きさになってから測定対象として収穫日までに各個体から6枚までを対象に測定を続けた。SPAD 値の測定直後に、デジタルカメラ（WG-50, RICOH）のホワイトバランスと感度をオートに設定し、鉢とカラーチャートが一緒に映るように写真撮影を行った。測定は午前10時から午後6時までの時間帯の中で一日1回行い、2017年11月17日の収穫日まで37日間測定と撮影を継続した。雨の日は鉢を室内にもっていき、蛍光灯をつけた照明条件で SPAD 値測定と写真撮影を行った。

## 2.2 撮影画像からの SPAD 値推定

## 1) 色調補正および線形変換

試験体の写真撮影において、屋外（雨の日は室内）では天候による照明条件や撮影時間帯と撮影位置によって画像の明るさや色調が大きく変化し、正確な色情報の取得が難しくなる。そこで、色調補正用カラーチャート（Color Checker Passport, X-rite 社）を被写体と一緒に撮影した。カラーチャートを用いることで、撮影条件が異なっても、色調補正により照明条件の影響を軽減することが期待できる。

本研究では、植物のカラー画像から SPAD 値を簡易に推定できるシステムの構築を目的としているため、撮影した画像の入力から推定までの処理の自動化を目指して、カラーチャートの自動認識および色調の自動補正ができるプログラムを開発した。まずは、予め撮影したカラーチャートをテンプレートとして、SURF 特徴量を利用し、試験対象画像にあるカラーチャートとマッチングを実施する。図1にマッチングを行った一例を示す。次に、カラーチャート内の各色パッチの色情報を精確に取得するため、カラーチャートテンプレートの四隅にあるカギマークを基準に射影変換を行う。最後に、画像全体をデガンマし、24色パッチの RGB 値とカラーチャートの真値から求めたリニア空間中の RGB 値を用いて、最小二乗法により色調補正を行う。図2に補正前の画像と補正後対象画像を示す。

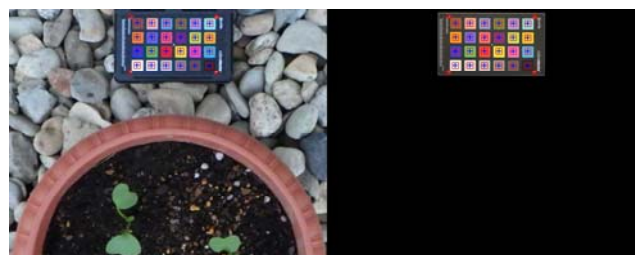


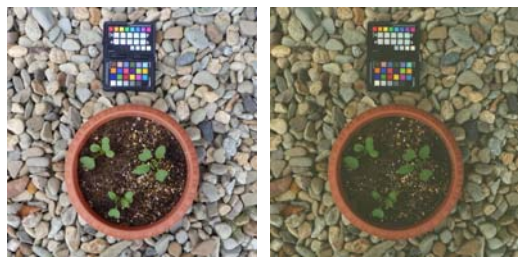
Fig. 1 Recognition process of the color chart.

Study on estimation method of SPAD value using digital camera

† Adiljan Yimit, Akita University of Art

† Kazuyuki MIYAMOTO, Akita University of Art

† Kouji IIGURA, Akita University of Art



(a) input image (b) after color correction

Fig. 2 Color correction process.

### 2) 葉領域色情報の抽出

植物の葉色と SPAD 値との相関性を調べるためには画像内の葉領域の正確な抽出が求められる。そこで、最初に葉領域を背景からの分離作業を行う。葉領域の自動抽出方法として、対象カラー画像を濃淡画像に変換し、大津の二値化手法を用いることで抽出を行う方法が利用されているが、対象画像内の影やハレーションなどの影響で、葉領域の抽出がうまくいかない場合がある。本研究では、対象画像を RGB 色空間から  $L^*a^*b$  色空間に変換し、 $a^*$  成分で経験的に決めたしきい値を用いた二値化により葉領域の抽出を行う。しかし、背景には葉色に似た色の物体（例えば、カラーチャート内の緑色のパッチ）が含まれることもあるため、二値化画像に対してラベリングを実施し、面積が一定値以下のラベルをノイズや葉以外のものとして排除することで葉領域を抽出する。抽出結果をマスクとして補正画像から葉領域の RGB データを読み出すために利用する。図 3 に SPAD 値と葉領域の色分布との関係を調査するために撮影した 37 枚の画像ごとに計算した R, G, B 成分の平均値と葉ごとに計測した SPAD 値の平均値との関係を示す。グラフでの R, G, B 成分の値は [0,1] で正規化されたものである。

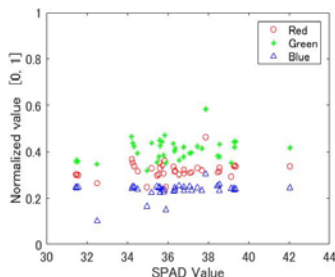


Fig. 3 Relation between mean SPAD value and mean values of red, green and blue colors on successive sampling data.

### 3. 結果および考察

図 3 に示したグラフから SPAD 値と R, G, B 成分の平均値との関係が明確ではなかったことがわかる。その関係を相関係数を用いて調べた結果、それぞれの相関係数は 0.2587, 0.294, 0.2595 であった。SPAD 値はどの成分とも低い相関関係を示した。そこで、植物の生育調査でよく用いられている植生指標[3,4] から SPAD 値を推定することができるか否かを調べるために、SPAD 値を目的変数とし、植生指標を説明変数として重回帰分析を行った。表 1 に本報告で使用した植生指標を示す。その結果、次の推定式を

得た。

$$Y = 127.4766 - 76.6696R + 55.7356G + 998.2712ExG - 1162.7815GLI + 233.5957ExGR + 199.6543CIVE - 599.0209COM \quad (1)$$

この重回帰式の重相関 R は 0.7276 であった。この式による推定値と SPAD 値との関係を図 4(a)に示す。この推定式の適用性を検定するため、重回帰分析に使用していない 17 枚の画像から SPAD 値を推定した。その結果を図 4(b)に示す。推定値と SPAD 値の平均誤差は 1.9724, 標準偏差は 1.7247 であって、比較的良好な結果が得られた。このことから植生指標の組み合わせを用いることで SPAD 値を推定する可能性が示された。

Table 1 Vegetation indices derived from RGB values.

Index (abbreviation)	Equation	Index (abbreviation)	Equation
r	$R / (R + G + B)$	ExGR	$ExG - (1.4r - b)$
g	$G / (R + G + B)$	CIVE	$0.44r - 0.88g + 0.39b + 18.79$
b	$B / (R + G + B)$	COM	$(0.25ExG + 0.3ExGR + 0.33CIVE + 0.12VEG)$
ExG	$2g - r - b$		
GLI	$ExG / (2g + r + b)$		

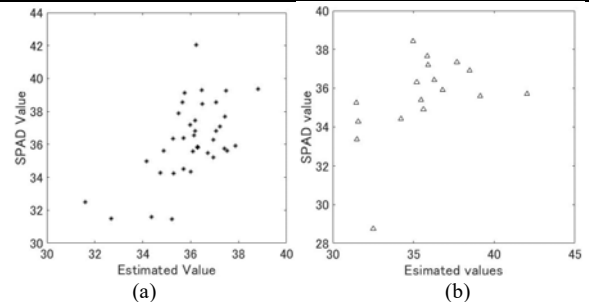


Fig. 4 Relation between SPAD value and the estimated value.

### 4. おわりに

一般的なカメラを用いて撮影した植物のカラー画像から葉緑素の SPAD 値の面的な測定方法を確立するために、植物の色分布と SPAD 値の相関性を簡易に推定できるシステムを提案した。二十日大根を対象に調査実験を行い、植物のカラー画像から SPAD 値を推定する可能性を示した。

### 謝辞

本研究の一部の実施に対し、秋田県の「あきた産学官連携携未来創造研究事業」の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] 浅沼亜希菜, 豊田裕道, 島田沢彦, 浅沼市男, 正規化植生指数と SPAD 値を組み合わせた指数による米粒タンパク質含有率推定の可能性について, 写真測量とリモートセンシング, 2011, vol.50, no.1, p.34-39.
- [2] 長野龍雄, 重富修, デジタルカメラを用いた稲単葉の葉色測定, 九州農業研究, 2005, 第 67 号: 7.
- [3] 西田瑞彦, 芳村裕之, 高橋智紀, 中山壮一, スマートフォン装着用の接触型接写レンズを用いた水稻葉デジタル写真の画像データと SPAD 値との関係. 日本土壌肥科学雑誌, 2015, vol.86, no.3, p.202-206.
- [4] Yang, W., Wang, S., Zhao, X., Zhang, J., and Feng, J., Greenness identification based on HSV decision tree. Information Processing in Agriculture, 2015, vol.2, no.3, p.149-160.
- [5] <https://www.aeroeye.com.au/industries/agriculture/multispectral-imagery-and-vegetation-indices/>(参照 2018-01-18).