

# スマートフォンカメラを利用した 水稲品種‘ひめの凜’における葉身窒素濃度の推定

中矢龍太郎 河野靖

Estimation of nitrogen content in rice cultivar ‘Himenorin’ by measuring the leaf color using  
some smartphone cameras

NAKAYA Ryotaro and KOHNO Yasushi

## 要 旨

愛媛県農林水産研究所で育成した水稲品種‘ひめの凜’を対象に、スマートフォンの付属カメラ機能による撮影画像を用いて葉色から葉身窒素濃度の推定を試みた。標準反射板を用いて撮影画像を補正することで、撮影時の天候等の光条件の影響を排除したところ、画像中の葉領域の表色値と葉身窒素濃度の間に高い相関を確認した。また、画像輝度値を説明変数に回帰式を作成し、撮影画像から葉身窒素濃度を推定したところ、十分な精度 ( $r=0.366\sim 0.814$ ) が得られた。画像解析ツールを用いることで、スマートフォンのカメラで撮影した可視光画像から水稲の葉色による葉身窒素濃度を推定できることを確認した。

キーワード：葉色，標準反射板，SPAD，画像解析ツール

## 1. 緒言

水稲栽培においては追肥作業の生育管理診断指標として、葉色が用いられる。診断には、葉色カラースケールによる目視診断、葉緑素計による葉緑素量診断、近年ではドローンの空撮画像による画像診断が用いられている（藤原ら，2019）。しかしながら、目視での診断は判断が曖昧になりやすく、葉緑素計は高価であり、ドローンにおいては導入、撮影の手間等もあり、生産者が個人で使用するのには難しいと判断する。愛媛県では、オリジナル品種‘ひめの凜’（水口ら，2019）の栽培面積の拡大が進んでいるものの、‘ひめの凜’は極良食味品種として生産技術の要件化や、品質によるランク分けなど、県・生産団体が一体でブランド化を図っており（愛媛県庁HP）、より高品質な米の生産のためには、生産者が行え手軽でありながら正確な穂肥診断手法が求められている。

可視光画像による水稲の葉身窒素濃度推定手法は、以前より検討されており、画像内のカラースケールから画像全体を補正する手法（岩谷ら，2001）や、接触型レンズにより外光を遮断する手法（西田ら，2017）等により周囲の光条件に拘らず葉身窒素濃度を推定できる手法が確立されている。本試験では、より手軽に葉身窒素濃度を推定する手法として、標準反射板を用いた画像補正により外光の影響の除去を試みた。すなわち、スマートフォン撮影画像から葉色を解析し穂肥診断を支援する水稲葉色診断手法を開発し、‘ひめの凜’における有効性を明らかにする。

## 2. 材料および方法

### 2.1 試験圃場と供試材料

2021年および2022年に愛媛県農林水産研究所（愛媛県松山市，花崗岩由来の砂壤土）、2022年に愛媛県西条市において、水稲品種‘ひめの凜’を栽培する圃場（灰色低地土）

から、目視により広い葉色範囲にいちもち病等の病徴や生理障害の葉枯れなどのない健全な展開葉を選定した。晴天および曇天時に、選定した作物体を傷つけず葉緑素計によりSPAD値の計測および画像撮影を行い、対象葉身を切り離し、乾燥後、燃焼法（改良デュマ法，長谷川ら，2016）により葉身窒素濃度

を測定した。雨天時には、圃場で選定した葉の葉身を切り離し、速やかに屋内にてSPAD値の計測および写真撮影を行い、晴天および曇天時同様に葉身窒素濃度を測定した。晴天、曇天の判断は気象庁の用語定義を参考とした（気象庁HP）。サンプルの採取条件，供試葉身数を表1に示す。

表1 水稲葉身サンプル栽培条件，採取・撮影条件

移植年	サンプル 番号	採取対象水稲の栽培条件		採取・撮影条件				
		移植日	出穂日	採取日	出穂前日数	点数	天候	撮影機種
2021	1	6/10	8/28	8/ 3	25	10	晴	iPhone11Pro
	2	6/10	8/28	8/ 4	24	10	曇	
	3	6/10	8/28	8/12	16	10	雨	
	4	6/ 9	8/28	8/19	9	15	曇	
2022	5	6/10	8/29	8/ 8	21	10	晴	iPhone13Pro
	6	5/27	8/25	8/ 8	17	10	晴	
	7	6/ 8	9/ 2	8/ 9	24	10	曇	
	8	6/18	8/31	8/ 9	22	14	曇	

供試品種：ひめの凜，天候条件：気象庁の用語定義を参考に判別した。

サンプル番号1～7は農林水産研究所内圃場，8は西条市圃場より採取した。

## 2. 2 画像撮影およびSPAD値，葉身窒素濃度の計測

SPAD値は，葉緑素計SPAD-502（コニカミノルタ株式会社）により主脈を避けて計測し，葉身全体のSPAD値およびその平均値を得るため，計測点は葉身の基部，中部，先端部とした。画像は，18%標準反射板（Nikon社，以下，反射板）を背景に葉の中部をスマートフォン（Apple社 iPhone11Pro，iPhone13Pro）のカメラアプリ中のデフォルトの写真撮影モードにより自然光下で撮影した。反射板は黒色の目盛部分を除き5cm×10cmの大きさに切り抜いたものを使用した。この時，基部および先端部のSPAD値計測点と解析画像範囲は必ずしも重複しないようにした。

葉身窒素濃度は，稲株から調査葉身のみを切り取り，80℃で24時間乾燥後，細分した葉身全量の乾物重を測定し，燃焼法（改良デュマ法）により全炭素・全窒素分析計（Elementar社 varioMAX CNS）を用いて，各葉身の乾物あたりの窒素濃度を測定して求めた。

## 2. 3 画像解析

各画像から反射板のみが背景となるよう葉部を切り出し，解析画像とした。画像解析ソフトウェア（NIH ImageJバージョン1. 53c）

を用いて，解析画像内のHSV色空間における明度Vの輝度値を用い，背景である反射板領域と葉領域を抽出分離し，反射板領域内の明度Vの平均輝度 $x_1$ を求めた。標準明度を輝度値150とし，標準明度と $x_1$ との差 $x_2$ を用いて解析画像全体の明度を（補正後の明度＝補正前の明度+ $x_2$ ）により補正後，葉領域内のRGB・HSV・L\*a\*b\*表色系における各輝度値の平均を算出した。画像の白とび，黒つぶれを避けるため $x_1$ の値が230以上，100以下の画像は除外することとした。

サンプル89点で測定した葉身窒素濃度，SPAD値，補正後の葉領域内の各平均輝度値の間で回帰分析を行った。また，各サンプルデータを採取日時の順にナンバリングし，奇数データをキャリブレーション群（n=45），偶数データをバリデーション群（n=44）に分けて，作成した回帰式を用いて明度補正後の各平均輝度値から，葉身窒素濃度を推定し，精度を検証した。各測定範囲を図1に示す。

## 3. 結果および考察

各天候条件におけるRGB，HSV，L\*a\*b\*表色系上の各輝度値およびSPAD値と葉身窒素濃度との関係を表2に示す。SPAD値と葉身窒素濃度の相関は天候条件に関わらず中部測定値および平均測定値が最も高かったため，こ

れらが葉身窒素濃度の指標として適当と考えられた。B, S, a\*の輝度値については、葉身窒素濃度との相関が認められず、推定指標としては不適であると考えられた。Vの輝度値は、RGB表色系における最大の輝度値と同一の値となる。ここでは全ての解析画像においてRGB表色系における最大輝度値がGにあるため、VとGの輝度値が同一となり相関係数も同一の値となった。R, G, L\*の輝度値については天候条件に関わらず葉身窒素濃度との相関が認められ、全体においてもSPAD値と同程度の相関が確認できた。中でもG, L\*の輝度値は葉身窒素濃度との高い相関が確認できた。

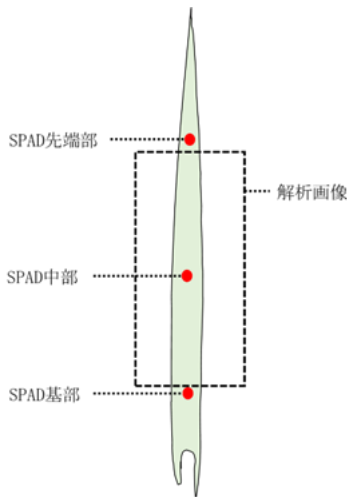


図1 供試葉の各測定範囲

表2 各天候条件におけるRGB, HSV, L\*a\*b\*表色系上の各輝度値およびSPAD計測値と葉身窒素濃度の相関係数

説明変数	晴天時 (n=30)	曇天時 (n=49)	雨天時 (n=10)	全体 (n=89)
R	-0.579***	-0.858***	-0.604	-0.787***
G	-0.561**	-0.891***	-0.841**	-0.809***
B	-0.069	0.442**	0.071	0.04
H	0.594***	0.750***	0.509	0.321**
S	-0.037	-0.621**	0.166	-0.15
V	-0.561**	-0.891***	-0.841**	-0.809***
L*	0.563**	0.893***	0.835**	-0.814***
a*	-0.087	0.087	0.561	0.036
b*	-0.611***	-0.867***	-0.653*	-0.488***
SPAD中部測定値	0.690***	0.789***	0.846**	0.772***
SPAD平均測定値	0.725***	0.780***	0.751**	0.762***

\*, \*\*, \*\*\*はp<0.05, 0.01, 0.001でそれぞれ有意。

次に、キャリブレーション群の回帰分析により作成した回帰式を用いて、バリデーション

群における葉身窒素濃度の推定精度を検証した。各回帰式による葉身窒素濃度実測値と推定値のキャリブレーション群における重相関係数とバリデーション群における相関係数および二乗平均平方根誤差（以下、RMSE）を表3に示す。キャリブレーション群における重相関係数は、H・Sを説明変数とした重回帰式、b\*を説明変数とした単回帰式を除いた表中の全ての回帰式で高い値が確認でき、L\*・a\*・b\*を説明変数とした重回帰式の重相関係数が最も大きく、バリデーション群におけるRMSEはH・Vを説明変数とした重回帰式が最も小さくなった。以上の結果から、スマートフォンによる撮影画像を解析することで、SPAD値と同程度の葉身窒素濃度の推定指標が得られることが明らかとなった(図2)。

表3 各回帰式の重相関係数と相関係数および二乗平均平方根誤差

説明変数	キャリブレーション群 (n=45)		バリデーション群 (n=44)	
	r	r	r	RMSE
R	0.816	0.769	0.328	
G	0.862	0.777	0.322	
R・G	0.880	0.762	0.306	
R・B	0.836	0.817	0.332	
V	0.862	0.777	0.322	
H・S	0.385	0.366	0.468	
H・V	0.877	0.814	0.297	
L*	0.869	0.782	0.319	
b*	0.303	0.620	0.449	
L*・a*	0.872	0.780	0.321	
L*・b*	0.881	0.812	0.299	
L*・a*・b*	0.882	0.808	0.302	

多重共線性が認められる回帰式および p<0.05 の相関とならない説明変数を含む回帰式は除外した。

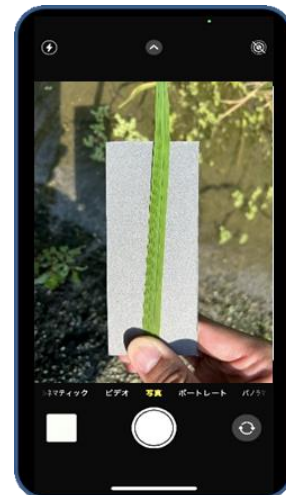


図2 水稲圃場内での画像撮影イメージ[カラー45頁]

ところで、デジタルカメラによる画像撮影時においては光条件により、色被りと呼ばれる現象が起こり得る(石丸, 1997)。自然光下においては色被りの中でも極度の曇天時の青色光、夕日による赤色光による色被りの発生の可能性が考えられる。これを踏まえ、R, B, H, V,  $a^*$ ,  $b^*$ は説明変数として適当でないと考えられ、自然光下においてはG, L\*によって安定した精度で葉身窒素濃度を推定できると推察された。また、今回除外した画像サンプルは反射板または葉身による太陽光の鏡面反射により白とびが発生した画像および、光量の不足から黒つぶれが発生した画像であった。このような本来の表色値の補正值の算出に適さない画像は、反射板領域内の明度の平均輝度 $x_1$ の値から判別でき、 $x_1$ が230以上の画像で白とび、100以下の画像で黒つぶれが確認できた。本手法は撮影した画像をもとに診断を行うため、目視または葉緑素計による診断では難しい、測定値の再現が同一画像を使用することで可能となる。また、本来反射板は画像撮影時に標準露出を求める撮影補助器具であり安価に購入可能であるため、高価な専用機器を用いることなく手軽な葉色診断が可能となる。

本研究では、撮影画像から手動で反射板のみを背景とした葉の画像を切り出し、作成したプログラムを実行して解析を行った。本手法は、安価な反射板を用いて可視光画像を補正し葉色を計測できることから、従来の計測農家が気軽に導入できる技術につながるものとする。この葉身窒素濃度推定手法をスマートフォン等で運用するためには、ウェブアプリの利用やSNSのBot等を用いた手法が考えられる。今後、本手法に基づく葉身窒素濃度予測が現場実装され、農家自身による手軽な葉色診断を可能とすることが‘ひめの凜’の品質向上と更なる栽培面積の拡大につながることを期待する。

## 引用文献

- 愛媛県庁HP, ひめの凜について。  
<https://www.pref.ehime.jp/h35500/himenori/top.html>
- 藤原洋, 塚口直史, 長野峻介 (2019) : 普及型マルチスペクトルカメラによる水稻生育診断. 農業農村工学会論文集, 87, 2.
- 長谷川美来, 津田美穂, 小林正和, 八木 潤, 中山清貴 (2016) : ケルダール法と改良デュマ法による全窒素定量についての比較. 関税中央分析所報, 56, 31-36
- 石丸寿明 (1997) : カラーバランシングフラッシュ人工光検出による色カブリの軽減. 日本写真学会誌, 60, 5
- 岩谷 潔, 山本晴彦, 早川誠而 (2001) : デジタルカメラを用いた水稻の窒素栄養状態の診断. 日本作物学会中国支部研究収録, 42, 4-5.
- 気象庁HP, 天気とその変化に関する用語。  
[https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/tenki.html](https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/tenki.html)
- 水口 聡, 大嶋涼達, 兼頭明宏, 秋山 勉, 三好大介, 松永 崇 (2019) : 水稻良食味品種‘媛育73号’の育成とその特性. 愛媛県農林水産研究所研究報告, 11, 14-28
- 西田瑞彦, 芳村祐之, 浪川茉莉, 工藤洋晃, 高橋智紀, 金田吉弘 (2017) : スマートフォンと無線 (Wi-Fi) 接続用の接触型接写用カメラデバイスを用いた水稻葉デジタル写真の画像データによる水稻の窒素含有率の推定. 日本土壌肥料学会雑誌, 88, 538-540.
- 田中雪絵, 桂 圭佑, 山下 恵 (2020) : イネの簡易的生育診断に向けたデジタルカメラ画像処理手法の検討. 写真測量とリモートセンシング, 59, 6.

### Abstract

We endeavored to estimate the leaf nitrogen concentration of the paddy rice cultivar 'Himenorin' bred in Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries by the leaf color using some function of smartphone camera. By correcting the photographed image utilizing a standard reflector to eliminate the influence of optical conditions such as the various weather while taking a photograph, a high correlation was found out between the color values and the nitrogen concentration in each leaf. Subsequently, we created a regression equation using the image brightness value as the explanatory variable with estimating the leaf nitrogen concentration from the photographed images, were showed the sufficient accuracy( $r=0.366-0.814$ ). By applying an image analysis tool, we confirmed that leaf nitrogen concentration could be estimated from the leaf color of the rice plant with visible light images using a smartphone camera.

Key Words: Leaf color, Standard reflector, SPAD, Image analysis to