



国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構

NARO

農研機構技報

Technical Report

No. 5
Jun. / 2020



特集 ドローン

Drone

離れて上から一みえるもの、できること。

Topics

- ▶スマート農業実証プロジェクトにおけるドローン利用事例
- ▶「Society 5.0 農業・食品版」の実現を通じたSDGsへの取り組み

History

温故知新



Society 5.0 農業・食品版の実現とSDGs①

インフラ

強靱(レジリエント)なインフラ構築

産業化

包摂的かつ持続可能な産業化の促進

イノベーション

イノベーションの推進



9

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS

災害に強いインフラを整え、新しい技術を開発し、
 みんなに役立つ安定した産業化を進めよう。

この目標は、国際的、国内的な金融、技術支援、研究とイノベーション、情報通信技術へのアクセス拡大を通じて安定した産業化を図ることを目指しています。

04 特集「ドローン」

05 特集によせて

長崎 裕司

06 1 ドローン空撮画像による大規模畑作ほ場での生育観測
 杉浦 綾

10 2 ドローンとGNSS搭載マーカーによる高精度ほ場マップの作成
 石塚 直樹 坂本 利弘 岩崎 巨典

14 3 ドローンを利用した栽培管理技術
 山下 晃平 千葉 大基

18 4 ドローン空撮・3次元化技術を活用した農地基盤情報の可視化
 栗田 英治

22 5 ドローン空撮ステレオ画像による畦畔傾斜マップの作成
 清水 裕太 菊地 麗

26 6 ドローンを利用した広域でのほ場単位の生育診断
 大段 秀記 官 森林

30 7 中山間地域におけるマルチコプターによる省力的防除技術
 孫 雯莉

<トピックス>

34 ▶スマート農業実証プロジェクトにおけるドローン利用事例
 飯嶋 渡

36 ▶「Society 5.0 農業・食品版」の実現を通じたSDGsへの取り組み
 村上 政治

38 温故知新

特集によせて

ドローンをスマート農業推進のツールに

長崎 裕司
NAGASAKI Yuji

特集 ドローン

Drone

離れて上から一みえるもの、できること。

1枚の衛星画像でとらえた人里離れた一軒家を、スタッフが地域住民から情報を得ながら訪問するテレビ番組をご存知でしょうか。この番組では、ドローンが撮影に一役も二役も買っています。たどり着いた場所が衛星画像の目的地と同じかどうかを確認するために、ドローンを使って上空から撮影した画像を使い、また、エンディングでは一軒家から遠ざかっていく映像が、山あいの一軒家を取り囲む周辺の状況をリアルに映し出します。ドローンは、われわれにとって身近な存在になってきました。

現在、このドローンを農業に活用しようという大きな流れがあります。人工衛星や航空機による空撮や、無人ヘリによる農薬散布作業などの一部がドローンで代替できるようになり、導入のハードルは確実に下がりました。

空撮については、物を触らずに調べる「リモートセンシング」技術の農業利用として、1980年代に衛星画像などを利用した生育診断技術の開発から始まりました。2000年過ぎには精密農業技術の流れから、北海道の小麦栽培において衛星画像から小麦の成熟度合いを把握して、その情報に基づいてコンバインでの収穫順番の適正化を図る技術が開発されました。適期に収穫できる小麦の割合が増えて、結果として収穫後の乾燥コストを大幅に削減できる効果も得られています。2010年代に入りマルチロータータイプのドローンが広く



普及し、自律飛行も可能になり、リモートセンシングはより小回りの利く使いやすい技術に発展しつつあります。また、近年は地震や洪水等の災害時にドローンの空撮を行い、迅速に農地の現況を把握するなど利活用の幅が広がってきています。

かつては、ラジコンヘリの操縦や機材のセッティングに特殊な技能を要し、コストも割高でしたが、ドローンへの移行が進み、一定の講習を受ければ誰でもイメージ通りの空撮が可能となりました。農研機構においては、身近になったドローン関連技術について、データ駆動型農業を実現する新たなツールとして活用する技術開発を進めており、その一端を、今回、農研機構技報で紹介することになりました。

ドローンの普及がアクセルとなり、スマート農業の社会実装が加速していると感じます。一方で、得られた画像データの扱いや、作物の生育予測や病害虫モニタリング・防除などに関する利用については、技術や評価の標準化が必要であることも指摘されています。技術の定着には利便性の他、コストや安全性等のバランスが重要であり、それらを満たして社会に受け入れられれば、ドローンは日本農業の救世主になれるのではないのでしょうか。その流れを見定めるシーズとして、今回の特集記事に目を通していただければと思います。

(農業技術革新工学研究センター
スマート農業推進統括監)

航空法の対象となる無人航空機（ドローン、ラジコン機など）※のタイプ

	形状	用途
回転翼型	シングルローター型 通称「無人ヘリコプター」 	農薬散布において普及しており、連続散布面積は約4ha、価格は約1,000万円以上。
	マルチローター型 通称「マルチコプター、ドローン」 	操作が比較的容易であり、低速で移動できる等の特徴から、活用の場が広がっている。 農薬散布機は、連続散布面積は約1ha、価格は数百万円。 撮影用機体は、連続飛行時間が30分程度まで、価格は数十万円～数百万円。
固定翼型	通称「固定翼ドローン」 	長時間・長距離飛行が可能なることから、欧米を中心に広範囲の作物監視などに活用される。 離着陸には滑走路が必要。 滞空時間は1時間以上のものもあり、価格は数百万円。

※飛行機、回転翼航空機等であって人が乗ることができないもののうち、遠隔操作または自動操縦により飛行させることができるもの。ただし200g未満のものを除く。

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/pdf/meguji.pdf> 農水省HPより改変

ドローン空撮画像による 大規模畑作ほ場での生育観測

杉浦 綾
SUGIURA Ryo



はじめに

農地の状態やほ場での作物の生育状況を効率よく観測する方法として、衛星画像の利用や、画像解析に関する研究が進められてきました。現在では、同じ場所を毎日撮影できるサービスも登場したことから、衛星画像の農業への有効活用がますます期待されています。しかし、雲に覆われた場合、画像データが得られないことや、一般に1ピクセル^{※1}の大きさが数メートル程度のため、それより細かい情報が捉えにくいという欠点があります。一方、近年、様々な分野での利用が期待されているドローン(図1)による空撮は、撮影範囲は衛星画像に及ばないものの、曇天時でも撮影できることや、作物列や個々の株が認識できるほどの細かい画像が得られるなど、ほ場観測にとって非常に魅力的な特徴を持っています。

本稿では、これまで、北海道十勝地域の大規模畑作を対象に行ってきた研究事例を示しながら、ドローン画像の特徴と農業応用の可能性について紹介します。

十勝地域はわが国最大の畑作地帯(p.7写真)です。農家1戸当たりの平均経営耕地面積は40haを超え、今後とも経営規模の拡大が予想されています。そのような中、



図1 カメラを搭載したドローン

広大な経営耕地の各々のほ場の状態を正確に把握して、より精密に管理するための技術が求められています。これに応えるために、上空からほ場を見下ろして、全体の様子を細かく迅速に捉えることが可能なドローンによる空撮画像の利用が効果的だと考えています。

画像による生育状況の把握

ドローンに搭載するカメラには、可視(RGB)カメラ^{※2}と、マルチスペクトルカメラの2種類があります。一般にマルチスペクトルカメラは、葉の色を見るのに適しており、図2のように、可視光三原色の赤色(R)、緑色(G)、青色(B)のほかに、人間の目では見えない、近赤外線の画像を撮影できます。健康で生き生きとした葉は近赤外線の光を強く反射するという特性を利用して、画像からNDVI^{※3}という植生指数を算出することができます。もともと衛星画像で植生の量や生育の良し悪しを判断するために考案されたものですが、軽量でコンパクトなマルチスペクトルカメラが登場したことで、衛星画像と同様の解析がドローン空撮画像でもできるようになりました。

ドローン空撮では1ピクセルが数センチメートルから数ミリメートルと非常に精細な画像が得られます。細かい部分まで認識できるのはもちろんですが、このような高解像度の画像を使うと、3次元情報を復元し、可視化することができます¹⁾。3次元再構成といわれる画像処理技術で、いくつかのソフトウェアとして実装されています。有償ソフトではMetashapeやPix4Dmapperなどが高性能で多機能なものとして知られています。また、農研機構で作成したFieldReconst²⁾というソフトは無償で提供しており、どなたでもお使いいただけます。ドロー

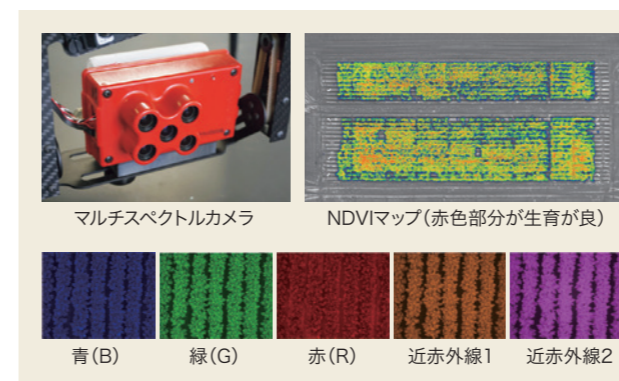


図2 マルチスペクトルカメラで撮影された5色の画像とNDVIマップ

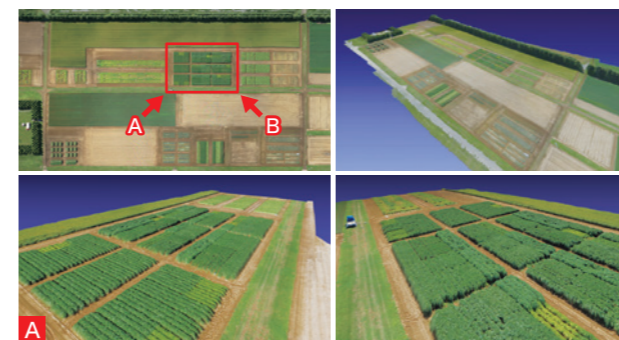


図3 可視カメラで撮影された画像から復元した4haほ場の3次元情報(上段)とその中の大豆ほ場(下段)

ン空撮画像からほ場の3次元情報を復元すると、例えば、草高や植物体のボリュームなど物理的な大きさに関することがわかります。また、ほ場の勾配や凹凸^{おうつ}など微細な地形図を得ることができます。特に、作物の大きさは生育を評価する重要な指標です。図3は4haのほ場の3次元情報ですが、その中の大豆ほ場に注目すれば、高さ方向も含めた植物体の大きさを見ることができます。ものさしで何カ所も草高を測っていく作業は大変ですが、画像で3次元情報を復元したものは、すべてデジタルデータですので、パソコンの中で瞬時に計測すること

ができます。画像が高解像度であることと、そこから3次元情報が得られるのもドローン空撮の大きな特徴です。

画像による病害発生検出

画像から作物の病害発生箇所を検出する方法もいくつか開発されています。例えば、図4は北海道農業研究センター内のバレイショ育種ほ場をマルチスペクトルカメラで空撮した画像で、図の赤色に塗りつぶされた部分が、開発した画像処理により自動検出したバレイショ疫病発生箇所です。3つの時期の検出結果を見比べると疫病が進行していく様子がわかります。この病害の進行度合いから病害抵抗性を評価することができます³⁾。図5は、専門家の目で評価した病害抵抗性と画像処理によるものを比較した結果で、300ほどの品種・系統の病害抵抗性を見たものです。両者が1対1の線に乗っていることから、画像処理によって人間の目と近い評価ができていることがわかります。このほか、バレイショの黒足病やウイルス感染など、症状が微妙で熟練した専門家の目でも見分けが難しい病害の画像検出にも取り組んでいます。

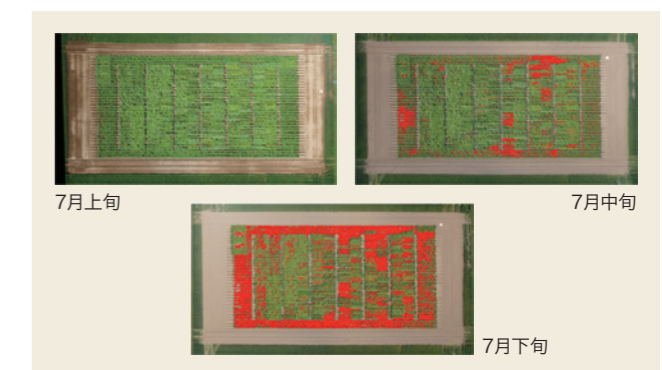


図4 画像によるバレイショ疫病の自動検出(赤色部分が病害発生箇所)

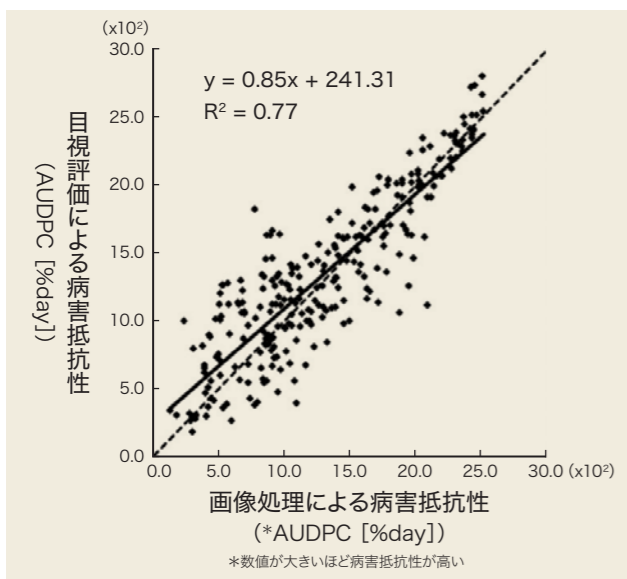


図5 画像処理による病害抵抗性評価と目視評価(従来法)との比較

広域撮影と応用範囲の拡大

マルチコプターと呼ばれる一般によく知られているタイプのドローンは、連続飛行時間が15分ほどで、1回の飛行で撮影できる面積はせいぜい数haです。しかし、数haずつ一つ一つのほ場を撮影する作業は実利用を考えると面倒なものであり、一度のフライトでより広い範囲を撮影する必要があります。そこで、北海道農業研究センターでは、図6のような固定翼タイプのドローンを導入し、1回の飛行で広域を画像撮影できる体制を構築しました。固定翼ドローンは、60分近く飛行し続け、100haの面積を撮影できます。ただし、マルチコプターと違い、滑空することで揚力を保つため、ホバリングができません。同様の理由で、ある程度のスピードを保つ必要があるため、数十メートルという低空での撮影にも向きません。つまり、作物に接近して細かい画像を撮るのには不向きです。このような欠点ではありますが、マルチコプターに比べ圧倒的に広い範囲を一度に撮影できるという特徴は、大規模畑作地帯の観測に非常に適しています。

北海道農業研究センターではこの固定翼ドローンを使って、芽室研究拠点の試験ほ場約100haすべてを定期的に撮影しています。撮影した画像には複数の作物のほ場が映り込んでおり、この画像の使い道は作物によって様々なアイデアが生まれています。前述した作物

の生育量や病害発生の観測だけでなく、例えば、キャベツほ場の画像から、一つ一つのキャベツの株を画像認識すれば、ほ場内のキャベツの個数をカウントできます。また、キャベツ一つ一つの大きさを評価し、全体的に大きさがどの程度ばらついているかも知ることができます。牧草地の画像で雑草を認識すれば、その量や分布を見ることができ、草地更新の目安を提示する、ある

いは、防除の効率化に役立つ可能性があります。そのほか、大雨による土壌流出があった場合、3次元情報から土壌流出量を計算し被害程度を定量化できます⁵⁾。

このように、ドローン空撮画像の応用範囲は生育観測にとどまらず、いろいろな利用方法が考えられます。作物や場所、状況によって今後も多くの応用事例が生まれることが期待できます。

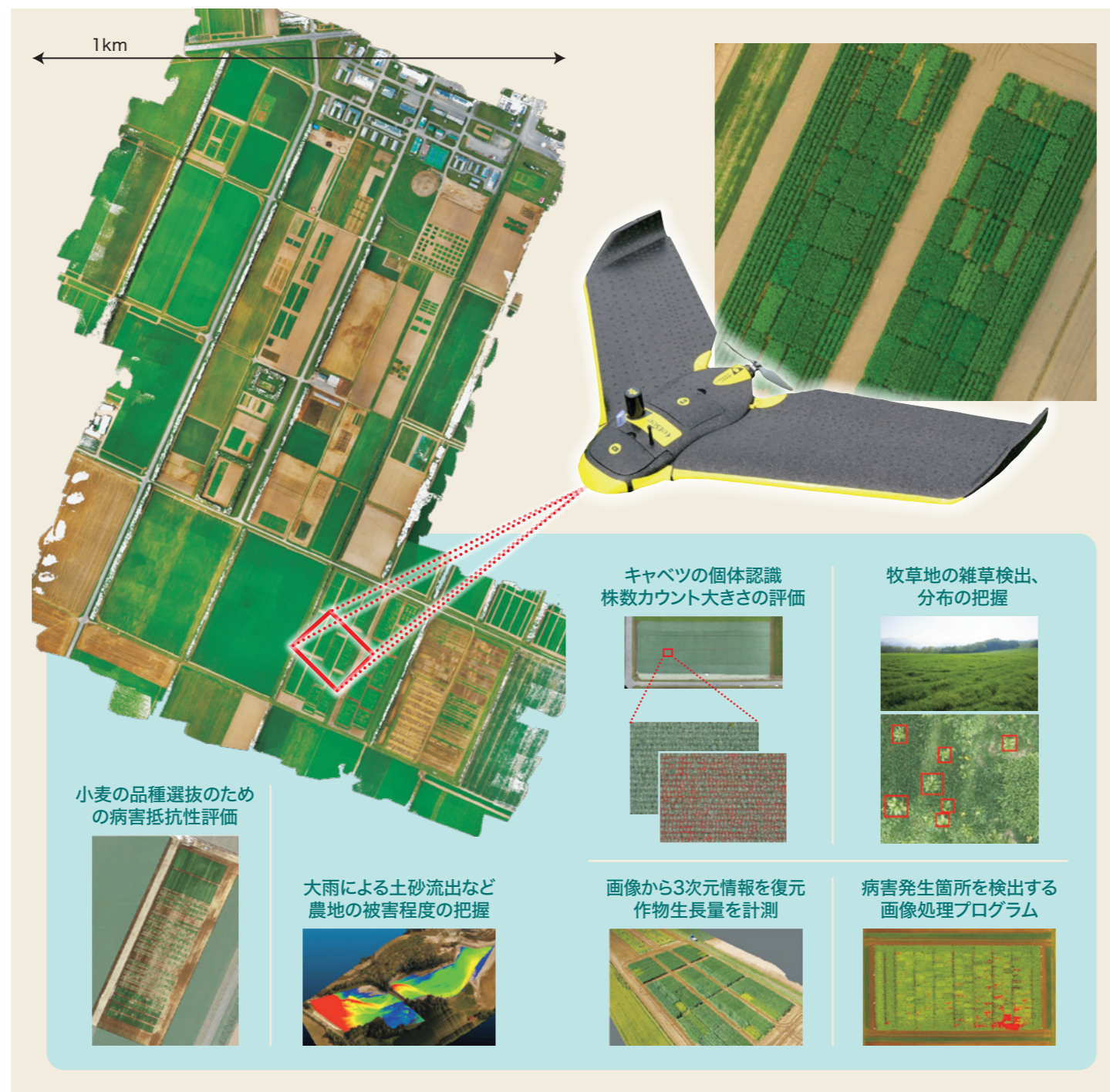


図6 固定翼ドローンによる広域撮影と画像の応用範囲拡大

おわりに

ドローン画像による作物生育観測は、これまでの衛星画像を中心とした農業リモートセンシングの知見が活かされ、実利用に向けて大きな期待が持たれています。衛星画像と同様に近赤外線の画像を使った解析だけではなく、高解像度であるという特徴を活かした新しい利用も考えられるようになりました。3次元情報が得られるようになったことから、生育量として植物体の大きさを測定しやすくなりました。また、近年発展している画像認識技術も、病害判定や雑草検出などに応用できます。パソコンの性能向上に伴い深層学習に代表される人工知能技術がより身近なものになり、画像処理あるいはデータ解析が比較的容易になったことは事実です。ドローンでは場を撮影すればなんでもわかるというのは間違いで、今後、出来ることと出来ないことが整理される一方、ドローン画像の農業利用について新しいアイデアが生まれる余地がまだ十分あると感じています。

(農業情報研究センター 農業AI研究推進室)

用語解説

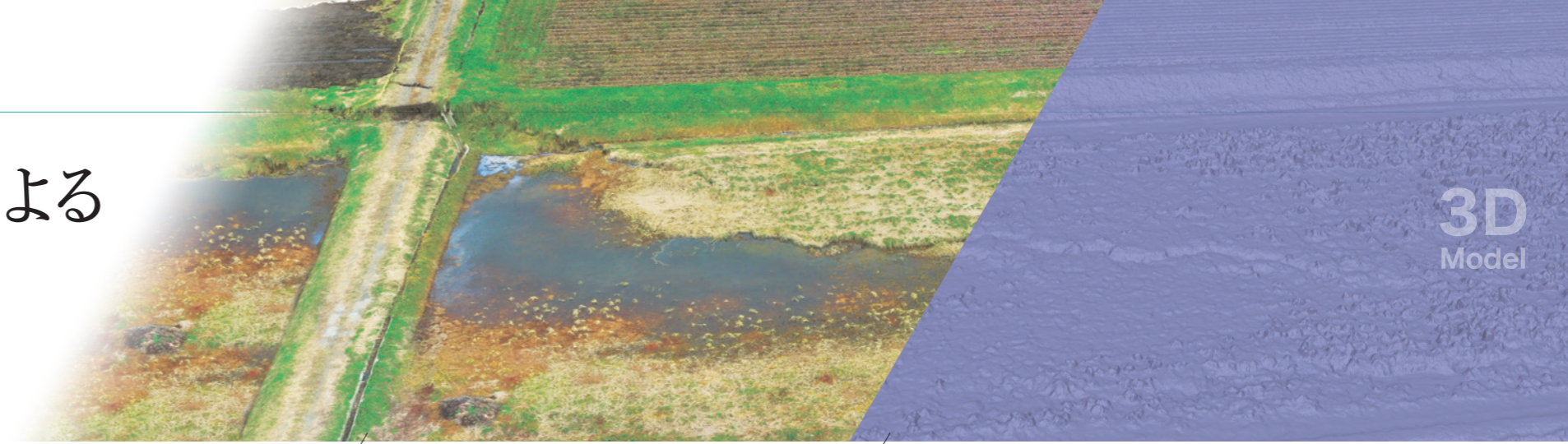
- ※1 **ピクセル(pixel)** デジタル画像を構成する最小要素。画素、解像度ともいう。画像を構成する1ピクセルの大きさが小さいほどより精密な変化、違いを判別でき、高解像度となる。
- ※2 **可視(RGB)カメラ** 人間の目に見える光のうち赤(R)、緑(G)、青(B)の三原色の画像が撮影できるカメラ。一般的なデジタルカメラやスマートフォンカメラのこと。
- ※3 **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** 正規化植生指数。赤色と近赤外線の画像から求められるもので、植生の量や生育の良否を評価できる指数。

参考文献

- 1) Sugiura, R. et al. (2015) Development of High-Throughput Field Phenotyping System Using Imagery from Unmanned Aerial Vehicle. ASABE Paper, No.152152494.
- 2) 3次元再構成ソフトウェア「FieldReconst」
<http://cse.naro.affrc.go.jp/rsugiura/FieldReconst/>
- 3) Sugiura, R. et al. (2016) Field phenotyping system for the assessment of potato late blight resistance using RGB imagery from an unmanned aerial vehicle. Biosystems Engineering, vol.148, 1-10.
- 4) Sugiura, R., Fujiwara, K. (2019) UAV Image-Based Weed Detection in Grassland Toward Site-Specific Weed Control. ASABE Paper, No.1900620.
- 5) 杉浦綾(2016) 小型無人航空機から得た画像の3次元再構成技術と台風被害調査への応用. 農研機構 研究成果情報.
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/harc/2016/harc16_s01.html (参照 2020-5-8)

ドローンとGNSS搭載マーカによる高精度ほ場マップの作成

石塚 直樹 ISHITSUKA Naoki
 坂本 利弘 SAKAMOTO Toshihiro
 岩崎 亘典 IWASAKI Nobusuke



熊本地震によりほ場に発生した地割れ

ドローン空撮画像より作成した3Dモデル

3D Model

はじめに

近年、スマート農業を実現するための先端技術の導入が図られつつあり、ドローン空撮画像を活用した農作物の生育状態の診断やロボット農機の運用技術の開発も進んでいます。農地の起伏や凹凸は、生育ムラや乾湿害の原因の一つとなります。それゆえ、農地の平坦でない状態、これを不陸（ふりく、ふるく）と呼びますが、どこにどのくらいの不陸があるかという情報が得られれば、作物生産において大変有用です。

農地の不陸計測にはレーザー測量を用いることが多く、地上で計測を行う場合、ほ場内を格子状に点で計測する、または、走行しながら基準点からの上下動を線状に計測します。航空機レーザー測量の場合、1m²当たり数点という高い密度で計測を行っていかため、面に近い状態でほ場内の不陸を把握することが可能です。

それに対し、ドローンを用いて不陸を計測する場合、航空機レーザー測量よりさらに高密度に凹凸状態を計測することが可能となります。農地の不陸計測は、平時の作物生産のための情報としてのみならず、地震等の災害発生時にも役立ちます。地震により農地に大きな不陸が発生した場合、不陸の量によって災害復旧対策の方法が異なってくるため、有用な情報となるのです。本稿では、2016年に発生した平成28年熊本地震（以降、熊本地震）の被災農地における計測事例を紹介します¹⁾。

さらに、不陸計測の精度を向上させるためには、用いる地上基準点（GCP: Ground Control Point）^{*1}を高い精度で計測する必要があります。農研機構では、測定精度向上および計測の簡略化を目的として小型GNSS^{*2}受信機を活用したドローン空撮用の対空標識^{*3}の測位

方法を検討し、マニュアルとして公開しました。この小型GNSS受信機による高精度測位マニュアルについても紹介します²⁾。

ドローンによる不陸計測のしくみ

ドローンによる不陸計測は、従来の有人航空機による航空写真測量の技術と、近年のコンピュータビジョンの技術であるSfM (Structure from Motion) とMVS (Multi View Stereo) を組み合わせて行います。航空写真測量で地形を計測する際には、撮影位置の異なる2枚の航空写真を使い、対象物（重複部分）の微妙な見え方の違い（視差差）を用いて、航空機からの距離の違いを計測していきます。ドローンでも同様に2枚の画像の視差差から距離を計測します。これは、人間が2つの目の視差差から距離を推測しているのと同じ原理です。航空写真を使った従来の測量では、航空機の位置および機体の傾きを高頻度に計測しておくことで、航空機の位置から地上の凹凸を算出します。一方、ドローンの場合、現在主流となっているのは、取得した画像の重複部分から画像の特徴点や対応点を自動的に抽出し、カメラの位置や方向を推定するSfMと、3枚以上の画像の重複部分からステレオ視を行うMVSを利用することで、画像から3次元モデルを構築する手法です。

熊本地震における不陸計測事例

熊本市東区秋津町の水田ほ場を対象とした不陸調査の例を紹介します。2016年4月14日の熊本地震発生時、この付近のほ場では転作コムギが作付されていました。

その後、地震による給水ポンプや用水路の損壊によって農業用水が利用できない状態にあったこともあり、多くのほ場では夏作として転作ダイズが作付されました。コムギ収穫後の7月15日に、ドローン（Phantom 3 Professional・DJI社製）に標準装備のカメラ（FC300X）を用いて高度約50mからほ場を空撮し、8時28分から8時38分までのフライトで124枚の空撮画像を取得しました。また、GCP用に任意の場所に設定した基準点からの相対的な高低差を、16地点についてオートレベル（ソキア社製 B20）を用いて計測し記録しました。当時、解析に使用したソフトウェアは、Agisoft社PhotoScan Professionalバージョン1.2.6です。ほ場内の不陸量は、ほ場平均標高を基準面（0m）とした上で、基準面からの高低差（凸部：プラス、凹部：マイナス）で表現しました。その結果、空間解像度約2.5cmのオルソ画像（すべての範囲を上からまっすぐ下に見た画像）と、空間解像度約5cmのDSM (Digital Surface Model) を得ることができ（図1）、秋津町で発生した不陸被害を面的に把握することが可能となりました（図2）。対象地において、公共測量作業規定に基づいて作成された航空機

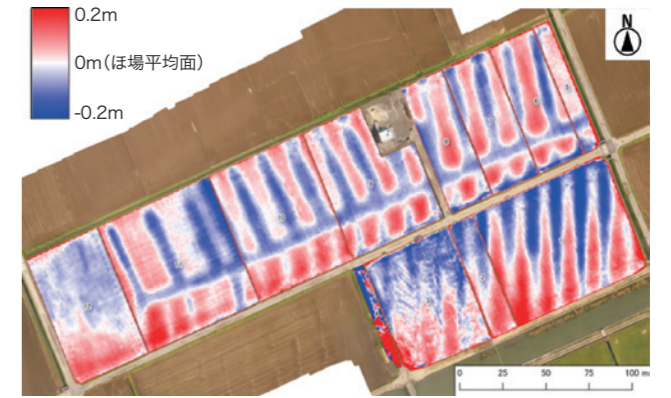


図2 ドローンによるほ場ごとの不陸計測結果の例

レーザー測量による計測値を正しいものと仮定し、ほ場内のおよそ2.8万点を対象にドローンによる計測値とt検定を行ったところ、両データ間に有意な差は認められませんでした。コストについては、km²単位面積当たりで比較すると、航空機レーザー測量が270万円ほどであるのに対し³⁾、ドローンの場合、本研究で使用した機材においてはドローン本体、ソフトウェア等の初期費用を含めても80万円程度であり、およそ1/3という試算結果になりました。農研機構では、この解析方法をマニュアル化し、ウェブサイトで公開しています（図3）。



図1 ドローン空撮画像より作成したほ場表面の3次元モデル（高さ方向は数倍に強調）



http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/080528.html



図3 ドローンを用いたほ場計測マニュアル（不陸（凹凸）編）表紙

小型GNSSを活用した測位マニュアルの公開

スマート農業のベースマップや不陸計測の目的でドローン空撮画像を利用する場合、空撮の際に用いる目印(対空標識)の正確な位置情報(緯度・経度・標高)を併せて計測する必要があります。これまで、位置座標の計測には、トータルステーション^{※4}やGNSS測量システムといった測量専門の機材を利用していました。しかし、高度な専門知識や高額な機材の初期導入コストが必要でした。そこで、農研機構では、近年急速に価格が安くなり、性能も向上した小型GNSS受信機を使用することで、以下に示すような誰でも簡単に対空標識の正確な位置情報を計測することのできる手法について検討しました(図4)。



図4 小型GNSS受信機による対空標識の測位

①対空標識の位置座標を精度よく計測するために、小型GNSS受信機を用いた測位方法を活用します。具体的には、基準地点(国土地理院の電子基準点)と未知点(小型GNSS受信機の設置点)の2地点で同時に観測されたGNSSデータを解析することで、小型GNSS受信機設置地点の正確な位置情報(緯度・経度・標高)を計測する方法(干渉測位^{※5}法)を適用し、対空標識(ドローン空撮を行う際に設置する目印)の位置情報の計測を行います。

②本手法で計測した対空標識の位置情報と、公共測量に使われる測量機器(トータルステーション)により算出した位置情報を比較したところ、測位誤差は、水平方向で2.1cm、垂直方向で2.2cmでした。このことから、本

手法により対空標識の位置情報を高い精度で測位可能であることを確認しました。

③本手法は、小型GNSS受信機(1台約10万円)(図5)を導入すれば適用が可能です。また、小型GNSS受信機を複数台同時に使用することで、複数点の対空標識を効率よく計測することができます。位置情報の計測は、1人で行うことができます。なお、不陸計測などで高さ方向にミリメートルレベルの位置精度が必要な場合は、回転レーザー等のレベル測量機器を別途用意する必要があります。



図5 ドローン対空標識兼用GNSS受信機

④位置情報の解析には無料のオープンソースのソフトウェア「RTKLIB^{※6}」を用いるので、ソフトウェア利用料などのランニングコストは発生しません。

⑤誰でも使えるよう、本手法を一連の作業に沿って解説したマニュアルを作成しました(図6)。

- 1 はじめに(作業手順概要)
- 2 機材の準備・観測計画
- 3 対空標識の設置
- 4 GNSS観測
- 5 RTKLIBによる基線解析
- 6 Agisoft PhotoScanへの座標情報の反映

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130441.html

図6 小型GNSS受信機を用いた高精度測位マニュアル(ドローン用対空標識編)表紙

ドローンとGNSS測位の組み合わせによる事例

GNSS測位とドローン空撮を組み合わせることにより、ほ場マップの生成精度がどのように良くなるか、事例を1つ紹介します。図7は、ドローンに搭載された単独測位のGNSS情報のみから作成したオルソ画像と、GNSS測位による対空標識の緯度・経度・標高情報を用いて作成したオルソ画像を比較したものです。使用したドローンはDJI社製のMavic2 Pro Enterprise Dualです。国土地理院の道路地図と重ねて表示していますが、ドローンのみだと道路が重なっていないことがわかります。一方、GNSS測位情報を組み合わせたものは、道路がしっかり重なっていることがわかります。このように、GNSSのみの位置情報を用いると数メートルの誤差を生じる場合があるのに対し、干渉測位による高精度のGNSS測位情報を組み合わせることで、誤差を小さくすることができます。

おわりに

近年、技術が著しく発達しているドローンおよびGNSS測位を組み合わせることで、従来より格段に安価に高精度のほ場情報を面的に取得する方法を開発しました。また、それらの方法について、図表を多用したマニュアルを公開し、誰でも利用可能なものとなりました。政府は2025年までに、農業の担い手のほぼすべてがデータに基づいた農業、つまりデータ駆動型農業を実践することを目標に掲げています。多くの農業関係者に、是非、マニュアルをダウンロードしていただき、さらに多くの活用法を探っていただきたいと思います。私たちもこの技術をより使い易くするため、マニュアルのアップデートなどを行っていく予定です。

(農業環境変動研究センター 環境情報基盤研究領域)

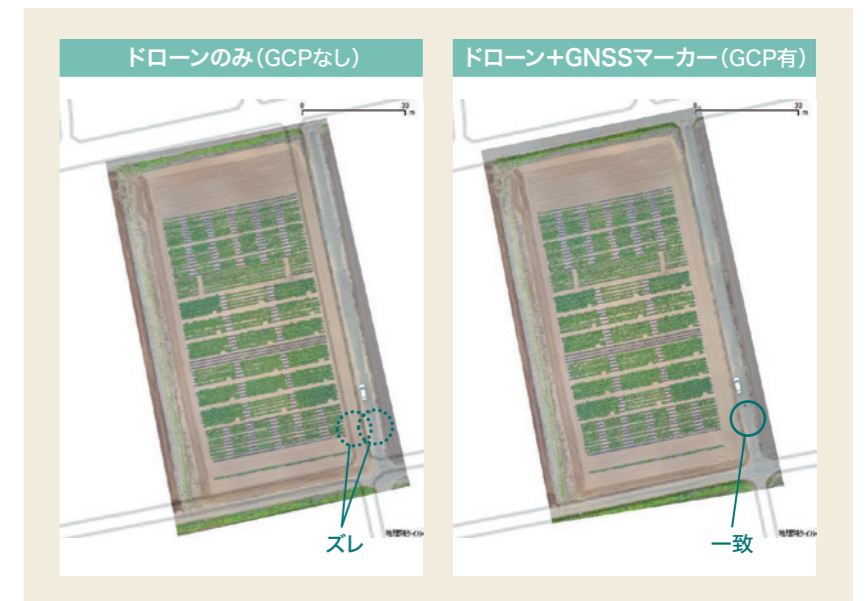


図7 ドローンのみ(左)とドローンとGNSSマーカーを組み合わせた場合(右)の比較

用語解説

- ※1 **地上基準点 GCP(Ground Control Point)** 空撮画像を地図などと重ねるように投影変換(幾何補正)する際に、既知の位置情報として与える画像上の特徴的な地点。
- ※2 **GNSS(Global Navigation Satellite System)** 全球測位衛星システム GPS、準天頂衛星(QZSS、みちびき)、Galileoなどの衛星測位システムの総称。
- ※3 **対空標識** 空撮画像データの幾何補正を行うために使用する座標と高さを既知の基準点として用いる一時的な標識。
- ※4 **トータルステーション** 距離と角度を同時に高精度に測量できる機器。
- ※5 **干渉測位** 位置座標が明らかになっている既知点とそうでない未知点の2点で同時に受信したGNSSからの搬送波の位相を解析し、既知点からの未知点の距離と方向を算出することで、未知点の正確な位置座標を求める方法。
- ※6 **RTKLIB** 高須知二氏(東京海洋大学産学連携研究員)が開発・公開するGNSS観測データの解析を行うためのオープンソースのライブラリとアプリケーション群。

参考文献

- 1) 石塚直樹ら(2018) マルチコプタ型UAVによる熊本地震被災水田の不陸計測と不陸発生の要因究明. システム農学, vol.34(2), 41-47.
- 2) 坂本利弘ら(2019) 小型GNSS受信機および測位演算プログラムパッケージ「RTKLIB」による対空標識の簡易・高精度測位手法に関する事例研究. 日本リモートセンシング学会誌, vol.39(2), 123-132.
- 3) 古川健作、秩父宏太郎(2015) UAV(無人航空機)を用いた空中写真測量技術の適用性について. 平成27年度国土交通省北陸地方整備局事業研究発表会. <http://www.hrr.mlit.go.jp/library/happyoukai/h27/A/A08.pdf> (参照2020-2-20)

ドローンを利用した栽培管理技術

山下 晃平 千葉 大基

YAMASHITA Kouhei CHIBA Masamoto

はじめに

一般的にドローンと呼ばれるマルチコプタータイプのドローンは、無人ヘリに比べ、機体の操縦が簡単であることや導入コストの安さといったメリットがあることから、現在普及している防除作業だけでなく、農作物の栽培管理への活用が期待されています。

このようなニーズの高まりを受けて、農作業現場で求められるドローンの用途を調査し、栽培管理ドローンに求められる機能をセグメンテーション※1するとともに、具体的な管理作業にドローンを用いる研究を実施しました。本稿では、これらの研究成果について紹介します。

栽培管理を行うドローンに必要な機能

まず、栽培管理関連の研究や農作業現場でのニーズを調査し、ドローンを栽培管理に活用するために重要な機能の分析を行いました(図1)。

栽培管理ドローンに求められる重要な機能は、大きく「飛行能力」、「センサ」、「作業能力」に分けられます。

■ **飛行能力**: 飛行能力がもたらす効果として、3次元的な移動手段であることと、路面の影響を受けないことが挙げられます。通常、高所での作業をするときは脚立や高所作業車を用いる必要がありますが、ドローンは垂直方向の移動が容易にできます。また、地上を走行する車両型の作業機は移動する際に路面のぬかるみ、狭い箇所や障害物の存在などの影響を受けてしまいますが、ドローンはこういった影響を受けないため、自由度が非常に高い移動手段と言えます。

この機能を活用する例として、収穫物の輸送が考えら

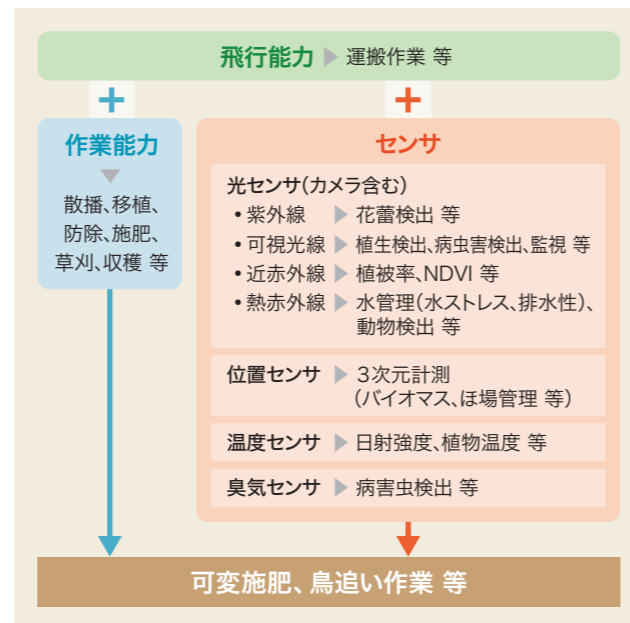


図1 農作業ドローンのニーズ分析

れます。急傾斜地の果樹園において、収穫物はモノレールなどを用いて運搬する例がありますが、これはレールの導入コストが必要で、またレールが果樹の近くにない場合は近くまで人の手で運搬する必要があります。ドローンを用いれば空中を移動できるため自由に運搬ができます。ただし、一般的なドローンは飛行時間を延ばすため、バッテリーやモータは必要最低限のものしか搭載していませんが、飛行重量増加に伴い、高浮力を実現させるための電源系やモータ能力を有したドローンが必要となります。

■ **センサ**: 視覚に代わるカメラだけではなく、対象物の状態を温度、色、臭気、大きさなどの物理化学的性質として検知できる様々なセンサを用いることで、農業者がほ場の中で感覚的に得ていた情報を数値で表すことが期待されます。

この機能は前述の飛行能力と組み合わせることで、高

い位置からの空撮による広範囲の測定や、陸上を移動する方法では立ち入りが困難な箇所での測定ができるようになります。

■ **作業能力**: 実際に栽培管理作業を行い作物や環境に影響を与える機能です。例えば、粉体や液体を散布する機能を持った装置をドローンに搭載することで薬剤や液肥の散布が可能になります。装置に加えて資材も搭載するため、高浮力なドローンが必要となります。

以上が栽培管理ドローンを開発する上で意識しておくべき3つの機能です。ドローンの最大の弱点は、搭載可能重量やバッテリー容量の少なさですので、コストや作業時間を考慮するならば、持たせる機能はなるべく少なくした方が望ましいです。よって、栽培管理作業用のドローンを開発するには、3機能の必要性と優先度を検討することで、コスト面や機能面において、より実用的な栽培管理ドローンを開発できます。

次に、数あるニーズの中から実施した2つの研究事例を紹介します。

作物情報センシングと栽培への応用

ドローンなどのUAV※2を用いたほ場のセンシング技術は、衛星を利用した場合に比べて取得できるデータの解像度が高く、また雲の影響を受けないといった耐天候性や、適切な時期に即センシングが行えるといった利便性などのメリットがあります。そのため、環境負荷の軽減や、作物の収量と品質の向上に寄与できる精密農業において、要となる技術として注目されています。

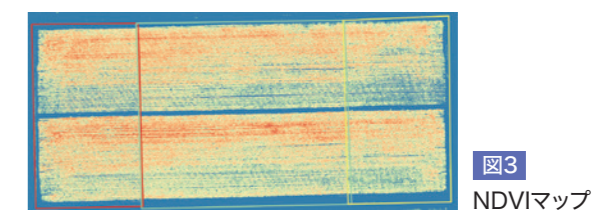
UAVにマルチスペクトルカメラやNDVI※3計測機器を搭載して、ほ場上空から水稻をセンシングし、そのデー

タを基に可変施肥を行った際の収量や品質について評価を行った事例を紹介します(図2)。



図2 マルチスペクトルカメラ搭載小型ドローン

試験は、基肥の施用量を3段階に変えた水稻(コシヒカリ)の試験栽培ほ場において、幼穂形成期の4日後(移植後54~56日後)を目途として、上空からNDVIを計測し、地上では比較検証のため草丈、茎数、葉色(SPAD値)を測定しました(図3)。また、各々の測定に要する時間を計測し作業効率の比較も行いました。



幼穂形成期のNDVIと生育診断の指標として用いられている「草丈×茎数×葉色」¹⁾(以下、この値を生育量とする)の相関を取ったところ、単年ごとに近似線に対する決定係数R²の値が0.80±0.02となり、両者に高い相関が認められました(図4)²⁾。また、近似線の傾きは平均相対誤差が毎年±1.8%以内と類似した傾向が見られました。一方、切片については最大8%異なる結果となり、

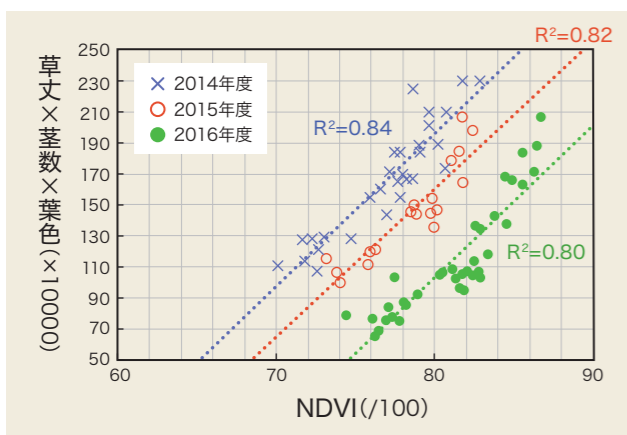


図4 幼穂形成期のNDVIと生育量(草丈×莖数×葉色)の相関

表1 年度別 NDVIと生育量(草丈×莖数×葉色)の近似線の係数

年度	傾き		オフセット	
	値	平均相対誤差	値	平均相対誤差
2014	9.86	1.2	-592	-5.3
2015	9.56	-1.8	-605	-3.3
2016	9.79	0.5	-679	8.6
平均	9.73	—	-625	—

年次の影響がより大きく表れました(表1)。ここで、傾きとして3カ年平均値を用い、生育量とNDVIを8点取得すれば、約2%の誤差でその年におけるNDVIと生育量の検量線を推定できることがわかりましたので、最小限の調査点数で当年の生育量推定式を作成できる可能性が示されました(表1)。

上記、空中測定した幼穂形成期のNDVIと推定した検量線から生育量を算出するとともに、過去の収量データと生育量の結果をもとに定めた増収効果が最も大きくなる基準値を設け、それより低い場合は穂肥量4kg-N/10a、それより高い場合は穂肥量3kg-N/10aを加え、収量や品質の改善効果について調査を行いました。その結果、収量および品質のばらつきを最大で約3割改善することができました(図5)²⁾。

なお、NDVIの測定時間に関しては、地上で測定を行った場合は約224min/10a・人を要したのに対し、ドローンによる空中測定では約1.3min/10a・人とどまり、約173倍の高効率で測定できることを確認できました。

本研究では施肥は手散布を行いました。散布作業の省力化・精密化を目指した粒剤可変散布ドローンの開発にも現在取り組んでいます(図6)。

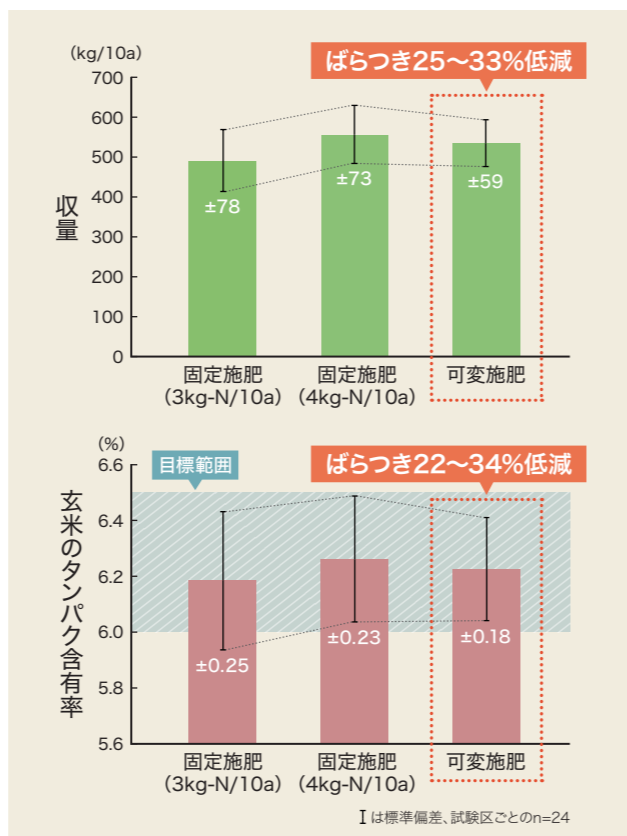


図5 可変施肥による収量・品質



図6 開発中の可変施肥ドローン

鳥除け装置としてのドローンの利活用

沿岸の水稲栽培地域では、成熟期の籾を小型鳥類のスズメやヒバリなどが食べてしまうだけではなく、湛水直播栽培では播種直後にやや大型の鳥類であるウミネコやカルガモが種籾を食べたり、ほ場を踏み荒らすといった複合的な鳥害が発生しています。既往の研究では、ほ場に単純な音や光を発する鳥除け装置を設置しても、鳥は短期間に実害がないことを学習してしまい、装置の効果が10日ほどで無くなってしまふことが報告されています³⁾。

そこで、ドローンの「飛行能力」を活かし、従来の鳥除け装置にはない「鳥に接近して威嚇」を行うことで、継続的に鳥に対して危機的状況を作り出すことができるのではないかと考え、現地で試験を行いました。

はじめに、市販のドローンでどれほどの鳥除け効果があるかを検証しました。飛行方法については、①ほ場上空約3mを通過飛行させる「単純接近」、②鳥に向かって上空約5mから2mほど急降下飛行させる「斜め降下接近」、③鳥の約1m付近まで近づきその場を飛行する「近接飛行」の3つの飛行パターンを実施しました。スズメやヒバリは、単純接近だけで追い払うことが可能でしたが、ウミネコは単純接近ではあまり逃避させることができず、斜め降下接近をしたところ鳥除け効果が確認できました。カルガモに関しては、単純接近では鳥除け効果が無く、また斜め降下接近でもあまり逃避させることができず、さらに近接飛行を実施しましたが半数以上が逃避しないという結果でした。

スズメやヒバリなどの小型の鳥はドローンが近づいてくる飛行音や、視覚的な脅威で逃避させることができましたが、ウミネコやカルガモといったやや大型の鳥は小型ドローン程度では危険を感じなかったのだと考えられました。

次に、野生動物は自分の体より大きいものが近づくと危機を感じる習性を利用し、小型ドローンを大きく見せるために樹脂製チェーンを搭載した鳥除けドローンを製作しました(図7)。この鳥除けドローンをウミネコやカルガモを対象に単純接近飛行させたところ、両者ともド

ローンが近づいただけで逃避し、鳥除けドローンの高い鳥除け効果を確認できました(図8)。

おわりに

ドローンは農業分野だけでなく、物流、林業、建設業や災害救助など幅広い分野で活躍が期待されており、現在ボトルネックとなっているバッテリーの軽量化・大容量化が急速に進めば、ドローンはさらに進化すると予想されます。現状では不可能に思えるような作業であっても、数年のうちにその障壁が無くなることを想定した技術開発を行っていく必要があります。

(農業技術革新工学研究センター
次世代コア技術研究領域)

用語解説

- ※1 セグメンテーション 市場あるいは顧客について、類似したニーズや性質を読み解き、それを元に細分化と分類を行い、小さな同じニーズや性質を持つ固まり「セグメント」を作ること。
- ※2 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 無人航空機のこと。
- ※3 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) 正規化植生指数のこと。(NIR-R)/(NIR+R)で計算され(NIRは近赤外域の反射率、Rは赤の反射率)、理論的には-1から1の間の値をとる。値が大きいほど植生の量が多いまたは生育が良いと判断される。

参考文献

- 1) 武田敏昭(1984) 栄養診断による適正追肥法 東北農業研究, vol.34, 79-93.
- 2) 山下晃平ら(2017) 無人ヘリ作物生育観測システムの開発と実証(第3報). 第76回農業食料工学会年次大会講演要旨, p.77.
- 3) 中央農業研究センター鳥獣害グループ(2018) 鳥害研修用テキスト「鳥類の生態と被害対策」 http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/chougai/wildlife/180731_kensyu_handout.pdf (参照 2020-5-8)



図7 樹脂製チェーン搭載鳥除けドローン

		鳥の種類				
		スズメ	ヒバリ	カラス	ウミネコ	カルガモ
ドローンの飛行パターン	単純接近 飛行難度:低	○	○	○	△	×
	斜め降下接近 飛行難度:中	—	—	—	○	△
	近接飛行 飛行難度:高	—	—	—	—	△

図8 鳥の種類と鳥除け効果 (試験地:岩手県陸前高田市)

○:ほとんど飛び立つ △:一部飛び立つ ×:まったく飛び立たない —:未実施

ドローン空撮・3次元化技術を活用した農地基盤情報の可視化

栗田 英治
KURITA Hideharu

はじめに

農業・農村の現場において、航空機などから撮影された空中写真は、古くから土地利用や作付状況、農地の区画形状、施設配置などを把握する際に活用されてきました。しかしながら、これまでの空中写真は、必要な時期のものが手に入らない、解像度が低く地物（地上にある自然・人工のすべての物）の判別が困難など、現場の要求に十分に答えられない点がありました。

こうした土地や地物の情報の取得という課題に対して、近年、電動マルチローターヘリコプターに代表されるラジコン操作が可能な小型のUAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人飛行機）、通称ドローンが、バッテリーやモーター、カメラ、各種センサー類などの進歩に伴い、顕著に高性能化・低価格化しており、スマート農業から測量や施設の点検・メンテナンスまで、様々な分野において活用されはじめています。あわせて、3次元化技術（複数視点の画像から被写体の3次元形状を推定して復元する技術）の向上により、必要な時期に必要な場所で高解像度の3次元データを、容易に得られる環境も整いつつあります。

本稿では、農業・農村の現場におけるドローンによる空中撮影・撮影画像を用いた3次元化技術の活用の可能性と、本手法を用いた農地基盤情報の可視化について紹介します。

ドローンによる空中撮影および撮影画像を用いた3次元化技術の特徴

ドローンによる空中撮影および撮影画像を用いた

3次元化技術の特徴を整理すると、以下の3つが挙げられます。

適時性：必要な時期に必要な場所の撮影が可能

高解像度：従来よりも詳細な情報の把握が可能

3次元：高低差や形状などの3次元の情報の把握が可能

こうした特徴は、植生などの状況の季節変化が著しい農村地域において、必要な時点の情報を得ることができるという点から有効です。情報取得（撮影）の頻度を高めることにより、作物の生育状況の変化の把握、地区の経年的な土地利用の変化（耕作放棄地の増加など）を細かく把握することも可能です。また、高低差や形状などの3次元の情報を得ることができる特徴は、農地とその周辺の地形形状（勾配や凹凸など）の現況やその変化の把握にも活用できます。

ドローン空撮・3次元化技術を活用した農地基盤情報の可視化

ドローンによる空中撮影、撮影画像を用いた3次元化技術を活用して、耕作条件や草刈りなどの管理の作業条件に関わる農地基盤情報の可視化を行う場合、大きく分けて2つの方法で活用が可能です。一つは、作物の生育ムラを通じて農地基盤条件の違いを可視化する方法での活用、もう一つは、3次元化技術を用いて、ほ場内の凹凸や畦畔や法面の勾配などの農地に関わる地形形状を可視化する方法での活用です（図1）。

ドローンによる空中撮影および撮影画像を用いた3次元情報の可視化の流れは、カメラを搭載したドローンで十分なオーバーラップを確保しながら、撮影対象範囲をカバーできる飛行高度・飛行ルートを設定し、撮影



図1 ドローン空撮・3次元化技術を活用した農地基盤情報の可視化

対象範囲の複数枚の撮影画像を得ます。この画像をもとにオルソモザイク処理^{※1}や画像解析を行うことにより、作物の生育ムラを可視化することができます。撮影に用いるカメラに近赤外域の波長を含むマルチスペクトルカメラなどを使用することにより、植生の量や生育の良否を判定できる指標である正規化植生指数（NDVI：Normalized Difference Vegetation Index）の算出も可能となり、より詳細な解析が可能となります。一方で、撮影された複数視点の画像をSfM（Structure from Motion^{※2}）ソフトウェアを用いて解析することにより、3次元点群データ^{※3}や3次元モデルなどの3次元データの

出力が可能です。得られた3次元データからは、オルソモザイク画像、DSM（Digital Surface Model：数値表層モデル）などの出力が可能で、DSMからはほ場内の凹凸や法面の勾配などの解析ができます。

生育ムラを通じて可視化される農地基盤情報

ドローンによる空中撮影が有する適時性や高解像度といった特徴は、作物などの植生の状況を詳細に把握する上で非常に有効です。特に、生育段階に応じた複数回の撮影や出穂時期や病気発生初期など時期が限定された撮影は、ドローンを用いるからこそ、可能となる点と言えます。

筆者は、中山間地域の傾斜地水田（p.19写真）において、田植えの直前（5月）から稲刈り後（10月）までの間、1カ月おき6時期のドローンによる空中撮影（DJI社のマルチコプターPhantom 4 Proのカメラを用いて、高度90mで撮影）を行い、水稻の植被状況の変化の把握を試みました。図2左は、6時期の中で最も顕著にほ場内

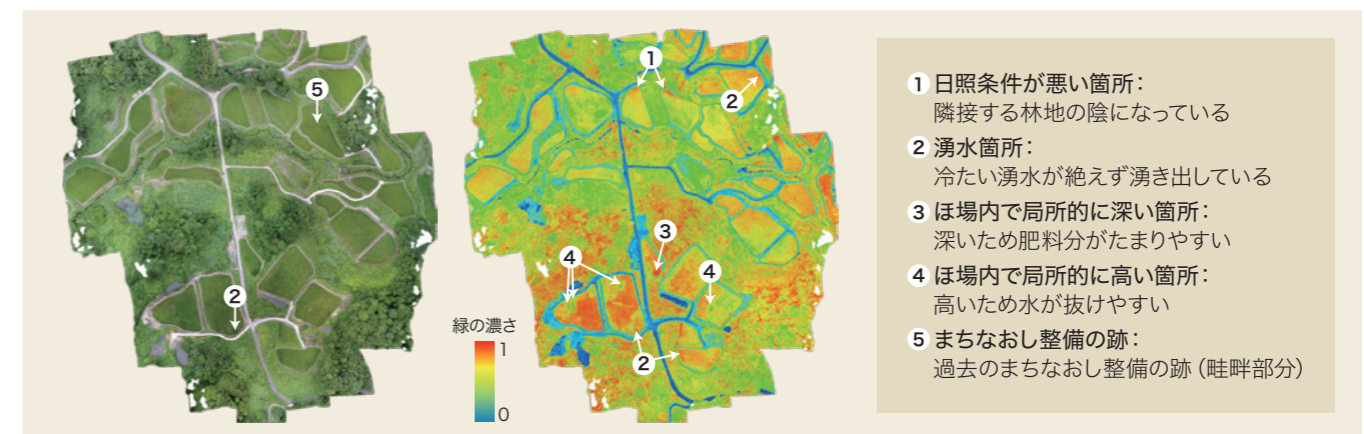


図2 生育ムラの把握を通じたほ場内の局所的な農地基盤条件の違い
オルソ空中写真(左)、2G_RBI処理画像(右)

の生育ムラが把握できた出穂開花期（8月）に撮影された画像です。図2右は、生育ムラをより鮮明に可視化するために、画像のRGBの画素値を用いて植生の緑の濃さを表す指標2G_RBi $((2G-R-B)/(R+G+B))$ を算出したものです。図内の矢印数字は、生育ムラが生じている理由について、各ほ場を耕作している農家の方への聞き取りにより把握し、地図上に整理したものです。日照条件が悪い箇所、湧水箇所、ほ場内の局所的な凹凸やまちなおし^{※4}整備の跡など、個々に理由は異なりますが、いずれの生育ムラについても、農地基盤条件に関わる理由が把握されました。地形条件の複雑な中山間地域の農地は、ほ場ごとに土地・環境条件が異なる場合も多く、ドローンによる空中撮影を用いて、農地基盤情報を可視化することは、個々の農家が有している傾斜地水田における耕作・管理に関わる知識・ノウハウを地域で共有¹⁾していく際にも有効です。

図3は、同様の試みを平地地域のほ場整備実施後の水田において実施したものです。当該地区は、撮影年の冬期に切土盛土^{※5}を伴うほ場整備（ほ場の大区画化など）が実施されました。図3左は、ドローンにマルチスペクトルカメラを搭載し、8月（出穂開花期）に撮影を行った画像を用いて、正規化植生指数NDVI: $((NIR-RED)/(NIR+RED))$ を算出したものです。図3右は、整備時の切盛土高と整備前後の耕区を示したものです。両者を比較すると、整備前の耕区単位で生育ムラ（NDVIの値が低い場所）が存在し、特に切土高の低い耕区、盛土高の高い耕区で生育が相対的に良くないことが把握できます。農地基盤の改変を伴うほ場整備は、整備の前後で

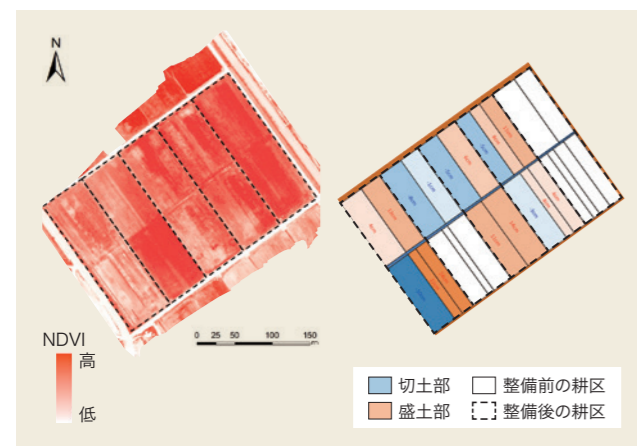


図3 ほ場整備実施ほ場のNDVI画像(左)と整備時の切盛土高(右)

地力も含めた農地基盤条件が変化するため、ドローンによる空中撮影や後述する撮影画像を用いた3次元化を活用し、ほ場のモニタリングを行うことは有効です。

3次元化により可視化される農地基盤情報

ドローンによる空中撮影と撮影画像を用いた3次元化技術によって可能となる3次元化は、地表面の傾斜や凹凸など農地に関わる詳細な地形形状の把握において、大きな力を発揮します。

図4は、小型のロボット除草機が安全に運行できる法面状況を把握することを目的に、ドローンによる空中撮影と撮影画像を用いた3次元化技術の活用により傾斜地農地の法面の状況（勾配・障害物の有無等）の把握を行った例です²⁾³⁾。ドローンによる撮影画像を用いて、3次元モデルを作成し、得られたモデルをGIS（地理情報システム）ソフトウェアで解析することにより、農地を含む範囲の詳細な傾斜度を算出し、法面の勾配や凹凸などを把握・可視化しました（図4下左）。当該地区における解析では、法面の局所的な急勾配部分（石積みの部分）、障害物（岩石が露出した部分）などを把握することができました（図4下右・上右：円で囲まれている部分）。既存のメッシュ標高データなどから、農地の法面を判別することは困難であり、こうした地表面の微細な特徴が把握できることは、高解像度で3次元データが取得できるドローンによる撮影画像を用いた3次元化技術の特徴と言えます。

図5は、図4（下左）記載のA～Jの10地点の法面の勾配について、算出値と現地での実測値を比較したものです（算出値、実測値ともに各法面の平均値を使用）。いずれの算出結果においても、法面勾配の算出値は実測値より小さくなりましたが、撮影時に草刈りが未実施であったC、F、I法面（地点）を除けば、誤差は5°未満（誤差率10%未満）であり、高い精度で法面勾配が把握できることが確認されました。

農地に関わる地形形状の把握は、紹介した中山間地域に代表される地形条件が複雑な地域での農地管理時の活用に加えて、地震や豪雨等の災害発生時の農地の不陸・崩壊などの被害状況の把握や、ほ場整備実施

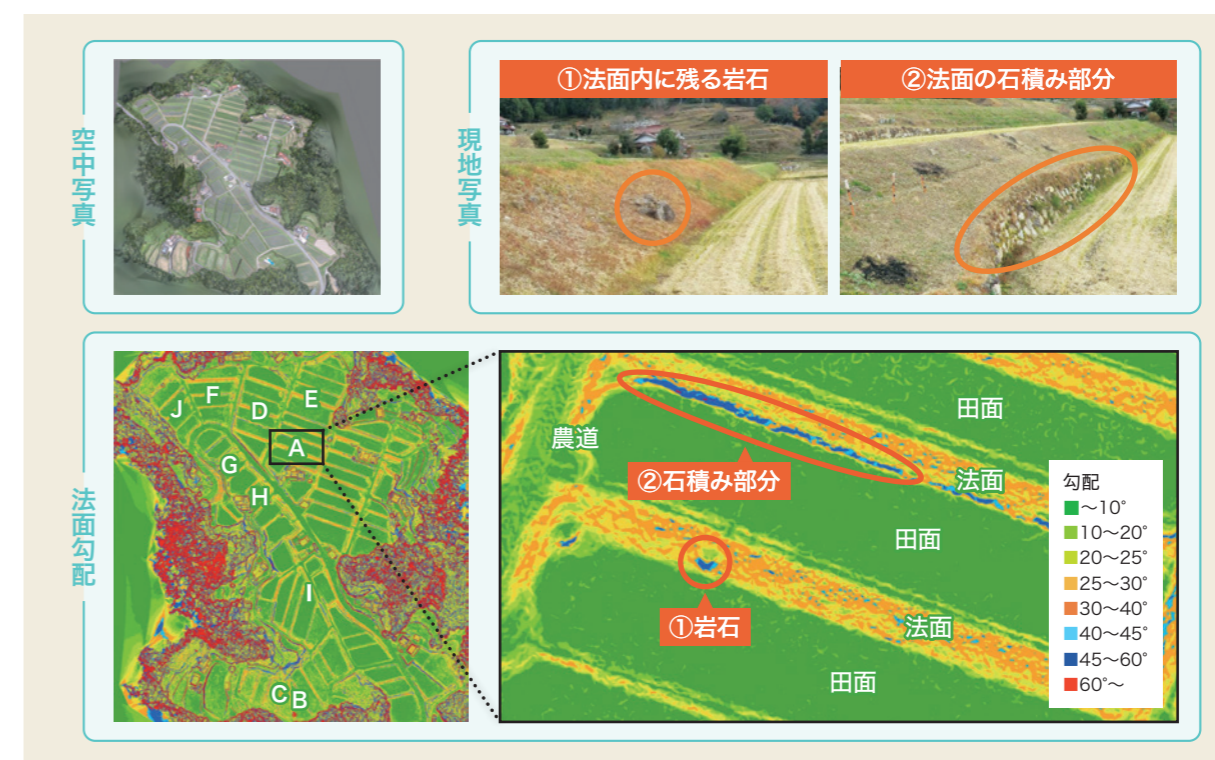


図4 ドローン空撮・3次元化技術を用いた傾斜地農地の法面勾配の把握

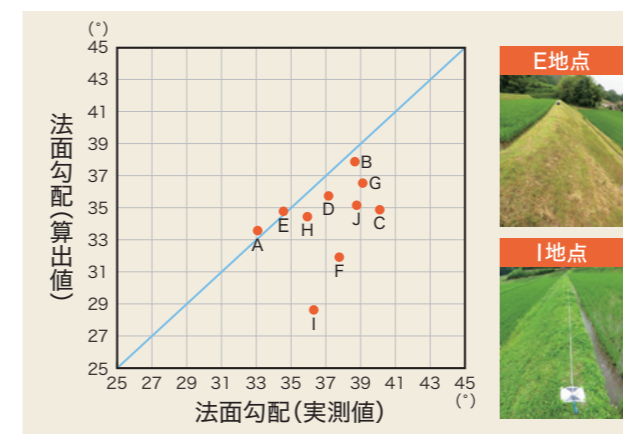


図5 法面勾配の算出値と実測値の関係
※A～J地点の位置は図4左下図を参照

時の現況地形の把握、土工量の計算などにも活用が可能です。

おわりに

ドローンによる空中撮影および撮影画像を用いた3次元化技術は、手法・技術として確立されてきており、様々な分野で活用されるなど普及の段階にあります。一方で、得られた画像や3次元データをどのように活用し、農業・農村の現場での課題を解決していくかについ

ては、まだまだ検討の余地があります。現場の課題やニーズとこれらの技術のマッチングを進めていくことにより、さらに活用の範囲が広がっていくと考えます。

（農村工学研究部門 農地基盤工学研究領域）

用語解説

- ※1 **オルソモザイク処理** 空中写真の歪みを正射投影により補正し、つなぎ目が目立たないように接合する処理。
- ※2 **SfM (Structure from Motion)** 3次元形状復元技術。複数の画像からカメラの撮影位置を推定し、撮影画像中の特徴点(被写体)の3次元分布を推定する技術。
- ※3 **3次元点群データ** コンピューター上で扱う点の集合のデータ。3次元点群は直交座標(x, y, z)で表現される。レーザーを用いた3次元スキャナやSfMソフトウェアを用いた多視点画像計測により、点群データを生成することができる。地表面の点群データからは、DSMなどが出力できる。
- ※4 **まちなおし** 隣接する2～3枚の水田の畦畔を取り除いて少ない土工量で1枚の水田に造り替える簡易なほ場整備。
- ※5 **切土盛土** 傾斜のある土地を平らな土地にするために、地面を削ったり(切土)、土砂を盛ること(盛土)。

参考文献

- 1) 栗田英治(2018) 多様な主体の参画に向けた傾斜地水田管理に関わる知の共有。農業農村工学会誌, vol.86(12), 1117-1120.
- 2) 栗田英治(2016) 小型UAV空撮・3次元形状復元技術を用いた農地の現況地形の把握手法。農研機構 研究成果情報。
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/nire/2016/nire16_s08.html (参照 2020-2-17)
- 3) 栗田英治、福本昌人(2016) 小型UAV空撮・3次元形状復元技術による傾斜地農地環境の把握。農業農村工学会誌, vol.84(9), 753-756.

ドローン空撮ステレオ画像による 畦畔傾斜マップの作成

清水 裕太 SHIMIZU Yuta
菊地 麗 KIKUCHI Rei

はじめに

中山間地域では、農業従事者の高齢化と減少による農地の荒廃や生産基盤の脆弱化が急速に進行し、作付面積や生産量が減少しつつあります。また、中山間地域にその多くが立地している棚田(勾配1/20以上)には長大な畦畔法面が付随しており、草刈りなどの畦畔管理作業は大きな労働負担となっています(図1)。特に、近畿・中国・四国地方では、全国でも農地面積に占める畦畔面積の割合が高く、農業従事者の高齢化と相まって、畦畔管理の担い手不足が問題となっています。このため、畦畔管理作業を集落営農法人が担う必要が生じてきており、畦畔管理作業の省力化は中山間地域の喫緊の課題となっています。



図1 急傾斜畦畔法面での草刈り作業

自走する草刈機をリモコンによって遠隔操作することで草刈り作業を行うリモコン式草刈機は、刈払機での作業が困難な急傾斜な法面や、休耕地・耕作放棄地などの草刈り作業の軽労化に寄与することが期待されています(図2)。近年では畦畔管理作業の負担を低減するために様々なタイプのリモコン式草刈機が市販されています¹⁾。しかしながら、リモコン式草刈機を導入できる畦畔の条件は機種により異なっており、特に、畦畔法面の傾斜角度は導入可能性を左右する要因の一つになっています。このため、農地の畦畔法面の傾斜角度を事前に把握できれば、リモコン式草刈機の機種選定や、導入後の効率的な草刈り作業計画の立案に貢献できると考えられます²⁾。



図2 リモコン式草刈機による草刈り作業

本稿では、ドローンによって撮影した空中写真を用いて、畦畔法面の3次元地形をパソコン上でマップ情報として構築し、リモコン式草刈機の適用可能性を判定する畦畔傾斜マップの作成事例について紹介します。

ステレオ写真による 畦畔法面の3次元化

畦畔法面の3次元モデル化は、ドローンで撮影した空中写真とSfM (Structure from Motion) 多視点ステレオ写真測量法を用いた解析により行いました。SfMとは、同じ部分を写すように撮影された複数枚の空中写真から、共通して写っている特徴的な部分を目印にして、カメラのレンズの特性、撮影時の位置や姿勢などの標定要素、特徴点の3次元座標を一度に求める手法です。そして、多視点ステレオ写真測量では、SfMによって求められた3次元幾何情報を基に、複数の写真間でのマッチングを行うことにより高密度の3次元点群やメッシュモデルを作成することができます。

解析にはドローンを用いて対地高度50m程度から撮影された可視光画像を使用しました。写真には撮影時のカメラの緯度、経度、標高なども記録されていますが、これらの位置情報は単独測位のGNSS*により取得されたものであるため数メートルの誤差を含んでいます。できるだけ精度の高い3次元モデル化を行うためには位置情報の補正が必要です。そこで、まず地上の特徴的な地点を標定点として定め、その座標および標高を測量により求めました(図3)。測量した標定点には、ドローンから認識しやすくするため、対空標識と呼ばれる市松模様のボードを設置して、位置情報を補正しました。

SfM多視点ステレオ写真測量法によって構築した3次元点群データから数値表層モデル(DSM: Digital Surface Model)を作成し、畦畔法面の3次元モデル化を行いました。図4は、対象地を斜め上から見下ろしたも

ので、左図は写真群の合成写真(オルソモザイク画像)と空中で撮影したカメラの位置と姿勢(青色の四角)を、右図は畦畔を含む撮影範囲の3次元形状を表しています。ここで示している3次元化された畦畔法面は厳密には地面の地形ではなく、地表の植生などの地物の影響が含まれた結果となっています。草刈り後の植生の影響



図3 畦畔法面の測量



標定点
(対空標識)



測量機材

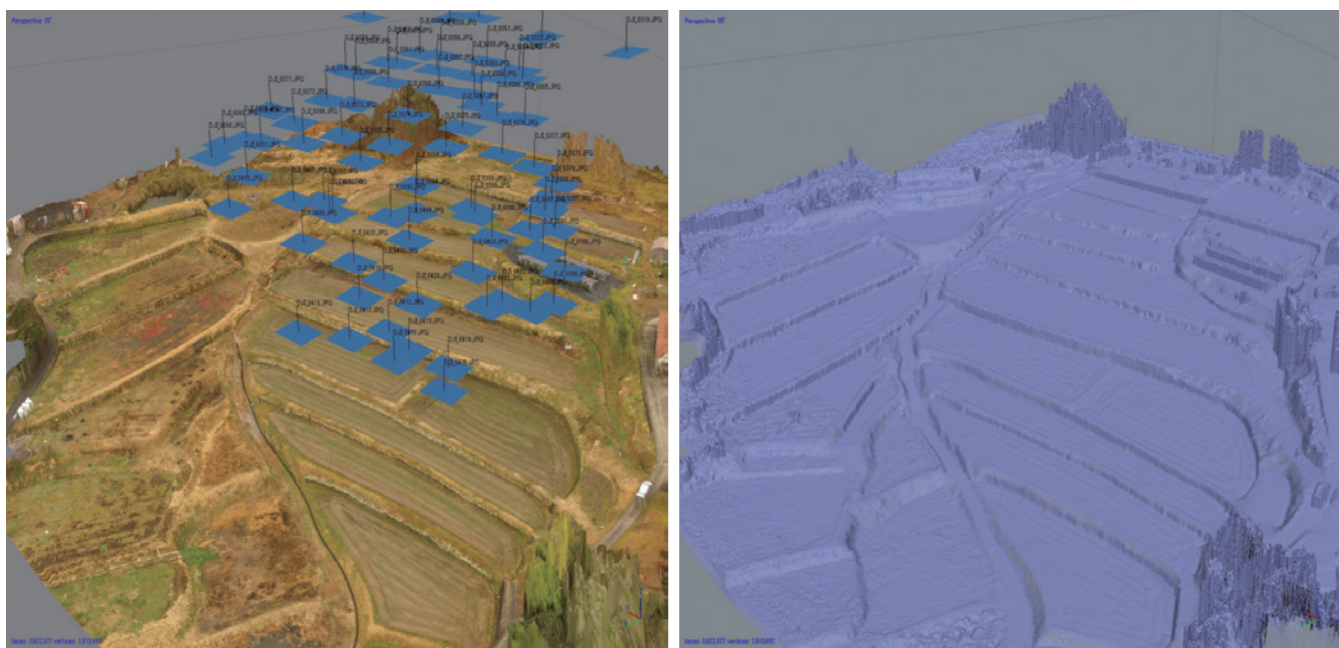


図4 ドローンによって撮影された写真群から構築された合成写真(オルソモザイク画像)(左)と数値表面モデル(右)

が小さい冬季に撮影された写真を用いたケースでは、対象とした畦畔法面群は、ほぼ地面と見なすことができる精度であることが確認できました。

畦畔傾斜マップ作成

3次元モデル化した畦畔法面のDSMを傾斜へ変換するための処理を地理情報システム (GIS) ソフトウェアを用いて行い、傾斜マップを作成しました。対象とした畦畔法面群は、平均で35°程度の傾斜であり、部分的に40°を超える傾斜が分布することが確認されました(図5中)。畦畔傾斜マップからは、法面のフトン籠工(図3に写っている鉄線で編んだ長いかごに碎石を詰め込んだもの)やコンクリート製の水利構造物などのリモコン式草刈機の自走が困難な箇所や、小規模な侵食や崩積により不均一な形状をしている箇所も急傾斜箇所として捉えられていました。これにより、法面内の遷急点※2などの危険箇所を可視化できるので、リモコン式草刈機の転落や作業者の下敷き事故などのリスクを軽減できます。また、傾斜角度を考慮した法面面積も計算できるので、これらをマップ上に表示することで、畦畔ごとの作業時間を予

測でき、草刈り作業計画の立案にも役立ちます。

この畦畔傾斜マップをベースにして、畦畔ごとの傾斜角度の出現頻度からリモコン式草刈機の機種に応じた作業可能あるいは登坂可能な傾斜角度を基準にして、リモコン式草刈機の適用可能マップを作成しました(図5右)。現在は、リモコン式草刈機にGNSSロガーを設置し、草刈り作業中の座標を自動記録して運用実績

データを蓄積しています。さらに、オペレータによる作業記録データと連携させることで、傾斜以外の要素も含むリモコン式草刈機の適用可能性を判定する精度を高めようとしています。

おわりに

従来は、法面形状を実地で測量することで畦畔法面の傾斜を把握していましたが、ドローン空撮画像を用いることで、この計測作業にかかる労力を省力化できる可能性が示されました。今後は畦畔傾斜マップの高度化を進め、集落内農地の畦畔管理作業の最適化を目指します。これにより、適用可能畦畔ではリモコン式草刈機を使用し、適用不可能畦畔では急傾斜対応型の小型草刈ロボットなどを使用するなど、ベストミックスな草刈り手段の運用が可能となることで、急傾斜畦畔の管理作業の省力化および軽労化の実現が期待できます。

付記:本研究の一部は、農林水産省「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト(課題番号:中G09、課題名:中山間水田複合作における省力化と新しい品種、販路等へ挑戦するスマート農業技術活用体系の実証)」(事業主体:国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構)で実施しました。

(西日本農業研究センター 生産環境研究領域、
営農生産体系研究領域)

用語解説

- ※1 GNSS(Global Navigation Satellite System) 全球測位衛星システム GPS、準天頂衛星(QZSS、みちびき)、Galileoなどの衛星測位システムの総称。
- ※2 遷急点 畦畔法面などの斜面を上から傾斜方向に見下ろしたときに、傾斜角度が急にきつくなる地形変換点のこと。

参考文献

- 1) 菊地麗(2019) リモコン式草刈機の機種比較および導入前の検討事項. 農作業研究, vol.54(別号2), 77-91.
- 2) 清水裕太、菊地麗(2019) 草刈り作業計画のための適用可能畦畔マップの作成. 農作業研究, vol.54(別号2), 47-48.

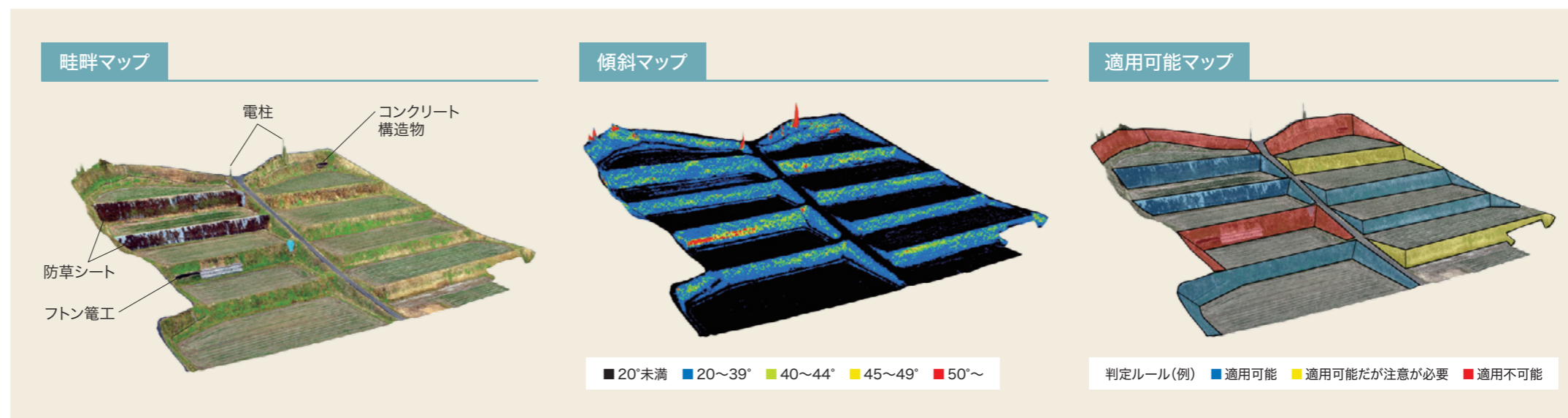


図5 畦畔傾斜マップとリモコン式草刈機の適用可能マップの例

ドローンを利用した 広域でのほ場単位の生育診断

大段 秀記 官 森林
OHDAN Hideki GUAN Senlin



はじめに

水稲や麦類などの土地利用型作物は、生育状況に応じた適切な追肥を行うことで収量や品質の向上が可能です。しかしながら、作物の生育状況を観察で評価することは容易ではありません。葉色や草丈、乾物重などを測定する方法がありますが、一つ一つのほ場で実施するには多大な労力を必要とします。空撮画像を利用したリモートセンシングは、ほ場を俯瞰的に見ることができるところから、作物の生育診断への利用の期待が高まっています。空撮には人工衛星や航空機が利用されます¹⁾。人工衛星を利用したリモートセンシングは、広範囲の状況把握には適していますが、水田のような一つ一つのほ場の状況を把握するにはコストが割高になります。また、雲の影響を受けやすく、タイミングよくデータを取得できない場合もあります。

航空機利用については、性能が目覚ましく進歩しているドローンを利用した技術開発が進められています²⁾。ドローンによる空撮は雲の影響を受けにくいいため、必要な時に撮影が可能です。ドローンを利用したリモートセンシングはすでに商用化されているサービスもありますが、空撮高度が30m以下のものが多く、1日の撮影面積は10ha程度が限界です。また、空撮画像の解析に時間を要し、生産者に結果を提示するのに数日~1週間程度かかります。今後、経営規模のさらなる拡大が予想されるため、ドローンを利用したリモートセンシングが広く普及するには、効率的に広域面積を撮影でき、解析結果を早く提示できる技術の開発が必要です。

本稿では、マルチスペクトルカメラ^{*1}を搭載した汎用型ドローンによる空撮と高速マッピングソフトを活用して開

発した、広域でのほ場単位の生育診断を効率的に行うことができる広域リモートセンシング技術を紹介します。

リモートセンシングに必要な機材

空撮には可搬性に優れたDJI社のドローンPhantom 4 Proを利用しました。Phantom 4 Proには高性能な可視光カメラが搭載されていますが、作物の生育状況を把握するために、Parrot社の小型マルチスペクトルカメラSequoiaを利用しました(図1)。SequoiaをPhantom 4 Proに搭載するにはマウントが必要ですが、国内では入手が困難なことから3Dプリンタを利用してオリジナルマウントを設計、作製しました(図2)。このマウントはPhantom 4およびPhantom 4 Pro V2.0でも使用することができます。Phantom 4 ProとSequoiaの組み合わせ以外にも、ドローンにDJI社のMatrice 100、マルチスペクトルカメラにMicaSense社のRedEdgeを利用した組み合わせでも試験を行いました(図3)。空撮はフライトアプリを利用して自律飛行により連続撮影を行います。フライトアプリはDJI社のドローンに親和性が高く、日本語でフライトプランの保存等ができる同社のGS Proを利用しました。

広域リモートセンシングの空撮技術

ドローンを利用してほ場を効率的に空撮するには、なるべく高速で飛行し、飛行高度を高くする必要があります。しかし、飛行高度を高くすれば撮影画像が粗くなり、地上解像度(GSD)が低くなります。水稲栽培では条間が30cm程度ですので、条間の検出が可能な



図1 マルチスペクトルカメラSequoiaを搭載したドローンPhantom 4 Pro



図2 Phantom 4 ProにSequoiaを搭載するための自作マウント



図3 マルチスペクトルカメラRedEdgeを搭載したドローンMatrice 100

GSD10cm以下になるように設定することが望ましいと考えます。Phantom 4 Proでは、高度100mでSequoiaのGSDが9.5cmとなり、飛行速度も約10m/sと高速飛行が可能です。ドローンにMatrice 100を使った場合には高度115mでRedEdgeのGSDが7.9cm、飛行速度が約10m/sとなります。

空撮画像の高速マッピング

ドローンでは連続撮影をするため、マルチスペクトル画像をパソコン上でつなぎ合わせて、一つの反射マップ^{*2}にする必要があります(図4)。また、作物の生育状況を把握するにはその反射マップから植生指数³⁾を計算する必要があります。数多くの植生指数が用途に応じて考案されていますが、ここでは代表的な植生指数であるNDVI(Normalized Difference Vegetation Index)^{*3}を指標としました。空撮画像からNDVIマップを作成するにはマッピングソフトが必要です。3次元モデルの解析が可能な高機能ソフトもありますが、画像処理性能

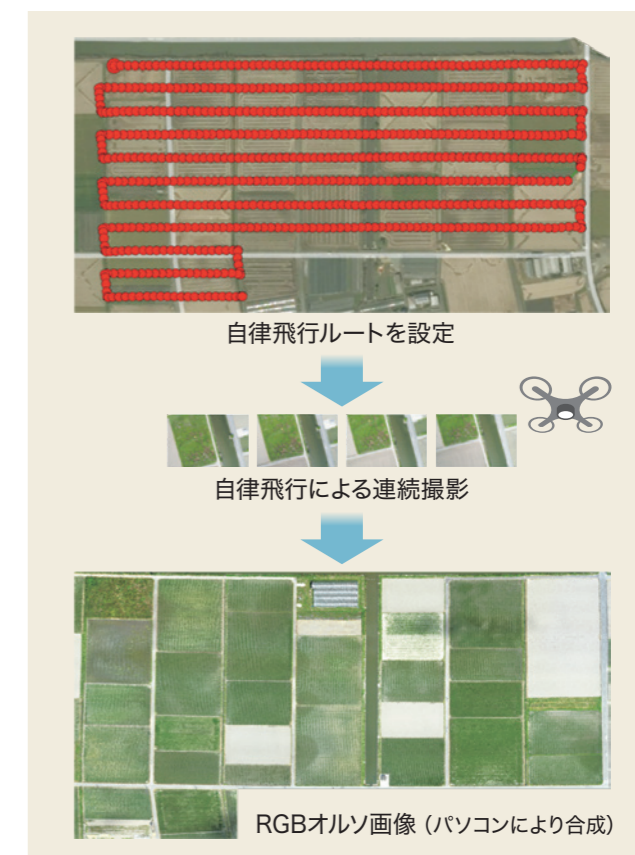


図4 ドローンによる空撮から全体画像を合成するイメージ

が高いハイスペックなパソコンが必要となり、解析時間も長くなります。NDVIを指標とした生育状況の把握には2次元での解析で十分であることから、ハイスペックなパソコンを使わなくても高速マッピングが可能なPix4D社のPix4Dfieldsを利用しました。

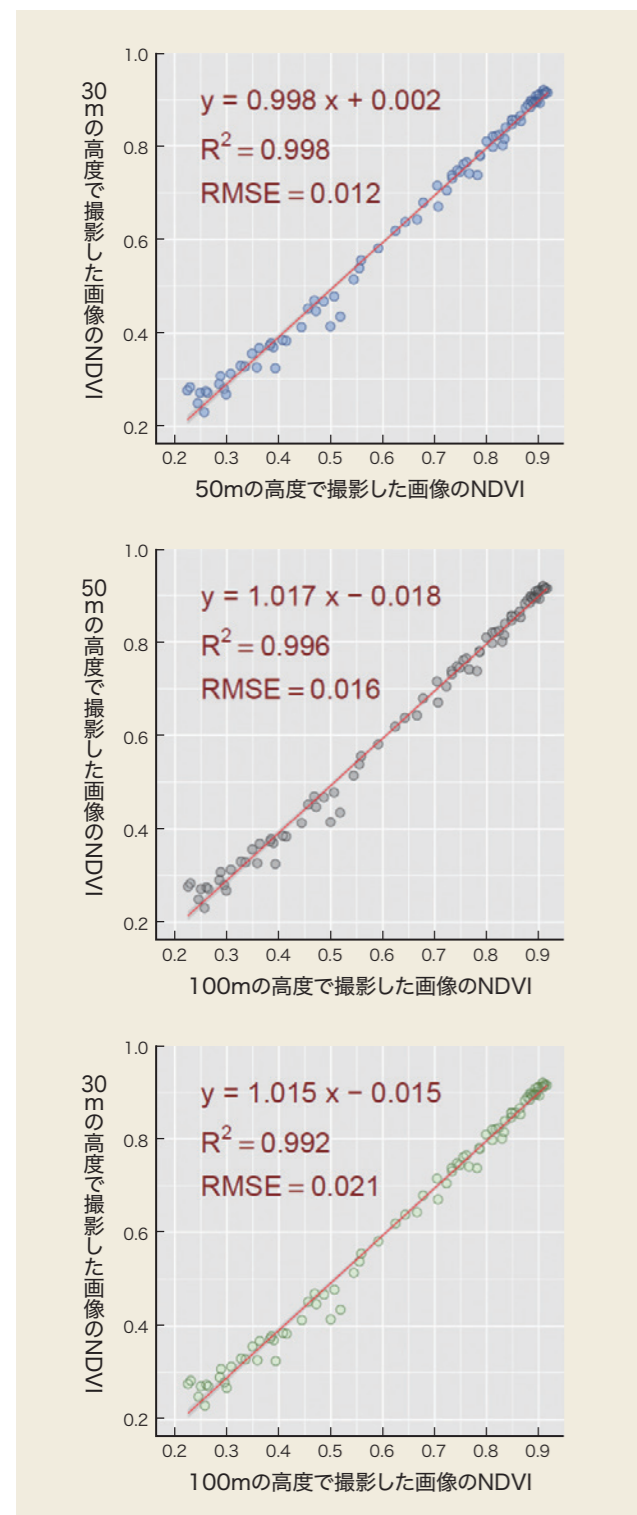


図5 高度30m、50m、100mで撮影した画像から計測したNDVIの相関

前述したように高度を高くすると画像解像度が低くなることから、30m、50m、100mの各高度で撮影した画像から得られるほ場単位のNDVIを比較したところ、いずれの高度も高い相関を維持していることがわかりました(図5)。したがって、ほ場単位の生育状況の把握には高度100mでの空撮で問題がないと言えます。

100ha超の広域リモートセンシングの事例

2018年9月28日にPhantom 4 Pro、2019年7月24日にMatrice 100を利用して、それぞれ広域空撮を行いました(表1)。いずれの場合でも、一つのバッテリーで飛行できる時間は15分前後ですので、複数回のバッテリー交換が必要になります。同じ面積でも撮影対象の形状によって飛行経路が変わりますし、バッテリーの劣化程

表1 100ha超の広域面積撮影時の有効撮影能率と画像解析に要する時間

ドローン	DJI Phantom 4 Pro	DJI Matrice 100
マルチスペクトルカメラ	Parrot Sequoia	MicaSense RedEdge
撮影場所	熊本県玉名市	佐賀県鳥栖市
撮影日	2018/9/28	2019/7/24
撮影時の地上1.5mの平均風速(m/s)	2	2
飛行高度(m)	100	115
飛行速度(m/s)	10	10
マルチスペクトルカメラのGSD(cm)	9.5	7.9
総作業時間	1:26:00	2:35:52
有効撮影時間*1	1:02:04	1:48:32
バッテリー交換回数	5回	7回
撮影対象面積(ha)	100	110
有効撮影能率(ha/10min)*2	16.1	10.1
前処理にかかる時間(h)*3	2	2
撮影画像枚数*4	13,418 (うちマルチスペクトル画像11,600)	21,857 (うちマルチスペクトル画像19,130)
撮影画像容量(GB)*4	42.6	47.6
オルソ画像合成時間(h)		
Pix4Dfields*5使用時	0.7	2.0
Pix4Dmapper*6使用時	5.8	20.5

*1:バッテリー交換時間等を含まないドローンが空撮している総時間数
 *2:撮影対象面積/有効撮影時間
 *3:PCへの画像ファイルの転送および不要画像の削除等にかかる時間
 *4:不要画像を除く撮影画像
 *5:Ver.1.4
 *6:Ver.4.4.12

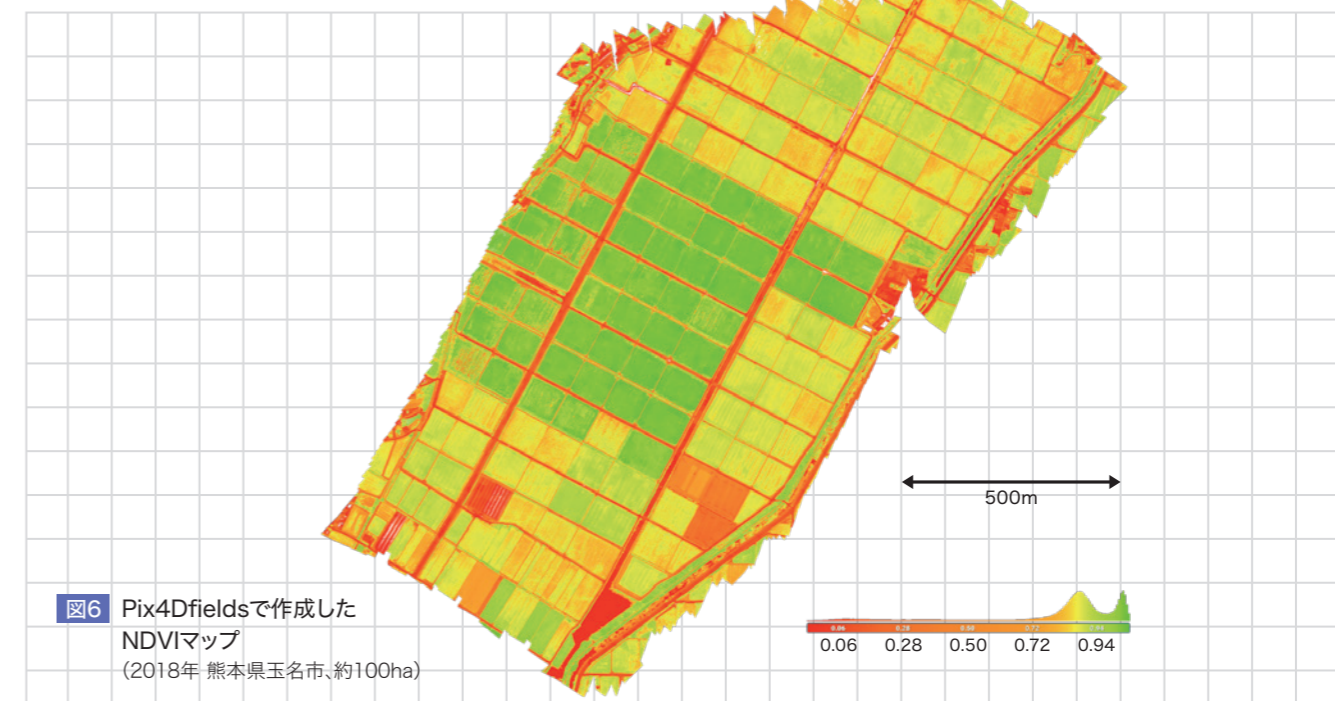


図6 Pix4Dfieldsで作成したNDVIマップ(2018年 熊本県玉名市、約100ha)

度や気温によって飛行可能時間が変わりますので交換回数は一定ではありませんが、5~7回の交換が必要でした。有効撮影能率は10.1~16.1ha/10分と高度30mからの撮影に比べて約10倍効率的でした⁴⁾。バッテリー交換等も含めた総作業時間は86~156分でした。

撮影画像の総容量は40GB以上と非常に大きく、パソコンへの画像ファイルの転送や不要画像の削除等の前処理に約2時間が必要です。前処理後にPix4Dfieldsを利用してNDVIマップを作成すると図6のようになり、各ほ場の生育状況を視覚的に見ることができます。NDVIのマッピングに要した時間は0.7~2時間で、同じスペックのパソコンで高性能なPix4Dmapperを利用した場合に比べて解析時間を約1/10に短縮できます。

おわりに

ほ場内を細かく分けて生育診断し、精密に可変追肥することで生育ムラを解消することも技術的には可能ですが、労力とコストがかかります。本技術は、ほ場単位で生育診断を行うため、ほ場内の生育ムラの解消には活用できませんが、より省力、低コストで収量、品質の向上が期待できます。実際に、佐賀県鳥栖市の水稲栽培ほ場で本技術を適用し、試行的に追肥試験を実施したと

ころ、適切な追肥量を診断結果から決定でき、肥料のやりすぎによる倒伏を発生させずに増収という結果を得ることができました。また、本技術は水稲以外の作物にも適用可能であり、多くの作物で活用していただきたいと思います。

(九州沖縄農業研究センター 水田作研究領域)

付記:本研究は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち経営体強化プロジェクト)」の支援を受けて行いました。

用語解説

- ※1 **マルチスペクトルカメラ** 可視光(RGB)以外にも目には見えない近赤外線など複数の波長を撮影できるカメラ。
- ※2 **反射マップ** センサー(マルチスペクトルカメラ)で撮影した波長の光がどの程度反射しているかを色の濃淡などを使って表現した画像。
- ※3 **NDVI** $(NIR - R) / (NIR + R)$ で計算され(NIRは近赤外線の反射率、Rは赤の反射率)、-1から1の間の値になり値が大きいほど生育が良いと判断されます。

参考文献

- 1) 境谷栄二、井上吉雄(2013) 米の適期収穫への航空機および衛星リモートセンシングの実践的利用. 日本リモートセンシング学会誌, vol.33(3), 185-199.
- 2) 井上吉雄、横山正樹(2017) ドローンリモートセンシングによる作物・農地診断情報計測とそのスマート農業への応用. 日本リモートセンシング学会誌, vol.37(3), 224-235.
- 3) 竹内渉、安岡善文(2004) 衛星リモートセンシングデータを用いた正規化植生、土壌、水指数の開発. 写真測量とリモートセンシング, vol.43(6), 7-19.
- 4) Guan, S. et al. (2019) Assessing correlation of high-resolution NDVI with fertilizer application level and yield of rice and wheat crops using small UAVs. Remote Sensing, vol.11(2), 112.

中山間地域における マルチコプターによる省力的防除技術

孫 雯莉
SUN Wenli

はじめに

農業分野で小型の無人航空機であるマルチコプター（ドローン）による農薬散布が急速に普及しつつあります。日本国内のマルチコプターによる農薬散布面積は、水稻を中心に2016年は684haでしたが、2018年には約3.1万haと約45倍に拡大し、登録機体数も227機から1,552機と急増しています¹⁾。2019年には、2022年度までに土地利用型作物、露地野菜などのマルチコプターによる農薬散布面積を延べ100万haに広げるという数値目標が農林水産省から示されました²⁾。今後、中山間地域でのマルチコプターの利用拡大も期待されています。

中山間地域の集落営農法人では傾斜地に立地した多数の小区画のほ場を管理しており、土地が集約されて経営面積が大きくなっても、大型機械の利用による作業の効率化は期待できません。一方で、マルチコプターは機体の大きさや機動性から中山間地域に適した機械と言われていますが、その明確な根拠は示されていません。本稿では、マルチコプターと従来のオペレータが乗車して作業を行うブームスプレーヤ³⁾による防除作業を比較して中山間地域におけるマルチコプター導入の省力効果を紹介します。

■ ブームスプレーヤによる防除作業



現場での課題

麦類における赤かび病の発生は、人畜に有毒なカビ毒を生成するため、赤かび粒が混入した麦は出荷できません。そのため予防的防除が重要で防除作業は開花から1週間以内に実施する必要があります。この時期は水稻の準備や田植えといった農繁期に当たり、つぶさにはほ場で開花を確認し、ブームスプレーヤや動力噴霧器での作業を行うのは大変です。

中山間地域において、多筆分散ほ場で麦の赤かび病防除作業を適期に実施するには、あらかじめ適期を把握して防除計画を立てること、防除作業の能率を上げることが重要です。そこで、麦の赤かび病の防除計画立案を支援するために、省力的なほ場別の播種日の把握と、気象データによる小麦の開花期予測³⁾に基づいて、開花期より前にはほ場別の防除適期を示す手法を構築しました⁴⁾。この計画に基づき、マルチコプターを運用する

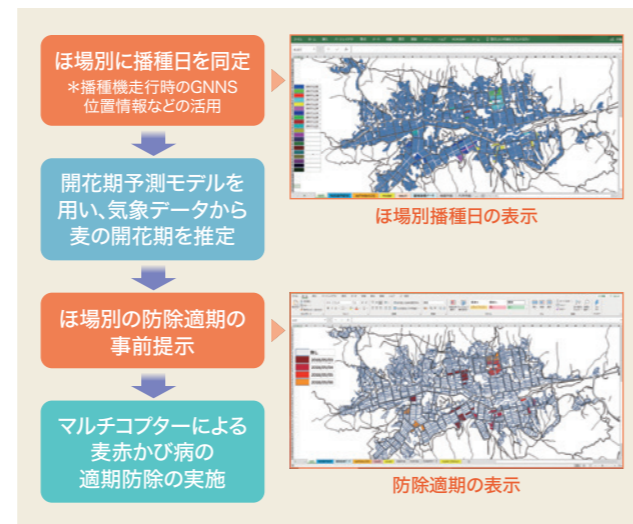


図1 麦赤かび病適期防除の流れ

表1 使用機械の仕様諸元

	マルチコプター	ブームスプレーヤ
機種名	エンルート社 AC940-D	丸山製作所 BSA-500
寸法(mm) 全幅×全長×全高	1005×880×503	2155×3965×2295
機体重量(kg)	6	1060
タンク容量(L)	5	500
散布幅(m)	最大4	最大7.8
速度(km/h)	10・15・20	散布時 0~4 移動走行時 0~11
調査時作業速度(km/h)	15	散布時 2~3
散布量(L/10a)	0.8	100

注) 孫ら(2020)の表3を引用して作成

表2 調査ほ場と作業員の概況

	マルチコプター	ブームスプレーヤ		
調査対象	A法人	B法人		
年次	2018	2018	2019	
ほ場筆数	28	14	20	
ほ場面積 (ha)	総面積	4.66	1.00	3.14
	平均面積	0.17	0.08	0.16
	最大値	0.27	0.13	0.24
	最小値	0.04	0.04	0.04
作業員(オペレータ+補助員)	3人	2人		

ことで、省力適期防除の実現が期待されています(図1)。

中山間地域でマルチコプターによる防除作業の省力効果を明らかにするため、広島県東広島市の2つの集落営農法人において、マルチコプターと従来のブームスプレーヤによる防除作業を実施し、作業能率を調査しました。作業に使用された機械の仕様諸元を表1に、調査ほ場と作業員の概況を表2に示します。

ほ場作業時間の比較

ほ場作業時、マルチコプターの飛行速度が15km/h、農薬吐出量が0.8L/10aでした。ブームスプレーヤのほ場内の走行速度が2~3km/h、農薬吐出量が100L/10aでした。

調査ほ場の1haあたりほ場作業時間とほ場面積の関係を図2に示します。1haあたりのほ場作業時間は、マルチコプターでは平均0.42時間で、平均1.30時間のブームスプレーヤと比べ約1/3となりました。また、ブームスプレーヤでは小面積のほ場ほど作業能率が大幅に低下し、1haあたりのほ場作業時間はほ場面積が小さくなるに従い長くなる傾向が認められました。マルチコプターでも同様にほ場面積が小さくなるに従い1haあたりのほ場作業時間が長くなる傾向がありましたが、ブームスプレーヤに比べてほ場面積の影響は小さなものでした。ブームスプレーヤは作業幅が広いことで能率を向上させ

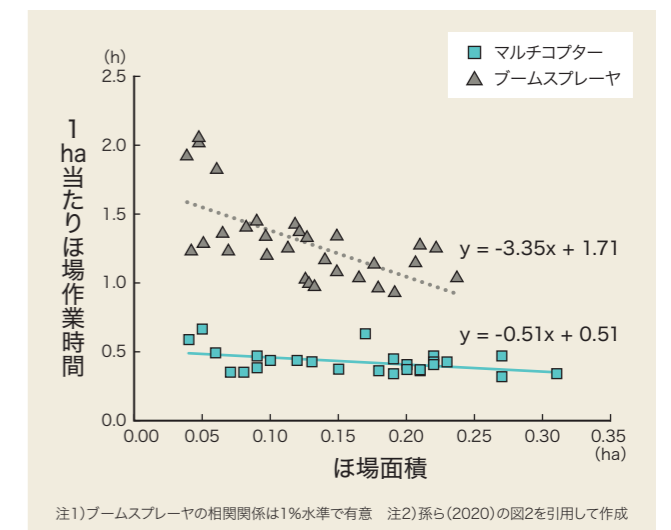


図2 調査ほ場の1haあたりほ場作業時間とほ場面積の関係

ていますが、小さなほ場では形状により片側のブームを閉じて散布する場合があります。また、作業幅が大きい反面作業速度が遅く、特にほ場端で次の行程に移る際の旋回による方向転換に平均で20秒/回を要していました。一方、マルチコプターの旋回時間は平均3秒/回と早く、作業幅が狭いものの速度が速く、ほ場の出入り口の段差なども問題になりません。したがって、個々のほ場面積が小さく、不整形なほ場が多い中山間地域ではマルチコプターによる防除作業はほ場作業能率面で有利といえます。

ほ場外作業の比較

2018年の調査データでマルチコプターとブームスプレーヤのほ場外作業を比較しました。ほ場外移動時、マルチコプターは隣接ほ場間では飛行しながら移動し、長距離移動の際には軽トラックに載せて移動していました。ブームスプレーヤでは、いずれも自走により移動していましたが、隣接ほ場へ移動する場合に比べ、一般道路を遠くまで移動する場合は走行速度も速いため、移動距離により隣接ほ場間移動と長距離移動を分けて取り扱いました。マルチコプターとブームスプレーヤの隣接ほ場間の移動時間と長距離移動時の平均速度を表3に示します。マルチコプターはブームスプレーヤに比べ、隣接ほ場間の移動時間は約1/3と短く、長距離移動時の平均速度では1.2倍と速いことがわかりました。マルチコプターは飛行状態で移動できるため、隣接ほ場間で高低差があっても最短距離で移動できました。

表3 ほ場外作業の比較

	マルチコプター	ブームスプレーヤ
隣接ほ場間移動時間(s)	14	39
長距離移動速度(m/s)	2.3	1.9
電池交換・薬液と水補給時間／散布面積(h/ha)	0.13	0.23
洗浄作業時間(h)	0.14	1.00

注) 孫ら(2020)の表5を引用して作成

電池交換および薬液と水の補給にかかる時間については、マルチコプターの散布面積当たりの電池交換および薬液の補給時間は0.13h/haで、ブームスプレーヤの

散布面積当たりの薬液と水補給時間の0.23h/haよりも短時間でした。マルチコプターでは農薬を高濃度で少量散布する方法をとるため、農薬希釈用の水運搬や薬液補充、タンクの洗浄時間も少なく済みます。しかし一方で、マルチコプターで作業する場合は、バッテリーを頻繁に交換する必要があります。調査した法人では、作業開始時にすべてのバッテリーを満充電の状態にしておき、作業中も軽トラックの荷台に積んだ発電機で交換したバッテリーを充電するなどして長時間作業するための工夫をしていました。

マルチコプター、ブームスプレーヤともに、薬液の残留やノズルの目詰まりを防止する目的などの理由で、機械の使用後には速やかに洗浄する必要があります。マルチコプターのタンク(5L)とノズル、および薬液補給用の容器の洗浄作業時間は0.14時間で、ブームスプレーヤのタンク(500L)とノズル、軽トラックに載せた水補給用のタンク(300L)、ホースの洗浄作業時間の1時間に比べ、約7分の1でした。

中山間地域では、ほ場間に段差のあるほ場が多くみられます。機体が小さく、飛行による移動が可能なマルチコプターは、機体の長距離輸送も、隣接ほ場の移動でも移動時間を短縮できます。これは、作業するほ場の場所が分散していて、ほ場間を広域に移動する場合にも適した特徴といえます。

同一ほ場群での1日の作業時間の比較

マルチコプターとブームスプレーヤの作業時間は、それぞれの調査時のほ場群の面積や配置が異なるため、作業全体に要した時間を直接比較できません。このため、調査したマルチコプターによる防除作業の実績をもとに、ブームスプレーヤで作業したほ場群(20筆、総面積3.14ha)を対象に、マルチコプターで散布作業した場合を想定して、格納庫出発から格納庫に戻るまでの1日の作業時間を推定しました。

推定結果を図3に示します。ブームスプレーヤでの実作業時間6.72時間に対して、マルチコプターでは2.47時間と63%の短縮が見込まれます。このうちほ場作業時間は、ブームスプレーヤの3.55時間に対して、マルチコプ

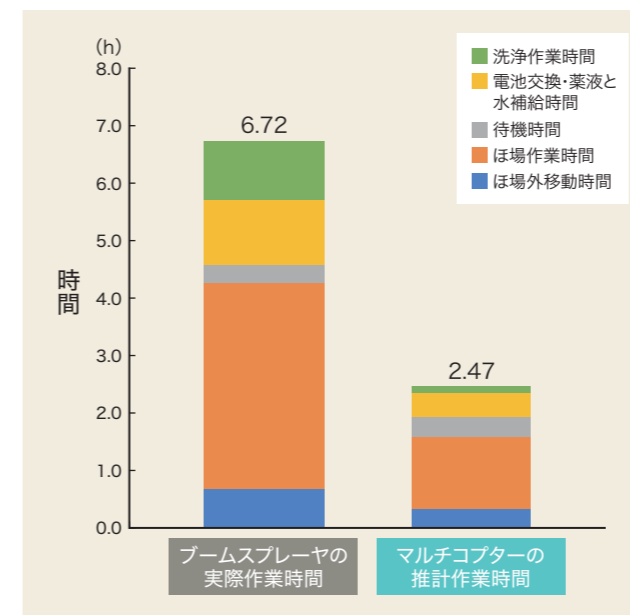


図3 ブームスプレーヤとマルチコプターの1日作業時間の比較

ターでは1.26時間と65%の短縮が見込まれます。組作業の人数を考慮した作業時間の合計は、ブームスプレーヤは2人で13.44人時、マルチコプターは3人で7.41人時となり、マルチコプターはブームスプレーヤに比べ45%の作業時間の削減が見込まれます。

また、ブームスプレーヤとマルチコプターの1日最大作業可能面積を試算した(表4)ところ、マルチコプターの1日最大作業可能面積は約10haで、ブームスプレーヤの3.7haと比べて約2.7倍となり、マルチコプターの利用によって同じ防除適期内の散布面積の拡大が期待できます。

表4 1日最大作業可能面積の試算

	マルチコプター	ブームスプレーヤ
面積(ha)	3.14	3.14
ほ場作業時間(h)	1.26	3.55
作業全体時間(h)	2.47	6.72
実作業率	0.51	0.53
1時間当たりほ場作業量(ha/h)	2.49	0.88
1日のほ場作業量(ha)	10.17	3.74

注1) ほ場作業量は機械1台についてのほ場作業時間当たりになる作業面積
 注2) 実作業率は作業の拘束時間に対する実際の作業時間(ほ場作業時間)の割合
 注3) 1日のほ場作業量=1時間当たりほ場作業量×1日の作業時間(8時間)×実作業率

おわりに

防除に関するマルチコプターの1ha当たりほ場作業時間は、ブームスプレーヤと比べ約1/3と短く、ほ場が小面積・不整形であっても作業能率の低下が少ないことを明らかにしました。隣接ほ場間の移動時間、長距離移動時の平均速度は、マルチコプターの方が速く、優位であることがわかりました。また、マルチコプターの1日の作業時間は組作業の人数を考慮してもブームスプレーヤより45%削減、マルチコプターの1日の最大作業可能面積はブームスプレーヤの2.7倍でした。これらのことから、中山間地域において、マルチコプターを用いた多筆分散ほ場の省力適期防除の実現が期待できます。

(西日本農業研究センター 営農生産体系研究領域)

付記: 本稿は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)」の支援を受けて実施した成果を含みます。

用語解説

※1 **ブームスプレーヤ** 畑でブーム式の散布部を展開し、液剤の農薬を散布する乗用型の機械。

参考文献

- 1) 農林水産省(2019) 平成30年度、平成28年度都道府県別無人マルチローターによる農薬等の空中散布の実施状況について。
http://www.maff.go.jp/j/syoutan/syokubo/gaicu/g_kouku_zigyo/ (参照 2020-2)
- 2) 農林水産省(2019) 農業用ドローンの普及に向けて(農業用ドローン普及計画)。
<http://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/pdf/hukyuukeikaku.pdf> (参照 2020-3)
- 3) Kawakita, et al. (2019) Evaluation of non-linear wheat development models and optimization methods for their parameter determination. Journal of Agricultural Meteorology, vol.75(2), 120-128.
- 4) 奥野林太郎(2019) 麦類赤かび病防除適期をマップ表示するMicrosoftExcel用マクロプログラム、農研機構職務作成プログラム、機構-M20。
<http://www.naro.affrc.go.jp/collab/program/laboratory/warc/131402.html> (参照 2020-2)
- 5) 孫要莉ら(2020) 中山間地域におけるマルチコプタによる防除作業の作業能率分析、農作業研究, vol.55(2). (印刷中)

TOPICS

スマート農業実証プロジェクトにおける ドローン利用事例

IJIMA Wataru 飯嶋 渡

ドローンは農薬などの散布または作物生育の把握／診断の省力化に有望な手法として注目されています。2019年度から開始された「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」および「スマート農業加速化実証プロジェクト」においても、施設園芸8課題を除いた61課題のうち、43課題でドローン活用の実証を進めています（2019年度末現在）。一つの課題で複数目的の実証を計画している事例が多く、年度当初の計画では、のべ86の実証が予定されていました（表1）。今回は、これら全体の概略について紹介します。

ドローンを利用した実証について、主に使用する機体の差異から、その目的を大きく散布と空撮に分けています。

散布目的では、水田作（中山間）体系での計画が多く、小区画・分散ほ場が多い中山間地域において省力・軽労化への大きな期待がうかがえます。これまでの動力噴霧機などと比較して作業負荷は大きく減少したと実感している事例が複数報告されています。一方、大規模ほ場においても、降雨の影響などで大型ブームスプレーヤがほ場に入れない条件下での適期防除を目的としている事例もあり、省力・軽労化だけに限らない用途が模索されています。

空撮目的では、作物の生育診断の事例が多く、そのほとんどがマルチスペクトルカメラを用いてNDVI※1を算出し、生育状態の見える化を行っています。一部では生育状態と併せて雑草や病害虫の発生を検出する試みも行われています。しかし、見える化された生育情報を追肥などの栽培管理にまで反映させている事例はまだ少なく、今後も検証が必要な事項の一つとなっています。その他では、ほ場の凹凸計測、畦畔形状計測、鳥獣害対策のための地形計測を試みており、いずれも空撮画像から地形データを3次元化するドローン測量の技術を用いています。ほ場の凹凸計測については、均平作業の要否を判断する事例が報告

されている一方で、目標とする精度が得られないとしている事例もあります。

散布目的の場合、機体が農業用に特化していることもあり、実際の作業体系に組み込んで評価をしている事例が多く見られますが、空撮目的では、画像の処理、解析を研究機関が担っている事例があり、その場合は未だ生産現場で使えるか否かを含めた検討段階にあります。一部の課題では画像処理や解析を簡易に行えるように開発を進めていますが、広く普及を図るためには生産者自らが道具として使えるようにしていく必要があります。

また、いずれの事例でも、大型、高機能、高額な機種が選定される傾向が強く、機械費を大きく押し上げる要因となっていると予想されることから、今後、経営面から導入効果の評価・解析を推進することが必要です。

（本部 企画戦略本部 スマート農業実証事業推進室）

用語解説

※1 NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指数)
近赤色光と赤色光の反射率から計算される数値で、値が大きいほど植生の量が多いまたは生育が良いと判断されます。



ドローン散布風景

散布用ドローン



表1 実証プロジェクトにおけるドローンの利用状況

	ドローン	利用状況								
		水田作 (大規模)	水田作 (中山間)	水田作 (輸出用米)	畑作	露地野菜	果樹	茶	畜産	計
散布	農薬	8	10	2	4	2	3			29
	肥料	1	6	3	2	3	1			16
空撮	生育診断	8	9	3	3	7	1		1	32
	病害虫		1		1			1		3
	その他	3	2			1				6
計		20	28	8	10	13	5	1	1	86

(コンソーシアム数)

TOPICS

「Society 5.0 農業・食品版」の実現を通じたSDGsへの取り組み

MURAKAMI Masaharu 村上 政治



農研機構は、農業・食品分野において科学技術イノベーションを創出し、政府の掲げる「Society 5.0」*1の農業・食品版の実現を通じた、農業・食品産業の成長産業化を目標としています。具体的には、生産性の向上、農家所得向上などの経済発展とともに、フードロスの削減、気候変動や自然災害への対応、健康長寿社会の実現などの社会的課題の解決を目指します。

現在、以下を重点課題と位置づけ、「Society 5.0 農業・食品版」の早期実現に向けて研究開発に取り組んでいます。

- 1 育種、生産、加工・流通にわたる全プロセスのスマート化の推進
- 2 スマートフードチェーンシステムの構築
- 3 バイオテクノロジーによる新素材・新機能の創出
- 4 ゼロエミッション型農業生産システムの構築
- 5 農業基盤技術（ジーンバンク、高度解析基盤、食の安全・安心、病害虫、動物衛生、防災・減災等）
- 6 先端基盤技術（人工知能、データ連携基盤、食品機能データ、IoT、ロボット等）

国際社会では、2015年の国連総会において「持続可能な開発のための2030アジェンダ」が決議され、2030年に達成を目指す17の目標（SDGs**2）が掲げられました。わが国の「SDGsアクションプラン2020」においても、科学技術イノベーション（STI）によるSDGsと連動する「Society 5.0」の推進が掲げられています。「Society 5.0 農業・食品版」の実現は、同時にSDGsの目標2「飢餓をゼロに」や、目標13「気候変動に具体的な対策を」、目標15「陸の豊かさを守ろう」などの達成に貢献します（図1）。

農研機構では職員のSDGsに対する意識醸成のため、国連の「10人委員会」のメンバーとしてSTI for SDGs（SDGsのための科学技術イノベーション）の推進を担っている中村道治氏（科学技術振興機構顧問）によるセミ

ナーを開催するとともに、SDGsへの取り組みを紹介したパンフレットを作成・配布してきました。社会への発信も強化し、農研機構の研究成果をSDGsへの貢献と関連付け「Society 5.0 農業・食品版の実現とSDGs」として2019年3月にウェブサイトで公開しました。また、アメリカ科学技術振興協会（AAAS）年次総会をはじめとした国内外のイベントやシンポジウムに参加し、農研機構のSDGsに対する取り組みを広く紹介してきました（図2）。

こうした活動の中、2019年11月には農研機構における「農業に起因する温室効果ガスの排出緩和と気候変動適応技術による食糧安定生産への取組」が、科学技術振興機構による第1回「STI for SDGs」アワードの優秀賞を受賞いたしました（図3）。今後も、役職員が一丸となって、SDGsと連動する「Society 5.0 農業・食品版」の早期実現に向けて研究開発を推進してまいります。

（本部 理事長室）

※現所属は中央農業研究センター 土壌肥料研究領域

用語解説

- ※1 **Society 5.0** 内閣府CSTIが第5期科学技術基本計画において提唱した社会です。フィジカル空間とサイバー空間を高度に融合させ高い価値を創造することにより、経済発展と社会的課題の解決を両立し、人間中心の社会の実現を目指しています。
- ※2 **SDGs** Sustainable Development Goals(持続可能な開発目標)の略で、2015年の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」にて記載された国際目標です。17のゴール・169のターゲットから構成され、地球上の「誰一人取り残さない(leave no one behind)」ことを誓っています。



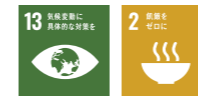
Society 5.0
農業・食品版の実現とSDGs
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/society5-sdgs/index.html>



水田由来CH₄削減技術

温室効果ガス(CH₄)の排出削減

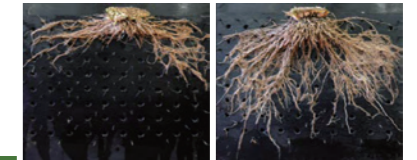
- 中干し(栽培途中の乾燥)を2週間から3週間に延長
- 30%のCH₄削減技術



節水・省資源型の稲作

深根性遺伝子を利用して少ない養水分に対応

- 深根性遺伝子(DRO1)を持つイネを育成



浅根性IR64 深根性DRO1



飛ばないナミテントウムシによる防除

天敵利用によるアブラムシの生物的防除

- 遺伝的に飛翔能力を欠くナミテントウを育成
- 長期間定着してアブラムシを捕食



アミノ酸バランス改善飼料

環境にやさしい養豚業

- 温室効果ガス(N₂O)発生抑制
- 排出中の窒素低減

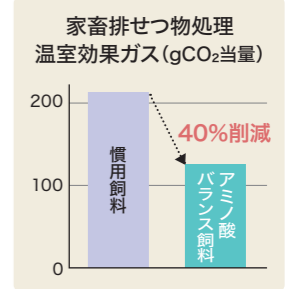


図1 SDGsに対応する農研機構の研究開発事例



図2 アメリカの学会で農研機構の取り組みを紹介 (AAAS Annual Meeting: 2019フシントン、2020シアトル)



図3 第1回「STI for SDGs」アワード 表彰式の様子

温故知新

>> 古きをたず(温)ねて新しきを知る



急激な進化を遂げるドローン技術に期待

OGAWA Shigeo 小川 茂男

農業用ドローンに関するリンク集

農林水産省HP

国土交通省HP

<http://www.maff.go.jp>

<http://www.mlit.go.jp>

農業用ドローンの普及に向けて



農業用ドローンの普及拡大に向けて



ドローンで使用可能な農業



無人航空機飛行マニュアル



大空を自在に飛ぶことができるラジコン飛行機、ラジコンヘリコプターは、農業分野では農薬散布用として広く用いられています。しかし、空中で静止(ホバリング)するなどの操作は難しく、多くの飛行訓練による熟練が必要です。操縦資格を取るためにスクールに通う必要があることや、機体が1,000万円からと高価でメンテナンス費用や保険料も年間150万円以上となることから、誰でも簡単に導入できないのが実情です。

一方で、当初軍事技術として開発されたドローン(無人航空機)は、1990年代の湾岸戦争などでは砲弾の弾着観測等も含めた偵察用として小規模に用いられていましたが、近年では偵察任務だけではなく攻撃任務にも使用されています。

その後、このドローン技術は民生用として公開・市販されるようになりました。十数年前は小型の機体で数分間の飛行がやっとの状況で、装置一式が数百万円と高額なため、農業者が気軽に購入して利用することはできませんでした。現在は、通信技術やGPSの発達、バッテリーの高性能化・軽量化、ソフトウェアの充実等により価格が急激に低下し、20万円程度でかなりの性能を備えたドローン一式を購入できる時代になりました。また、基本的

操作を学ぶだけで離発着、ホバリングなどが容易にできるという性能も持ち合わせています。農薬散布においても、専用のドローンの機体は約100万円からあり、ラジコンヘリコプターの1/10の費用で導入可能となっています。今後、ドローンはさらなる低価格、高性能化、より高い安全性の確保が進むと思われます。

ドローンの導入により、これまで難しかった空中からの撮影や観測、農薬散布といった作業が柔軟に行えるようになりまし。スマートフォンやタブレットで地図を見ながら飛行コースを簡単に設定して行う自動飛行、自動作業も技術的に可能となりました。ロボット工学で開発された3次元画像の構築など、この分野は現在も進歩を遂げており、AI技術、IoT、センサ技術等が加わることでスマート農業の展開に大きく寄与できると期待されます。とはいえ、風の影響で植物が揺れると3次元画像が得られない問題、そのほかにも農業現場での様々な問題や要望が山積しています。関係者の英知により、これらに応える技術の早期完成と現場への普及が進むことでしょう。

(農研機構 事業開発室)

Editor's Note

編集後記

今号は農研機構におけるドローン活用に関する研究状況の一端をご紹介します「ドローン」特集をお届けしました。近年、ドローンは、労働時間やコストの削減につながる利便性(小型、軽量、操作性(自律飛行))、低空・近接撮影による高解像度データ取得の容易性、また、人が接近困難な場所へのアクセス性などの特長から、社会の様々な分野で活用されはじめています。農林水産省でも、「農業用ドローンの普及拡大に向けた官民協議会」を設立し、普及を推進しています。

農研機構では、農地マップの作成、農作物の生育診断や病害発生箇所の検出、可変施肥や鳥除けなどの農作業におけるドローン活用に可能性を見出し、今後のスマート農業や精緻農業の加速化に貢献する技術として開発を進めています。

ドローンには、飛行の安全性、飛行時間が短い、風雨に弱い、重量物を運べないなどの課題があります。しかし、ドローンビジネスには世界中の企業が参入し、技術開発にしのぎを削っています。すでにエンジンとモーターの両方を搭載したハイブリッドドローンが長時間飛行を可能にするなど、これらの課題解決も時間の問題と思われる。

ところで、ドローンを使えばドラえもんのみみつ道具「タケコプター」も現実のものになるのではワクワクしている読者の方も多いかと思ひます。人の移動にはもう少し時間がかかりそうですが、荷物を運ぶドローンについては農業分野でも農薬散布ドローンが実用化されています。今後、農業の様々な場面でドローンの活躍を目にすることが日常になることと思ひます。本特集が、皆様のドローン活用のお役に立てれば幸いです。

(編集委員長)

農研機構技報

NARO Technical Report No.5

2020年6月1日発行

発行者/久間和生

発行所/農研機構 広報部広報戦略室(編集委員会事務局)

〒305-8517 茨城県つくば市観音台3-1-1

製作協力・印刷/株式会社アイワット

非売品

本誌研究内容に関するお問合せは

✉ www@naro.affrc.go.jp TEL 029-838-8988 (代表)

*本誌掲載の記事・写真・イラストの無断転載・複写を禁じます。

