

# ドローンによる空撮画像を用いた 水稲除草剤試験における生育抑制 評価法に関する検討

福岡県農林総合試験場 豊前分場  
宮原 克典

新植物調節剤実用化試験は、水稲除草剤試験実施基準（植調協会）に基づいて実施されており、薬効はもちろんのこと、薬害程度についても評価する必要がある。水稲の薬害は、草丈、茎数、葉色などの形質に現れるが、数多くの試験区を同時に評価する適用性試験において、すべての試験区の生育調査（草丈、茎数、葉色など）を経時的に行うことは困難であることから、評価者の観察による遠観調査を中心に評価することとなる。

薬害には、枯死に至るような重篤な場合もあるが、草丈、茎数、葉色にわずかな変化が認められる軽微な場合が多く、遠観調査による判定には評価者の熟練による高いスキルが求められる。そのような中、安定した薬害評価を行うために、評価基準の確立や評価の補助となる客観的な指標の構築が待望されている。

近年、ドローンが急速に普及したことにより、比較的手軽にドローンによる空撮が行えるようになった。空撮画像を用いることにより、ほ場全体を一枚の画像に収めることが可能になるため、対照区と隣接していない試験区でも、容易に対照区との比較ができることが期待される。また、上空から撮影する画像を用いることで、試験区ごとの植被率の算出が可能となり、さらに近赤外カメラの使用により植物の活性を表すとされる Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) などの植生指数を算出できることから、生育量を客観的なデータを用いて

数値化することが可能となる。水稲では、既に NDVI を指標に、草丈や茎数などの推定や倒伏リスクの診断が可能であること（濱ら 2016; 田中・佐藤 2016）や、NDVI と草丈に高い相関が認められること（濱ら 2018）が報告され、NDVI と生育量の関係については知見の蓄積が進んでいる。このことから、ドローンと画像解析を活用することにより、薬害評価の指標の構築につながる可能性が期待されている。

福岡県農林総合試験場では、2020 年度に日本植物調節剤研究協会の「植物調節剤の研究開発事業に関わる試験研究課題」を活用し、ドローンによる空撮画像を用いた水稲の除草剤による生育抑制評価法について検討した。この研究では、除草剤適用性試験実施ほ場をドローンで撮影し、試験区における水稲の占有率を示す植被率および NDVI を算出し、これらの指標を用いて薬害を評価できるかについて検討を行った。

福岡県内の豊前分場、農産部、植調福岡研究センター（植調福岡）での適 2 試験などを中心に、通常の遠観による調査とドローンでの撮影を並行して行い、その関係について評価した。試

験区の概要を以下に示した（表 -1）。

今回の試験では、薬害の中でも水稲の生育量が抑えられる生育抑制について評価することとした。薬害には、葉鞘や葉身の褐変や白化など生育量で表現することが難しいものも存在するが、今回の試験では、こうした薬害が単独で発生する事例は認められなかったことから、考慮する必要が生じなかった。また、除草剤無処理区を除いて、いずれの区においても雑草の発生はほとんど認められなかったことから、雑草の影響についても考慮する必要はなかった。なお、除草剤無処理区は雑草の影響で稲の植被率や NDVI を評価できないことから、今回の調査対象から除外した。

調査方法は、各試験区について、ドローンで撮影した画像から植被率および NDVI (dNDVI) を算出した。田中ら (2021) の方法に準じ、植被率は撮影した画像を Metashape professional v1.5 (Agisoft 社) でオルソモザイク画像化し、QGIS 3.0.1 (オープンソース) の Semi-Automatic Classification Plugin の教師付き分類機能を用いて算出した。NDVI は、近赤外カメラを用いて作成した画像

表 -1 試験区の概要

試験場所	設置した区の概略
豊前分場	・一発処理剤（3種類）を用いた16区
農産部	・一発処理剤×生育調節剤(組み合わせにより4水準)による14区
植調福岡	・一発処理剤 {21(5月14日撮影)+17(5月21日撮影)} ×3反復

※基準区として、それぞれの試験場所においてピラゾレート粒剤を用いた完全除草区を設置  
※農産部の生育調節剤は薬害軽減を目的とした

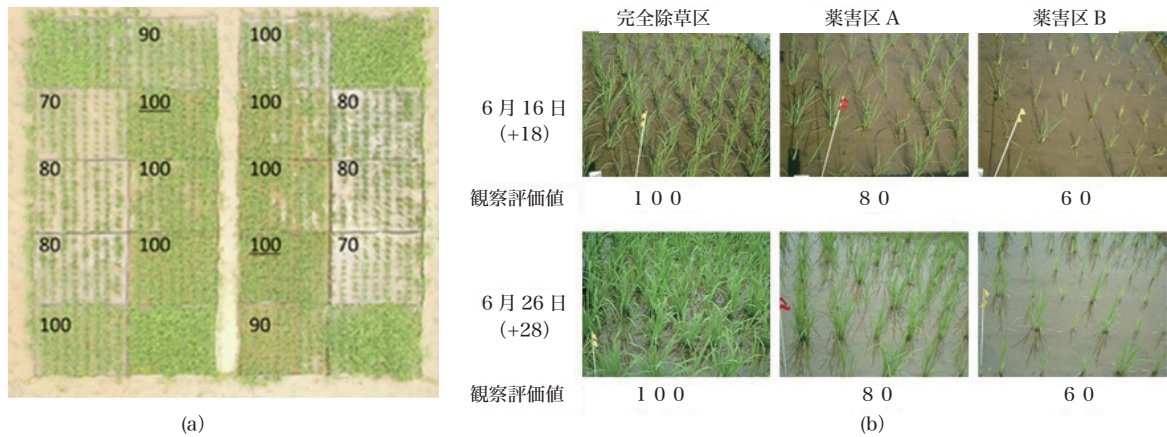


図-1 ドローンから撮影した空撮画像 (a) と評価者の目線から撮影した画像 (b)  
 ※数字は評価者が観察により評価した観察評価値で、完全除草区に対するイネの生育量を百分率で示したもの (宮原ら 2021)

を同様の手法でオルソモザイク画像化し、(近赤外域の反射率 (IR)- 可視域赤の反射率 (R)) / (IR + R) の式で算出した。また、農産部の試験区においては、上記の植被率、NDVIに加え、小型携帯型 NDVI 測定器 GreenSeekerHandheld Crop Sensor (株式会社ニコン・トリンプル、以下 GreenSeeker) を用いた NDVI(gsNDVI) も同時に測定した。これらの数値と目視による評価との関係を調べるために、評価者がほ場で各試験区の生育量を達観で評価した。豊前分場および農産部における評価は、完全除草区に対する生育量を割合 (%) で「観察評価値」として示した。さらに、農産部の試験区では、水稻の草丈および茎数を測定した。植調福岡では、葉害の程度を「0」: 害徴なし、「1~5」: 害徴がわずかにみられるが、生育量は無処理区と変わらない、「6~15」: 生育量が抑制され、葉害と認められる、「16~25」: 生育量が強く抑制され著しい葉害と判定される程度、とする指数を用いて評価した。

まず、ドローンで撮影した豊前分場ほ場の空撮画像をオルソモザイク化した画像と評価者の目線から撮影した写真を図-1 に示した。各区画の数値はほ場から生育量を達観で評価した観察

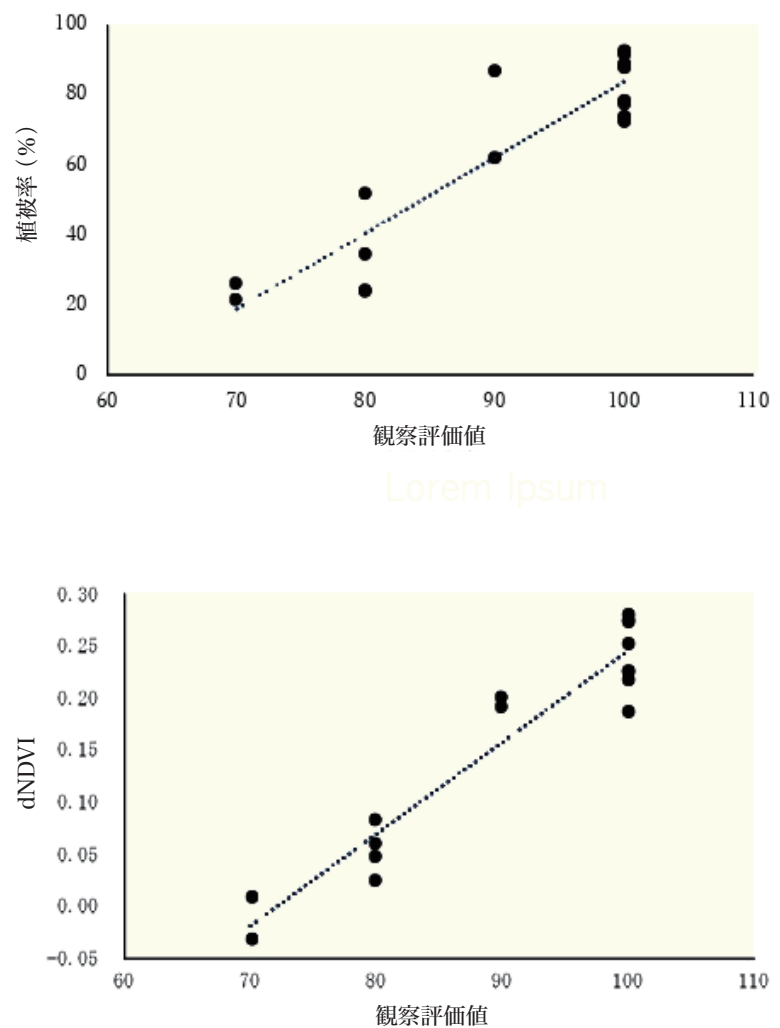


図-2 達観で評価した観察評価値とドローン画像から算出した植被率、dNDVI の関係 (宮原ら 2021)

表-2 観察評価値, 植被率, dNDVI, gsNDVI の相関係数 (農産部)

	観察評価値	植被率	dNDVI	gsNDVI
観察評価値	1	0.73**	0.83**	0.76**
植被率		1	0.89**	0.73**
dNDVI			1	0.78**
gsNDVI				1

※\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意な相関があることを示す (宮原ら 2021)

表-3 草丈および茎数に対する観察評価値, 植被率, NDVI の相関係数 (農産部)

	観察評価値	植被率	dNDVI	gsNDVI
草丈	0.74**	0.60*	0.66*	0.62*
茎数	0.73**	0.65*	0.69**	0.74**

※\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意な相関があることを示す (宮原ら 2021)

評価値で、完全除草区に対して生育量が低下している (100 未満) と評価された試験区においては、空撮画像からも生育量が少ないことが確認できる。観察評価値に対する、植被率や NDVI との関係を見ると、いずれも高い相関が認められているほか (図-2)、観察評価値, 植被率, dNDVI, gsNDVI は、いずれも互いに高い相関があることがわかる (表-2)。草丈および茎数との関係においても、遠観評価の生育量, 植被率, dNDVI, gsNDVI はいずれも有意な相関を示しており、実測値である草丈や茎数と遠観評価である観察評価値, 画像から算出された植被率と NDVI の高い相関があることが確認された (表-3)。

このように、水稻の実際の生育と遠観による評価, 植被率や NDVI などの植生指数はそれぞれに相関があり、植被率や NDVI などが遠観評価や生育調査に替わる薬害の判断基準として活用できる可能性を感じられる結果となっているように見える。しかしながら、個々のデータを細かく確認してみると、遠観評価では薬害がわずかにあると判定した試験区の植被率や NDVI が、遠観評価で薬害無しと判定した区の値よりも高くなるなどの逆転が起

こっている試験区も複数認められることがわかる (図-2)。遠観評価では、全体の生育量はもちろんのことであるが、葉色や茎葉の太さなどについても加味するほか、試験区内で不均一な生育をした場合には、発生の頻度や偏りなどを観察することで、それが薬害によるものであるか、またはそれは全体としてどの程度の影響がありそうなのかについて、総合的に判断する必要がある。これに対し、植被率や NDVI は試験区内の平均値を利用しており、薬害に個体間のばらつきなどが生じている場合には、単純にその数値を薬害程度そのものとするのは適切ではないとも考えられる。

植調福岡では、すべての試験区において遠観調査における薬害程度が低く、薬害程度の分布に偏りが生じており、植被率との相関も低かった (データ略)。植調福岡では、遠観評価の指数が細分化 (25 段階) されている上に、今回の評価は薬害の軽い部分「1~5」に分布していたことにより、植被率では遠観評価で認識したわずかな違いを識別できなかったことが相関を低くした要因の一つであると考えられた。このことから、植被率による、薬害程度の実用的な評価方法を確立する

ためには、薬害程度の「強~弱」のような、基準となる試験区の設置を検討する必要があると考えられる。

ドローンを用いた薬害程度の判定が遠観調査に代替するためには、単純な試験区の平均値による植被率や NDVI の算出では不十分であると、今回の結果からは判断せざるを得ない。一部の株に生じた変化や、茎葉に現れるわずかな影響も加味して判断する遠観調査に相当する判定をドローンで代替するためには、植被率や NDVI の平均値を用いる方法ではなく、個別の株に発生した薬害の程度と頻度を計算式に反映させる方法などについて、さらなる検討が必要と考えられた。今回は、マルチスペクトルカメラなどを用いなければ得られない NDVI を用いた評価を検討したが、高価なマルチスペクトルカメラを必要としない Red Green Blue (RGB) (高橋 2023) や Green Red Vegetation Index (GRVI) (北島ら 2022) による生育診断も試みられており、いずれも生育量との相関が認められるなど、ハイスpekクな装置を必要としない手法の実用性も確認されている。このことは、ドローンを用いた生育診断の普及を後押しすると考えられ、今後もさらなる技術の発展が期待される。これまでに、ドローンを用いた生育診断について、多くの取り組みがある中で、NDVI や GRVI などの植生指数と水稻の草丈の相関が高いとする報告が数多く見られる (村井ら 2016; 濱ら 2018; 辻野ら 2019; 北島ら 2022)。除草剤による薬害にはさ

まざまな症状があるが、水稻が受けたダメージが草丈に反映される例は一般的に認められることから、植生指数を活用した評価法の確立には今後も期待したい。

最後に、改めてドローンで撮影した試験区の写真を眺めてみると、葉害程度の傾向を把握するには非常によくツールであることが感じられる。刻々と変化するほ場における、その瞬間の状態を一枚の画像に収めて記録することが出来る空撮画像は、ドローン無しでは得ることが難しかった貴重な客観的情報である。実際に遠観で葉害程度を評価する際に、離れた場所にある基準区の状態と比べながら評価する困難性には毎度悩まされるが、改めてドローンで撮影した一枚の画像でほ場の状況を確認することにより、自分の感覚と客観的情報を照合できることは非常に心強い。その瞬間の自分が何を見てその評価にたどり着いたのかを、よ

り鮮明に呼び起こさせてくれる画像情報は、評価する担当者の立場としても心強い後ろ盾となる。前述のように、実際にはほ場から試験区を眺め、全体の様子、個々の作物の様子を観察して評価することは欠かせないが、空撮画像と併用することで得られるメリットは十分に大きい。ドローンの普及という身近な技術革新を活用することで、空撮画像やそこから得られる植生指数といった客観的なデータを容易に手にすることが出来る環境を最大限活用することで、評価の精度をさらに安定させる技術に発展することが期待される。

#### 引用文献

濱侃・早崎有香・望月篤・鶴岡康夫・田中圭・近藤昭彦 2016. 小型 UAV と SfM-MVS を使用した近接画像からの水稻生育モニタリング. 水文・水資源学会誌 29, 44-54  
濱侃・田中圭・望月篤・新井弘幸・平田俊之・八幡竜也・鶴岡康夫・近藤昭彦 2018. UAV リモートセンシングおよび日射量を用いた水稻の草丈と収量の推定. 水文・

水資源学会誌 31, 68-82

北島陽・角田憲一・佐々木由佳 2022. ドローンを使った可視光画像による水稻の生育評価. 日本作物学会東北支部会報 65, 19-20.  
宮原克典・田中美咲・奥野竜平・石丸知道・柴戸靖志 2021. ドローンによる空撮画像を用いた水稻の除草剤による生育抑制評価法の検討. 福岡県農林業総合試験場研究報告 7, 60-65.

村井諒平・島田沢彦・関山絢子・豊田裕道・貝澤太一 2016. ドローン航空画像を用いた水稻生育状態の把握. 日本リモートセンシング学会誌 36, 117-120.

高橋信行 2023. 低価格ドローン RGB 画像による水稻生育診断の検討. 日本作物学会講演会要旨集 255, 148.

田中圭・佐藤昭彦 2016. 小型マルチコプターを用いた近接リモートセンシングによる水稻生育マップの作成. 日本リモートセンシング学会誌 36, 373-387.

田中美咲・濱侃・鶴崎幸・柴戸靖志 2021. キャベツほ場の生育を株単位で把握するためのドローン空撮方法と画像解析手法. 日本リモートセンシング学会誌 41, 375-385.

辻野和彦・深井弘一・後反克典 2019. UAV を用いた水稻の生長モニタリングと土壤栄養分との関係. 写真測量とリモートセンシング 58, 196-202.