

研究ノート

ドローン搭載マルチバンドカメラ画像と部分最小二乗回帰による 茶葉の品質評価の基礎的検討

Preliminary Evaluation of Tea Leaves Using UAV-Based Multispectral Imagery and Multivariate Analysis

小形 幸平

Kouhei Ogata

【要 旨】

本研究では、ドローンに搭載したマルチスペクトルカメラと部分最小二乗回帰（PLS）を用い、茶葉成分を推定する可能性について調査を行った。茶園において、4つのバンド（グリーン、レッド、レッドエッジ、近赤外）を持つマルチスペクトル画像を撮影し、8箇所のサンプリング地点から反射率を抽出した。

分析の結果、全窒素含有量とNDVI（正規化植生指数）の間に正の相関が認められ、PLSモデルにおいて最大0.74の決定係数（ R^2 ）を達成した。

サンプル数は限られているものの、本研究は茶の品質評価モデルの開発に向けた基礎的な知見を与えるものであり、実用的な農業利用におけるドローンによるリモートセンシングの可能性が示された。

【Abstract】

This study investigates the potential of estimating tea leaf components using a drone mounted multispectral camera and partial least squares (PLS) regression analysis. Multispectral images with four bands (Green, Red, Red Edge, and Near Infrared) were captured over a tea field, and reflectance values were extracted for eight sampling points. The results showed a positive correlation between total nitrogen content and NDVI, with the PLS model achieving a coefficient of determination (R^2) of up to 0.74. Although based on a limited number of samples, this study provides fundamental insights into developing tea quality evaluation models and demonstrates the potential of drone-based remote sensing for practical agricultural applications.

【キーワード】 ドローン, 茶, マルチバンドカメラ, リモートセンシング, 多変量解析

【Keyword】 UAV, Multispectral Imagery, Tea Cultivation, Multivariate analysis

1. 緒言

茶栽培に関するリモートセンシングの活用は人工衛星、航空機、ドローンなど様々なプラットフォーム上で進められている。特に人工衛星を活用したリモートセンシングは古くから行われており、その中でも植物活性度を測る指標として正規化植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index : NDVI) が使われることが多い。植物は太陽光に対して、近赤外域 (Near Infrared) の波長の反射率が高く、赤域 (Red) の波長の反射率は低いという反射率特性を持つ。NDVIはこの特性を用いて近赤外域の波長の反射率と赤域の波長の反射率の差を正規化した式で表される。

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

ここで、NIRは近赤外域の反射率であり、Rは赤域の反射率である。

また、レッドエッジ域 (Red Edge) は特に植物のストレスやクロロフィル量に対応する波長帯であると言われている¹⁾。

ドローンにおいてもその技術が応用されており、農業センシング用ドローンの多くには赤色域 (Red)、緑色域 (Green)、近赤外域 (NIR)、レッドエッジ (RE) のマルチスペクトルバンドカメラが搭載されているものが多い。また、ドローンは比較的安価で操作が容易であり、人工衛星よりも空間解像度が高いことから病虫害の診断²⁾や早期の適期摘採の時期の予測³⁾なども期待されている。茶園におけるオンサイト・リモートセンシングとしては、ほ場にデジタルカメラを設置してNDVIと茶葉の成分との関連性が指摘されている⁴⁾。しかし、茶園にデジタルカメラを設置する際は圃場内の防霜ファンなどに取り付けられているが、防霜ファンがないほ場のモニタリングや斜めからの撮影による双方向反射率分布関数 (Bidirectional Reflectance Distribution Function : BRDF) の考慮など撮影条件に制約があることが多い。また、茶葉の調査では、経済的・人的コストがかかるため、成分調査のサンプル数を増やすことやその回数も限られている。これらより、茶葉のリモートセンシングでは得られる説明変数が多いがサンプルが少ない事態が生じやすい。そこで茶葉成分の推定を行う際は、次元削減などの統計的手法が求められる。

そこで本研究では、マルチスペクトルバンドカメラを搭載したドローンを使い、茶葉成分とマルチスペクトルバンドのそれぞれの反射率の関連性を調査するために部分最小二乗回帰 (Partial Least Squares Regression : PLS) を用いて解析を行う。PLSは主成分分析を土台とした回帰分析の一種である。主成分分析は、変数の分散が最大化するように主成分が決定され、変数の次元を減らす際に用いられることが多い。しかし、主成分を用いて回帰分析を行う際は、その主成分が目的変数の推定に寄与するとは限らないため、説明変数と目的変数の共分散が最大化するように次元削減をするのがPLSである。これらの手法は多重共線性にも強いことで知られている。

2. 研究方法

2.1 データの取得

マルチスペクトルカメラ (20 MP, 4/3インチCMOSセンサー) を4バンド (Green : 560 nm ± 15 nm, Red : 650 nm ± 15 nm, Red Edge : 730 nm ± 15 nm, Near Infrared : 860 nm ± 15 nm) 搭載したDJI社のMAVIC 3 Multispectral (M3M) を使用し、佐賀県茶業試験場を実験ほ場とし、対象品種は‘やぶきた’ (38年生) とした。撮影は2025年6月18日に行い、画像のオーバーラップ率は80%程度として178箇所撮影を行った。その時の天気は晴れであった。

撮影直後に茶園ほ場内の8か所（A～H）から20 cm × 20 cm の範囲で約100 gの茶葉を採取し、採取した中から開葉数と芽長をランダムに20芽ずつ20回計測し、ポイントごとにその平均値を算出した。また、成分測定には、サンプリングした生葉を電子レンジ（500W）で約1分間加熱し殺青した。その後、送風定温恒温器（型番：DKM600、製造：ヤマト科学株式会社）内で、60°Cで24時間乾燥し、サイクロンサンプルミル（型番：CSM-F1、製造：UDY CORPORATION）で粉碎後、近赤外分光分析計（型番：GTN-9、製造：静岡製機）を用いて、全窒素および中性デタージエント繊維（NDF）を測定。



図1 実験ほ場と成分調査ポイント（A～H）

2.2 分析方法

マルチスペクトルバンドカメラで撮影した画像からPix4Dmapper（4.10.0）を用いてそれぞれのバンド帯における反射率画像（G, R, NIR, RE）とNDVI画像を生成した。それらの画像をArcGIS pro（3.5.3）のジオリファレンス機能を使って画像の位置を調整した。またA～Hのポイントのポリゴンを作成し、DNの平均値を読み取ることでそれぞれのポイントの反射率とした。A～Hの8ポイントにおける、茶葉の成分を目的変数、4バンドの反射率を説明変数とし、それぞれ分散1、平均0に標準化し、2成分のPLSを行った。次に説明変数にNDVIの値を追加し、標準化を行い、2成分のPLSを行った。決定係数（ R^2 ）を算出し、モデルの当てはまりを評価した。解析にはPython（3.10.17）、scikit-learn（1.5.2）を用いた。

3. 結果

3.1 茶成分の分析結果

成分調査ポイント (A~H) における茶成分についての基本統計量は表1の通りである。

	全窒素(%)	繊維(%)	開葉数(枚)	芽長(mm)
平均値	4.64	19.7	3.50	6.19
中央値	4.57	19.3	3.45	6.20
標準偏差	0.347	0.893	0.185	0.660
最小値	4.20	18.6	3.30	5.40
最大値	5.20	21.2	3.90	7.30

表1 成分調査ポイントにおける全窒素・NDF・開葉数及び芽長の統計量(n=8)

3.2 PLSを用いた茶成分の推定

まずは、それぞれのバンド域と全窒素・NDF・開葉数及び芽長の相関関係を表2に示した。表2の配色は、白色に近いほど相関が0に近く、寒色は負の相関、暖色は正の相関を示す。

	Red	NIR	RE	G	NDVI
全窒素	-0.80548	0.229324	-0.28363	-0.6244	0.735367
NDF	0.039415	0.395801	0.720313	0.660155	0.045282
開葉数	0.158102	-0.02555	0.336289	0.329511	-0.15237
芽長	-0.06809	0.063354	0.111654	0.035645	0.07266

表2 それぞれのバンド域と茶成分との相関関係

全窒素とNDVIには正の相関 (0.735367) があることが確認でき、赤波長では強い負の相関 (-0.80548) があることが確認できた。またNDFはREやGとの正の相関 (0.660155~0.720313) があることが確認できた。また、開葉数や芽長はそれぞれのバンド域あるいはNDVIには特に相関がないことが確認できた。

次に、全窒素・NDF・開葉数及び芽長をそれぞれ目的変数とし、標準化 (平均0, 分散1) した4バンド (R, G, RE, NIR) を説明変数としたときのPLSにおける R^2 と説明変数にNDVIを追加したときのPLSにおける R^2 を表3に示す。

	全窒素	NDF	開葉数	芽長
4バンド	0.7447	0.524	0.2011	0.0208
4バンド+NDVI	0.7527	0.5081	0.8782	0.0270

表3 4バンド (R, G, RE, NIR) を説明変数としたときの全窒素・NDF・開葉数及び芽長に対する決定係数 (R^2)

4バンドのみ、または4バンドにNDVIを加えた全窒素に対するモデルでは、決定係数が約0.74~0.75となり、モデルの適合性は良好であった。また、開葉数を目的変数としたモデルでは、4バンドのみの場合は決定係数が0.20と低かったが、NDVIを追加した場合には0.87となり、良好な当てはまりを示した。

4. 考察

4.1 バンドの反射率と茶成分の相関について

先行研究においては、NDVIと全窒素の相関は負の相関になることが言われている^{4,5)}が、本研究ではNDVIと全窒素は正の相関がみられる。理由としてサンプル数が少ないこともあげられるが、先に挙げた先行研究は一番茶を対象としているが、本研究対象である二番茶以降の茶成分分析は実施されていない。また、長谷川らによれば、一番茶ではNDVIと生葉収量が高い相関があったが、二番茶では推定精度が低下する可能性が指摘されている⁵⁾。これを踏まえると二番茶以降の茶成分とNDVIの関係性についても今後はサンプル数を増やして相関の有無を再検証する必要がある。

4.2 PLSについて

全窒素の推定には4バンドあるいはNDVIを追加して、PLSの決定係数は70%以上であったことから、今後サンプル数を増やしていくことである程度の精度の向上が期待される。また、4バンドにNDVIを追加した際に開葉数の決定係数が急激に増加したことについては、サンプル数が8ポイントと少ないことから精度のバラツキによるものであると考えられる。しかし、開葉数とは不完全葉も含めた展開葉の枚数であるため、NDVIの要素は重要になるとも考えられる。今後4バンドにNDVIを追加したPLSにおいて推定ができれば、摘採適期をドローンのみで判断できる可能性も十分に期待できる。

本研究では、サンプル数が限られているため、モデルの当てはまりを示す指標として決定係数のみを算出した。しかし決定係数ではモデルの汎化性能を十分に評価できない。今後は、より正確な予測を行うために、サンプル数を増やし、クロスバリデーションやホールドアウト検証などの手法を導入し、決定係数に加えて平均絶対誤差 (MAE) や二乗平均平方根誤差 (RMSE) などの予測精度指標を併用して評価することが重要である。

4.3 測定機材の精度について

本研究において、測定機器の精度が非常に重要である。ドローンに搭載されているマルチバンドカメラと日照センサーの精度がどの程度なのかを適切に計測するために、スペクトルフォトメーターなどの機材や標準反射板の活用なども重要になる。

4.4 おわりに

本研究ではマルチスペクトルバンドカメラのDN値と茶成分の結果を比較し、PLSを用いて、少ないサンプルでの品質評価モデル構築の可能性を論じた。今後は、さらなるデータ収集とモデル検証を重ね、農家が容易に利用できる茶成分推定モデルや摘採適期診断モデルの構築を目指す。

謝辞

本研究の分析は佐賀県茶業試験場の中島丈慈技師に多大なるご協力を頂きました。また、長崎大学情報データ科学部全炳徳教授にも茶とリモートセンシングについてのご教示を頂きました。ここに感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Horler, D. N. H., Dockray, M., and Barber, J. (1983) The red edge of plant leaf reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2): 273–288. doi: 10.1080/01431168308948546.
- 2) 小澤朗人・内山徹・大石哲也 (2017) マルチ回転翼型無人航空機（ドローン）の空撮によるチャ炭疽病の被害推定の試み. 茶業研究報告, 124 : 9–16. doi: 10.5979/cha.2017.124_9.
- 3) 亀山阿由子 (2020) 無人航空機（ドローン）の空撮画像を利用した茶収量の推定. 茶業研究報告, 129 : 27–31. doi: 10.5979/cha.2020.129_27.
- 4) 金宗換・全柄徳・杉山和一・虎尾健志・堀内宣彦・井料均・荒井昌彦 (2010) オンサイト・リモートセンシングによる茶の生育・成分推定手法. システム農学, 26(1) : 1–8. doi: 10.14962/jass.26.1_1.
- 5) 長谷川和也・古屋聡・鈴木利和・片井秀幸 (2025) 携帯型NDVI測定器（GreenSeeker 2）を用いたチャの生葉収量及び成分の推定技術の開発. 茶業研究報告, 139 : 13–19. doi: 10.5979/cha.2025.139_13.