

ドローンの農業分野での活用

信州大学農学部
農学生命科学科

渡邊 修

小型無人飛行体(Drone, Unmanned aerial vehicle)は、GPS やコンパス、高度計を組み合わせた自律飛行制御、バッテリーの小型化、カメラの小型化と高性能化などによって、災害現場や農林業分野で活用が進みつつある。ラジコンヘリは飛行操作自体を楽しむものに対して、ドローンはカメラによる空撮や物資の運搬など移動飛行体を用いて何らかの操作を行うことを特徴としている。これまで農業生産環境の観測は、衛星や航空機などの空撮画像を適切に処理することによって行われてきた。衛星画像は広域観測、多波長観測、過去の植生や土地利用の把握等に大きな成果を上げてきたが(秋山 2012)、例えば圃場内で作物と雑草を簡易に区分するような画像処理を行うには解像度の点で限度がある。LANDSAT などの地球観測衛星は観測頻度が月に2回程度で、雨天や曇天では画像が取得できず、観測に必要な時期の画像を得にくい点がある(秋山ら 2003)。航空機は最適な時期を選んで、流域レベルなど広域スケールの観測において安定して高い解像度の画像を得ることができるが、撮影業務の委託には多くのコストがかかり、大規模プロジェクトなどを組む必要がある。

近年急速に普及しつつあるドローンは、低コスト化と操作が容易な点から大学等の研究室や個人レベルで普及しつつあり、実験的に様々な空撮を行うことができる。研究におけるドローンの有用性は、ユーザーが観測時期を自

由に決定できること、低空(高度15~100m)撮影によって、地上分解能1~5cmの超高解像度画像を得ることが可能となっている。農業分野では、衛星が不得意な部分をドローンで補う使用法が現実的である。ドローンは圃場上空でカラスやハトが飛ぶ高度で自由な時期に高解像度の画像を得ることができることから、農業分野における様々な活用が期待されている。具体的には作物の生育状態、雑草の発生状態、病気による葉色の変化など、調査者が農道や畦、圃場内を歩いて観察していた情報収集を、ドローンを活用することで、これまで得ることができなかった視点で新たに評価できる可能性を持つ。ドローンの使用事例はまだ少ないことから、ここでは主に農業分

野における雑草群落検出の可能性について紹介する。また、ドローンで使われている技術があまりに急速に発展していることから、ユーザーとしてどのような危険性や問題点があるのかを整理する。

ドローンの撮影システムと飛行条件

圃場上空の任意の高度でカメラを直下視に固定して撮影できればどのような機体でも構わないが、ドローン(マルチコプター)として一般に普及しているものは、バッテリー駆動の4枚ローターを持つクアッドコプターである(図-1)。ローター対角軸のサイズは、DJI製のPhantom2で



図-1 DJI製の市販機体と専用通信機
左: Inspire1, 右: Phantom2vision+

35cm, Inspire1で60cmであるが、これより大きいサイズになると現場への機体の持ち運びに大きな労力がかかる。ローターが6枚もしくは8枚の機体はドローンに搭載できる重量（ペイロード）が大きく一眼レフカメラや特殊なセンサーなどを搭載できるが、バッテリー重量に加え機体全体の重量が大きくなるため、コスト面や墜落リスクからプロの撮影や特殊な観測場面に使用が限られる。ドローン（クアッドコプター）の飛行可能時間は、カメラ本体および姿勢制御を行うジンバルの重量、バッテリーサイズ、標高（空気密度）、風速など気象条件によって異なるが、市販の機体では約8分から15分程度である。飛行時間が10分程度では撮影のための時間が短いと感じることもあるが、操縦者の集中力やローターの負荷を考慮すると、1回のフライトで10～15分程度は妥当である。撮影範囲を広げドローンを長時間運用するときは、気象条件やローターの負荷を考慮しながら複数のバッテリーを使用する。現地でドローンを運用するとき、機体の挙動や緊急時の回避行動などを考慮すると、目視で確認できる範囲で実際にフライトする必要がある。専用通信機の電波は最大500m程度に到達し、遠隔操作が可能であるが、目視で確認できる範囲は飛行高度を含めおおむね300m以内である。

ドローンは加速度センサーとジャイロによる機体姿勢制御、GPSと高度計による位置制御が行われ、初心者で

も簡易にホバリングさせることができる。一定高度でホバリングできれば、カメラ撮影に集中でき、仮に飛行スキルが未熟なユーザーでも目的の地点や高度で撮影を行うことが可能である。しかし、後述するように機体の性能を過信しすぎるとアクシデントが生じることもある。実際の飛行で生じるアクシデントは、バッテリーの電圧低下と突風による制御不能、コンパスキャリブレーションのエラーによる制御姿勢の不安定化、GPS衛星のロス、2.4GHz帯特有の誤動作などである。小型のドローンは風の影響を受けやすく、強風条件下では姿勢制御のためにバッテリー消費が大きくなり、飛行可能時間が大きく減少する。バッテリーが低下した状態では、機体制御が不安定になり、電圧低下による自動帰還モードになると着陸のための機体制御が困難となる。また、突風で制御不能になった例は各地で多数報告されており、高性能GPSコンパスを搭載していても、突風を回避することは難しい。ドローンを飛行させる気象条件としては、無風もしくは微風で、基本的には風速6m/s以下で行う必要があるが、実際は3m/s程度までが無難である。また、操縦者と機体との通信は2.4GHzの電波を利用するが、この電波帯は無線LANなどに使用されており、都市部や住宅地で無線LANの電波が飛び交う環境では誤動作が引き起こされることもある。GPSコンパスを搭載した機体で、衛星の補足数が一定以上（おおむね6個以上）確保さ

れているケースでは、緊急時にホームポイント（ドローンを飛ばした地点）に自動帰還する機能があるが、自動帰還モードになると、直進的にホームポイントに戻ろうとするため、ターンポイントとホームポイントの間に障害物があると制御不能のまま衝突することもある。改正航空法（国土交通省2015）では飛行場周辺に加え、住宅密集地帯でのドローンの飛行が原則禁止されており、運用するときには注意が必要である。また、墜落時の事故等に対応する「産業用無人ヘリコプター総合保険」などの加入も考慮したほうがよい。

ドローンによる圃場の撮影

ドローンを利用した圃場撮影は小型カメラを利用するが、カメラの種類や性能は多岐にわたるため、ここではDJI製の一般的な機体に搭載されているカメラと画像について紹介する。Inspire1（静止画12.4M pixel, image size=4000×3000）を使用し高度50mから撮影すると、撮影範囲は画像1枚で約54.4a、解像度は約2.1cm/pixelである（図-2）。国内の平均的農地（約30a）を1筆撮影するには、高度50mから撮影した画像1枚でカバーできるが、複数の圃場を撮影するにはドローンを一定高度で移動させながら画像を取得する必要がある。このとき事前に地図画像上でフライトコースを設定し、空撮を行うポイ

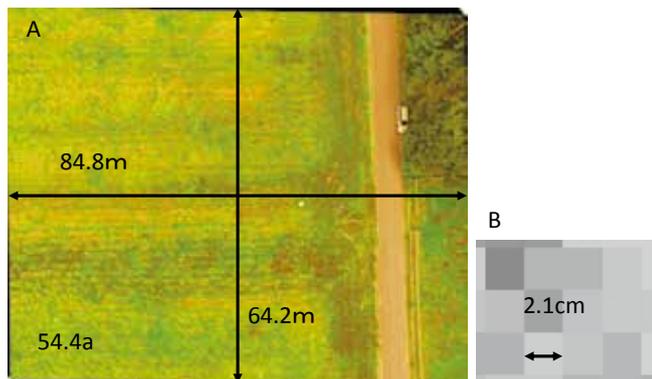


図-2 高度約 50 mから撮影した牧草地 (A)
 画像サイズは 4000×3000pixel, 1 枚の撮影範囲は約 54.4a で、解像度は約 2.1cm/pixel (B) である。

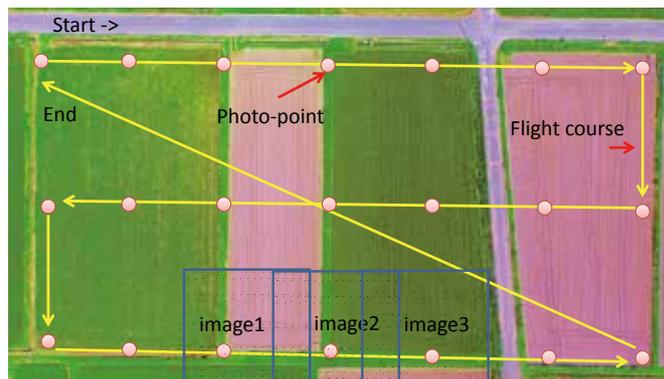


図-3 ドローンを利用した複数圃場の撮影事例
 飛行ルート、撮影高度は圃場の配置や範囲で任意に設定。実際に撮影するときには、画像 (image) のオーバーラップが大きくなるように撮影ポイントを設定することが重要。

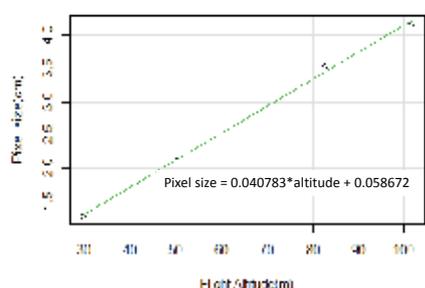


図-4 飛行高度 (Flight Altitude : m) と地上分解能 (Pixel size : cm) の関係式
 Inspire1 (12.4M pixel, image size=4000x3000) 付属のカメラを使用。

ント数と撮影高度、撮影範囲を設定する (図-3)。撮影範囲と撮影高度、バッテリー持続時間の関係については、ある程度の飛行・撮影経験が必要であり、広範囲を撮影するのであれば、複数のバッテリーを交換しながら実施する必要がある。使用するドローンと飛行制御アプリの中には、フライトコース、撮影ポイント、撮影高度をソフト上で事前に設定し、自動飛行できるものもある (井上ら 2014)。このとき、撮影された画像がある程度オーバーラップすることが重要で、後述するように複数の画像を貼り合わせる際には、画像のオーバーラップが大きいほど、貼りあわせの精度が高くなる。また、ドローンは上空で風の影響を受け、さらに移動しながら撮影するため、ピントが不鮮明な画像が多い。ピントのズレは画像解析に重大な影響を与えるため、できる限りシャッタースピードを

早くし、多くの画像を取得して良好な画像を選択することが必要である。

画像解像度 (地上分解能 : pixel size) は飛行高度 (altitude) によって直線的に変化し、今回使用した Inspire1 のカメラでは、 y を pixel size(cm), x を高度 altitude(m) とすると、 $y = 0.040783x + 0.058672$ で近似できる (図-4)。ただし、高度計の誤差と幾何補正の誤差を含むことから、ここで示した式はあくまで目安であり、実際に運用するときには、飛行高度と地上分解能の関係を手持ちの機材で確かめる必要がある。

複数画像のオルソ化と幾何補正

GPS コンパスを搭載し、機体制御とカメラ制御が一体化したシステムで撮影された画像は、撮影時の緯度経度座標と高度が自動で記録される。この情報は画像ファイルの EXIF (Exchangeable image file format) に記録されているため、位置情報を扱うアプリで利用可能である。空撮画像が数枚ならば、画像処理ソフトで目視と手作業による合成画像作成も可能であるが、数十から数百枚の画像を対象にするには、オーバーラップした画像のマッチングを自動で行う専用ソフトで空撮画像合成を行うことが現実的

である (図-5)。このような画像処理に適したソフトとして、自動オルソモザイクの機能を持つ Photoscan や Pix4DMapper などがある。オルソモザイク処理の特徴として、一般的には画像のオーバーラップが多いほど合成画像の品質が高くなる。ソフトの使用方法や特性については、内山ら (2014) の地形図作成方法などがあり、ここでは割愛するが、膨大な数の画像処理を行うには専用ソフトの活用は不可欠である。実際、ドローンを購入して撮影した後、画像処理をどのように行うかは、現実には大きな問題がある。画像処理を行って目的の作物・雑草群落を抽出し、面積等を測定するときには、ユーザー側で高精度に画像処理を行う必要がある。研究目的で高品質の画像を利用した解析を行うには、画像処理やリモートセンシングの専門家もしくは専門業者に委託して適切に画像処理を行う必要がある、この部分での敷居は高い。

写真測量の原理から、画像上のスケールと現実の距離を対応させるには、幾何補正とオルソ化 (正射投影) が必要である。空撮画像を撮影するとき、圃場区画や道路、水路、建築物など、他の地図画像から緯度経度が参照可能な地物を写しこんであれば、外部標定として GCP (Ground Control Point) ポイントを追加でき、高い精

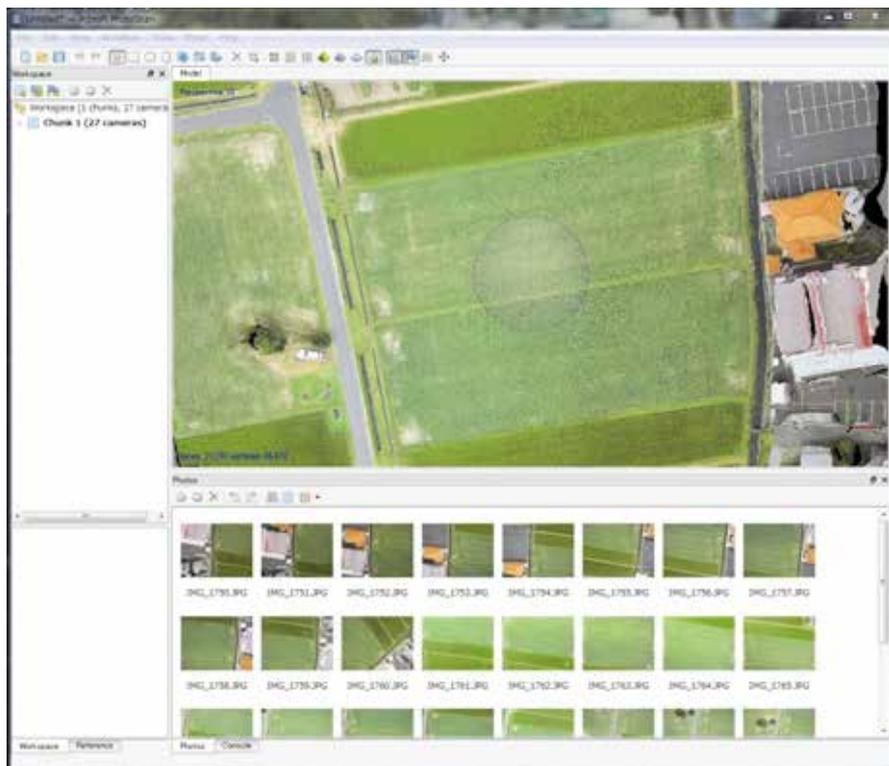


図-5 複数の空撮画像の自動オルソモザイク化

ここではオーバラップした画像をステレオマッチングし、1枚の合成画像を作成した (AGI社 Photoscan)。

度で幾何補正ができる。広大な牧草地や森林などでは、GPS マーカーや測量ポールなどを画像上で参照できるようにする必要があり、さらに地形に起伏がある場合には、標高値も取得する必要がある。空撮画像の簡易な幾何補正を行うソフトとしては、オープンソースの QGIS (Quantum GIS) のジオレファランサーなどを利用し、国土数値情報の道路要素や建物要素のレイヤーと対応しながら位置合わせすることも可能である。一般的な圃場では、道路等に面していることから、GCP ポイントを他の数値地図から得て幾何補正できる。

高精度の画像処理を行う必要がなければ、ドローンで高画質動画を取得する方法もある。Inspire1 は 4k 対応の動画を取得でき、ハイビジョンに匹敵する画質を得ることができる。農家が直接動画をみながら、必要とする情報を画像の中で確認することで、特殊な画像処理を行うことなく、作業の時期

やタイミングなどを判断するときの材料として使える。

圃場における雑草群落の観測事例

ここでは大豆播種後に発生する帰化アサガオ類のマルバルコウの空撮を行った事例を紹介する。大豆圃場にお

けるマルバルコウの一般的な防除体系として、初期のベンタゾン全面散布と中期のグルホシネート畦間処理が行われる。ここでは 2015 年 7 月 5 日に大豆播種、7 月 27 日にベンタゾンを散布し、その 2 日後と 11 日後に空撮を行った (図-6)。現地で発生している雑草はほぼマルバルコウのみで圃場の畦際に多く発生し、条間で分布している状態が把握できる。ベンタゾン散布後 11 日の画像で条間の植物体が消え、マルバルコウが枯死した状態が確認できた。今回、空撮を行った現地では 8 月上旬の異常高温と少雨のため大豆の生育が極端に悪く、8 月上旬の 10 日間で大豆の成長が確認できないほどであった。また、土壌の反射が非常に強く、空撮画像では芽生えや小型の個体をほとんど認識できなかった。空撮画像において土壌反射が雑草判別を妨げる報告があり (Torres-Sánchez *et al.* 2014, Thorp 2004)、高解像度画像



2015/07/29(ベンタゾン処理2日後)

2015/08/05(ベンタゾン処理11日後)

図-6 ドローンによるマルバルコウが発生したダイズ圃場の撮影
撮影高度は約 30m。

を利用して地上部の植生情報を確実に得ることが難しいケースがある。このような条件を回避するには、薄曇りの日照条件や土壌がある程度湿って黒色に近い状態で撮影することで、土壌からの反射を低く抑え、地表部分の植生群落を観測できる可能性がある

このように、気象や日射条件によっては、ドローンの高解像度画像を利用して地表のすべてが見えるわけではなく、仮に雑草の芽生えの情報を得ることができなければ、雑草管理において問題雑草の発生量を過小評価する危険性がある。一方、ある程度雑草群落がまとまって分布していれば、特殊な画像を処理することなしに、現地での遠観調査に準じた観測が可能になるかもしれない。農業生産の現場で、ドロー

ンを利用して雑草発生状態を把握するには、観測条件を考慮しながら、高解像度の画像を撮影するとともに、作物の播種ラインから外れた場所に生えている植物を検出することで、雑草の発生状態を把握することが期待される。圃場での観測条件や植生の検出精度に関しては、さらに研究を進める必要がある。

農業分野でのドローンの活用と今後

今回は作物群落における雑草発生の観測事例について紹介した。ドローンは上空を移動しながら地表面を撮影し、ステレオマッチングの原理によって三次元測量が可能であるため（内山

ら 2014, 井上ら 2014), 作物の生育状態, 例えば群落高やギャップの有無, 倒伏状態などを簡易に可視化できる(図-7, 渡邊ら 2015)。また, 植物の病害や湿害による葉色の変化は, RGB 画像のみで高精度に検出できるため, 病害発生の範囲や発生圃場の検出などに大きな強みを持つ。土壌の状態をモニタリングするとき, 基本的に水や湿った土壌は太陽光を吸収する特徴があり, 土壌水分含量が多い場所は RGB の反射値が相対的に低くなる。作付が行われていない時期の圃場を定期的に撮影し, 反射値から土壌水分量を推定するモデルを作成することで, 土壌水分含量推定マップを作成できる。

ドローンによる圃場の観測は, 特定



図-7 ドローンの空撮画像から作成した DSM (digital surface model) 画像
写真は大豆圃場を直下視した画像に三次元情報を与えて自動合成したもの(渡邊ら 2015)。