

## マルチローター型UAVの利活用技術

浦池 隆文, 多田 達実, 鈴木 慎一, 飯島 俊匡, 井川 久

## Utilization Technology of Multi-Rotor UAV

Takafumi URAIKE, Tatsumi TADA, Shinichi SUZUKI,  
Toshimasa IIJIMA, Hisashi IGAWA

### 抄 録

農業・林業分野や環境・災害調査等の分野では、衛星若しくは有人航空機や大型ラジコンヘリによる上空からの計測や作業が行われているが、より手軽で低コストな手法が求められている。近年はマルチローター型UAVの性能向上と低価格化が進み、各種センサを組み合わせることで様々な用途への応用が可能となってきた。UAVを活用することで上空からの調査を簡便に、適時に、低コストで実施することが可能になると考えられ、より精密な調査・管理を実現する新たな手法としての期待が大きい。

本研究では、H26年度に導入したUAVによる農地上空を主とした飛行試験（空撮）を実施することで、運用に関する技術蓄積を図るとともに、可視光及び近赤外光による画像データの取得と解析手法について検討を行った。空撮で得られる複数の画像から高解像度・広領域な画像を生成し、さらに画像解析による植生状況の把握や圃場地図の生成手法を確立した。また、農業分野のほか林業分野や水産業分野での活用についても検討したところ、有益な情報が得られることを確認した。

キーワード：UAV, 空撮, 可視光, 近赤外光

### 1. はじめに

近年はマルチローター型UAVの性能向上と低価格化とともに産業応用が進み、衛星や有人航空機を用いるよりも簡便に、精密な調査や管理を可能とする新たな手法としての期待が高まっている。

本研究では、H26年度に導入したUAVによる農地上空を主とした飛行試験（空撮）を実施することで運用に関する技術蓄積を図り、飛行性能や作業能力の確認を行った。また、空撮により得られる画像データ（可視光及び近赤外光）の解析方法について検討し、植生状況の把握や圃場地図の生成手法を確立するとともに、農業分野のほか林業分野や水産業分野への適用と有効性の検証を行った。

### 2. マルチローター型UAV保有機材

当場では、㈱自律制御システム研究所製ミニサーバイヤーMS-06LAを保有し、飛行試験を行っている。機体の操作は

事業名：経常研究

課題名：マルチローター型UAVの利活用技術に関する調査研究  
(H27～28年度)



図1 マルチローター型UAV一式

送信機による手動操縦が基本であるが、機体との通信機能を持つ地上局PCにより飛行経路を設定することで、機体に搭載されたGPSによる完全自律飛行を行うことが可能である。図1に保有機一式の外観を、表1に仕様を示す。

表1 マルチローター型UAV仕様

プロペラ	13インチ（ピッチ7）×6枚
全長	1010mm
高さ	360mm
バッテリー	LiPo 6s (22.2V) 12,000mAh
最大離陸重量	8kg（本体3kg）
ペイロード	5kg（推奨2kg）
飛行時間	約10分～30分（ペイロード等により変化）
飛行機能	マニュアル操縦、姿勢アシスト操縦 GPSアシスト操縦、GPSによる計画飛行

### 3. 保有機の飛行性能

#### 3.1 飛行経路誤差

GPSによる自律飛行を行った際の、目標経路に対する実際の飛行経路を図2、図3に示す。図2のWP1～WP8で示した点がチェックポイント（緯度、経度で指定）であり、チェックポイント間を順に結ぶ直線が目標飛行経路を示す。経路の長辺方向が約30m、短辺方向が約17.5mとなっている。このような経路を設定し、自律飛行を行った際の飛行経路を確認すると、最大でWP2到達時に1.1m程の誤差があった。図3には、WP1～WP8まで飛行した際の高度変化を示している。目標高度10mに対して常に高度が変化しながら飛行しているが、WP3～WP4への移動時に最大で1m程高い高度を飛行していた。なおここで示した実際の飛行経路は、地上局に蓄積される飛行ログを解析することで確認している。飛行経路は、機体に搭載されているGPSや慣性センサ、気圧高度計から演算されている。実際の飛行時は、GPS捕捉数や気流・気圧の変動の影響を受けるため、条件によってはより大きな誤差が発生する場合もあることを考慮すると、飛行経路誤差は最大で数mになるものと考えられる。

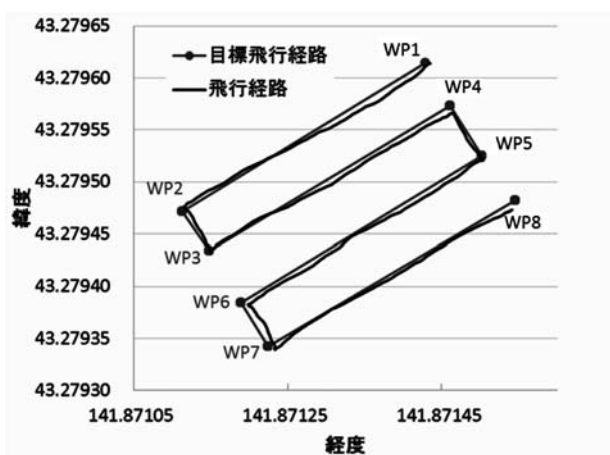


図2 目標経路と実際の飛行経路

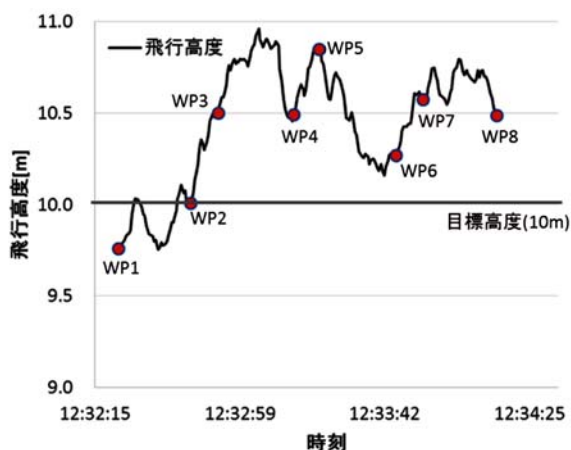


図3 飛行高度の変化

#### 3.2 飛行時間と作業能力

本機の飛行時間は仕様では約10分～30分となっているが、標準装備のバッテリーを使用して空撮を行う場合の作業能力に関しては、1回あたり約15分の飛行で10ha程の領域（飛行高度150mの場合）を撮影することが可能である。重量増加が許容できる場合はより容量の大きなバッテリーを使用することにより、約20分の飛行で20ha程の撮影が可能であることを確認している。

### 4. 空撮による画像の取得

飛行試験においては、可視画像取得用デジタルカメラ（リコー製GR）と近赤外画像取得用デジタルカメラ（BIZWORKS製Yubaflex）を搭載した状態で空撮を行っている。自律飛行による撮影条件設定の例を図4（とうもろこし圃場）に示す。図中の白線は飛行経路を表す。左下を起点として紙面上方向に前進した後右方向へ移動し、紙面下方向に後進する経路を繰り返しながら移動する、櫛状の経路を設定している。飛行している間は、カメラのインターバル撮影機能により、連続して機体直下の静止画を撮影する。飛行速度や撮影インターバルは、前後の撮影領域が80%程重なるように計算して設定する。航空法により規制される飛行高度の上限150mから空撮を行う場合、GRで記録される1枚あたりの撮像領域は、縦129m×横194m（地上分解能約0.05m）であるが、図4の例では飛行速度5.2m/s、撮影インターバル5秒で約240枚の撮影を行うことにより、縦460m×横400m（圃場面積16.5ha）の領域をカバーするように設定している。

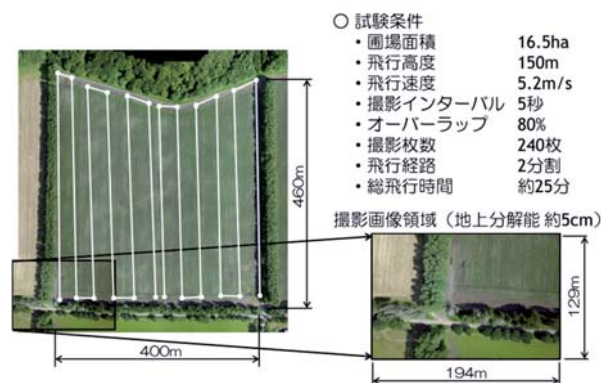


図4 飛行条件設定の例

### 5. 空撮画像の解析

空撮により得られる複数の画像にSfM (Structure from Motion, 複数の画像からカメラ位置の推定と撮影対象の三次元形状復元を行う手法) による処理を適用することで、広領域な空撮画像や三次元データを生成し、各種解析に利用している。SfMの詳細については割愛するが、処理には

Agisoft製PhotoScanを使用している。PhotoScanでは、複数枚の画像から、点群で表される三次元の地形データやポリゴン地形データの取得、オルソ画像の生成等が可能である。図4で示した圃場全体の画像は、PhotoScanを用いて240枚の画像を処理し、オルソ画像を得た結果である。

### 5.1 近赤外画像による生育状況の把握

可視画像（GRにより得られる画像）とあわせ、近赤外画像（Yubaflexにより得られる画像）を用いることにより、植生指数分布等の取得が可能である。ここで植生指数（NDVI, Normalized Difference Vegetation Index）とは植生の分布状況や植物の活性度を示す指標であり、同一画素に記録されている近赤外（NIR）と赤（R）の輝度値（撮影対象からの反射）を用いて、 $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$ により計算される。これは、光合成が活発に行われていると赤を多く吸収し（反射が少ない）近赤外を多く反射していることを利用したものである。植生指数は-1から1の値をとり、1に近いほど植物の活性が高いことを示す。可視画像と植生指数画像を、同一の圃場で時期を変えて取得した例（小麦圃場）を図5に示す。植生指数画像においては、黒色が植生の無い部分（土や道路等）を示し、灰色～白色となるにしたがって植物活性が高いことを示している。可視画像の緑色の濃淡から植物活性の度合いを直接的に判別することは困難であるが、植生指数画像を用いると圃場内での分布の確認等を行うことが可能であり、精密農業の実践において非常に有益な情報が得られる。

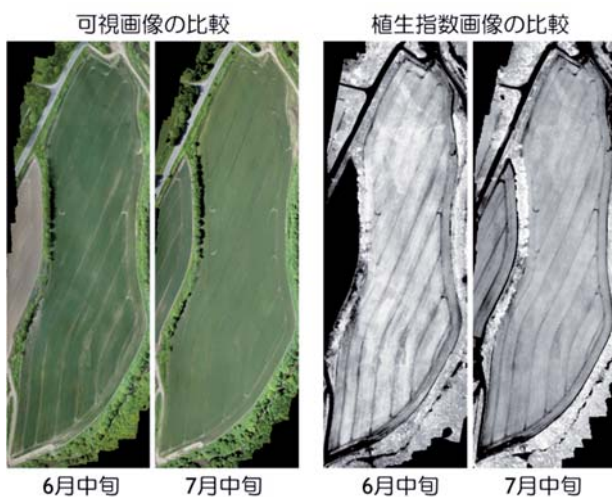


図5 可視画像と植生指数画像の比較

### 5.2 画像解析による圃場地図の生成

営農においてIT支援システム等を利用する場合、電子化された圃場（農地区画）地図が必要となるが、その入手は容易ではないため、当場ではこれまでに衛星画像や航空写真を用いた圃場地図の生成に取り組んできた。しかし、衛星画像

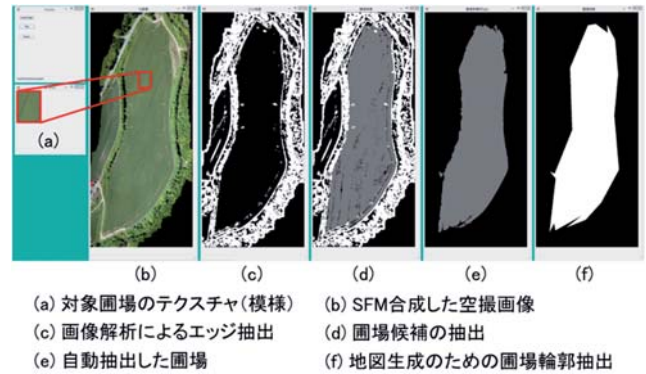


図6 画像解析による圃場地図の作成

や航空写真を任意の時期に低コストで入手することは困難であることから、UAVを利用して得られた空撮画像から画像解析により圃場を自動抽出する手法について検討した。

まず、前節までと同様にして広領域の空撮画像を生成する。次に圃場とその周辺域の画像特徴量に差があることを利用して、輝度及び色相のエッジ強度を閾値処理し圃場の境界候補とする。さらに単一の圃場は概ね様なテクスチャ（模様）を有していることを利用して、近い画像特徴量を持つ領域を選択的に拡大していき一筆の圃場とする。そして、その輪郭を抽出してベクター化し、空撮画像に紐付いた緯度・経度から座標データを付加することで、空撮画像から圃場地図を自動的に生成することが可能となった（図6）。このように、UAVを用いることで低コストに圃場地図が得られ、営農支援システム等で利用が可能である。

## 6. 林業・水産業分野への応用

農業分野のほか、林業分野や水産業分野への応用について検討を行った。図7、図8に林業分野での活用例を示す。図7は伐採林の空撮を行った例を示している。このような画像を定期的に得ることで伐採後の森林の回復や周辺環境への影響をモニタリングすることが容易となるほか、拡大図のように、台風により発生した倒木の状況等を詳細に把握することも可能である。また図8は、植栽林における幼木の生育状況

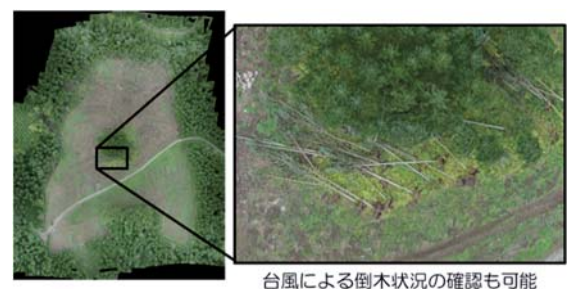


図7 伐採林の撮影例



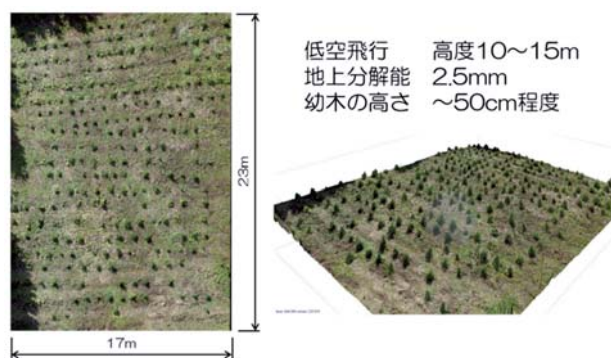


図8 植栽林の三次元化

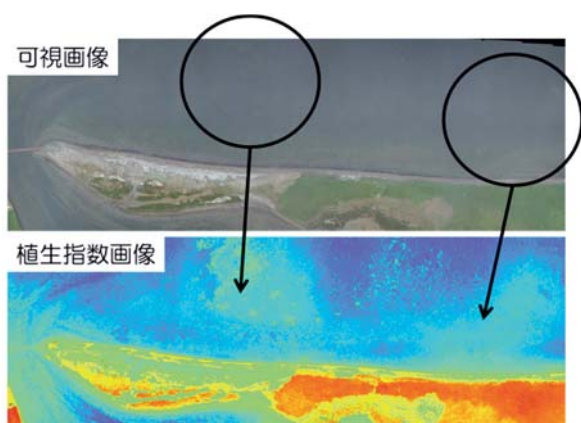


図9 水産業分野への適用

を、三次元点群データで示した例である。この例では低高度（10～15m）での空撮を行い、地上分解能約2.5mmでデータを取得している。これによれば幼木の大きさや地盤の状態を確認することが可能である。下草刈等多くの労力を要する育林作業において、現地状況の確認等に有効である。これらのように、踏査や人手による管理に多大な労力を要する林業分野においても、UAVによる空撮画像の活用は非常に有用なものとなる。

図9は、水産業分野への適用を試みた例である。沿岸部において可視画像では認識が困難な状態が、植生指数画像では強調されている。沿岸部浅海域において海草や藻類の分布を判別できる可能性があり、水産資源の調査や管理においても有効と考えられる。このような、水産業分野での積極的な利用についてはこれまであまり進んでいなかったものの、本研究を実施するなかで技術相談や具体的な要望が寄せられていることから、今後はより踏み込んだ検討を進めることとしている。

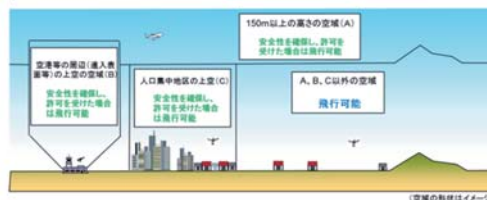
## 7. UAV運用の留意点

UAVの運用に関しては、2015年12月に航空法が改正され、飛行禁止区域や飛行の方法が明確に示された（図10）。これらによらず飛行を行う場合には国土交通省の許可・承認が必要となる。規制の対象となる飛行方法での試験を実施する場

■無人航空機  
・「人が乗ることができない飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの」 ※200g以上

### ■飛行禁止区域

- (A) 地表から150m以上の上空
- (B) 空港等の周辺上空
- (C) 人口集中地区（国勢調査において設定される統計上の地区）



### ■飛行させてはいけない方法



「無人航空機の飛行ルール」（国土交通省）

([http://www.mlit.go.jp/koku/koku\\_tk10\\_000003.html](http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html))

を加工して作成

図10 航空法による無人航空機の飛行方法

合は、事前検討を十分に行うことが非常に重要である。また、規制対象の有無にかかわらず、安全対策や飛行マニュアル等を作成し安全な運用を第一に考えなければならない。今後はますますUAVが活用される事例も増加すると考えられるが、事故を未然に防ぐ上で飛行前の動作確認や日常点検は必須であり、少しでも不安要素が認められた場合は飛行を中止する仕組みを準備し徹底することに留意する必要がある。

## 8. おわりに

可視画像や近赤外画像を用いたUAVによる上空からの調査は、従前の衛星画像や有人航空機を利用する方法と比べ、格段に低コストで手軽な手法であり、様々な分野での応用が期待される。今回例示したデジタルカメラを用いた空撮と解析のほか、近年は各種センサ類の小型化が進み、UAVへの搭載が容易になってきている。これまでに得られた知見をもとに、今後も継続して適用分野の拡大に向けた取り組みを進める。