

マルチスペクトルカメラ搭載垂直離着陸 (VTOL) 型 UAV を活用した 森林管理の効率化・高度化の試み

有限会社森山環境科学研究所

愛知森林管理事務所

森林技術指導官

一般職員 (森林ふれあい担当)

もりやま まこと
○森山 誠
ひおき よりあき
○日置 順昭
はにおか ちひろ
埴岡 千尋

要旨

段戸国有林において、マルチスペクトルカメラを搭載した垂直離着陸 (以下 VTOL) 型無人航空機 (以下 UAV) を用いた広域調査による森林管理の効率化とインターネット地理情報システム (以下 WebGIS) を用いた病虫等被害木早期発見を試みました。その結果、VTOL 型 UAV は広域を調査でき、マルチスペクトル画像から算出された正規化植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index, 以下 NDVI) を用いることで病木を早期発見することが出来ました。VTOL 型 UAV とマルチスペクトルカメラを活用することは森林管理の効率化・高度化につながるものと考えられます。

はじめに

愛知県の北東部に位置する段戸国有林 (図 1) は、愛知県を代表する原生林のひとつです。年中を通して、森林散策など多くの市民で賑わう観光スポットであるため、遊歩道沿いの病虫等被害木は、ハイカーにとって潜在的なリスクとなります。しかし、広大な原生林での病虫等被害木の把握には計り知れない調査人工が必要です。国有林では通常、森林官一人で広大な面積を管理しており、通常の森林の管理では、林道沿線以外は徒歩による巡視に頼らざるを得ないのが現状です。このため、台風等による森林被害や病虫等被害木の発見が遅れ、対応が遅れが生じることもあります。



図 1. 段戸裏谷原生林

1 課題

近年各地で回転翼型 UAV による森林管理の試みが行われており、被災箇所や森林蓄積の把握、赤外線カメラ搭載 UAV による夜間野生動物調査などが行われています。しかし、その調査範囲は、高コストな有人航空機には及びません。

UAV を活用することで、地上からの巡視に比べて多くの情報を取得できますが、広大な国有林では1度の飛行でより広い面積を調査する必要があります。回転翼型 UAV に比べ飛行効率の高い固定翼型 (飛行機型) UAV は、離着陸に広い空間を必要とするため森林内での活用が難しいものでした。また、植物の活性度を間接的に評価するマルチスペクトルカメラは小型化が進み、UAV へ搭載が可能となりました。こうした中、マルチスペクトルカメラを搭載可能な VTOL 型 UAV が国内でも販売されました。しかしながら、実務に近いレベルでマルチスペクトルカメラを利用した国内報告や VTOL 型 UAV を活用した報告はありません。このような現状と、広大な森林をより低コストで効率的かつ高精度に把握する高い技術が求められていることから、マルチスペクトルカメラを搭載した VTOL 型 UAV の定期的な飛行が、病虫等被害木などの早期発見に有効か検証をすることとしました。

2 実証方法

本実証では、次の作業工程を試みました(図2)。まず、マルチスペクトルカメラを搭載した VTOL 型 UAV で広域に調査飛行を行い、取得された画像から NDVI 画像を作成しました。この NDVI の値から活性が落ちていると思われる樹木について調査計画を立案し、地上調査により原因を確認しました。

得られた情報はインターネット上の WebGIS に統合し、組織間で共有しました。WebGIS の情報を基にさらなる飛行計画、地上調査計画を立案・実施し、異なる時期の NDVI を比較しました。

(1) 期間:

令和2年4月から11月の期間に、次の日程で実施できました(表1)。4月と6月に VTOL 型 UAV によるマルチスペクトルカメラでの撮影を行い、その情報をもとに6月から地上で調査を行っています。10月にはマルチスペクトルカメラによる撮影と高画質可視光カメラによる調査も行いました。地上調査は10月と11月にも行い、11月には新聞社の取材も受けています。

(2) 場所および範囲:

段戸裏谷原生林(総面積130ha)のうち47haを調査しました。

(3) 使用機材:



図3. VTOL 型 UAV WingtraOne



図4. マルチスペクトルカメラ Rededge-M

VTOL 型 UAV は Wingtra 社製 WingtraOne(図3)を使用しました。この UAV はスイス製で、比較的狭い場所から離着陸できる UAV です。写真(図3)の姿勢のまま垂直に離陸し、指定した高度で90度姿勢を変え、通常の飛行機のように水平に飛行します。着陸時には着陸地点上空で再び離陸した際の姿勢(図3)に戻り、ゆっくりと自動的に着陸をします。回転翼型 UAV のように、狭い林道から離着陸

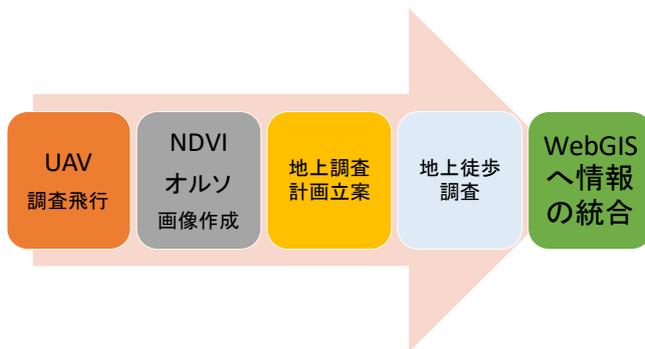


図2. 作業工程

表1. 実施した調査日程

時期	概要
4月	VTOL 飛行 (マルチスペクトル)
6月	VTOL 飛行 (マルチスペクトル) 地上調査・林内飛行 (回転翼)
8月	地上調査・林内飛行 (回転翼)
10月	VTOL 飛行 (マルチスペクトル・可視光) 地上調査
11月	地上調査

が可能でありながら、これまでの回転翼型 UAV に比べて 2.5 倍から 5 倍の面積を一度のフライトで調査可能です。地形データに従って一定の地上高を保ちながら自動飛行が可能のため、斜面への衝突リスクが低く、広範囲の森林調査において非常に有用な UAV です。

今回の実証では、必要に応じてカメラをマルチスペクトルカメラ（図 4）と可視光カメラ（Sony 製 4200 万画素デジタルカメラ）に変更して飛行しました。

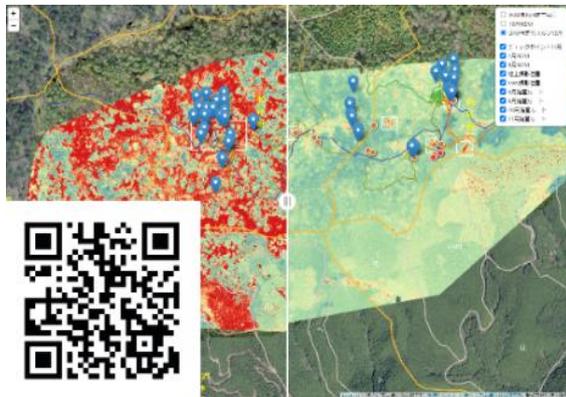


図 5. WebGIS 画面と QR コード



図 6. VTOL 自動飛行経路

森林内の地上調査においては、飛行可能な空間があれば回転翼型 UAV (DJI 製 Phantom 4 Pro V2. 0) を用いて樹木の状態を調査しました。

(4) ソフトウェア:

写真画像の地図化（オルソ画像作成）には OpenDroneMap を使用し、NDVI 算出には QGIS を用いました。WebGIS の構築には Leaflet を用いました。WebGIS には NDVI 画像だけでなく、地上調査の際に撮影した写真、調査ルート等を掲載しました（図 5）。さらに、異なる時期の NDVI 画像を同時に表示し、スライダーで切り替えることで NDVI の変化を視覚的にわかりやすく表示しました。

(5) VTOL 型 UAV の飛行方法:

国土地理院の基盤地図情報数値標高モデルを用いて対地高度 140m~149m(地上分解:10cm/px)程度となるよう飛行経路を作成しました（図 6）。この調査範囲 47ha を 1 飛行約 20 分間で飛行しました。マルチスペクトルカメラでの撮影の際は飛行前後毎に専用ボードを用いて照度キャリブレーションを行い、サイドラップ 70%、オーバーラップ 70% の設定で撮影を行いました。国土交通省航空局の許可承認取得の上、UAV を飛行させました。

3 実証結果

4 月と 6 月の NDVI 画像を比較し、異常を検出できた樹木が 5 箇所以上ありました。今回の試みでは、樹木の形状が明確となっている箇所を調査地 1~5 として、地上調査計画を立案しました（図 7）。

地上調査の際は、GPS 端末を活用することで地上から対象となる樹木の位置を確認しました。



図 7. 対象とした調査地

(1) 調査地1番～3番:

6月と8月の地上調査において、NDVIの低下の要因と思われる異常が判明しました。それらは主にナラ枯れ、マツ枯れなどが原因と考えられました(図8)。これらの枯れ木はいずれも歩道から離れた場所にあり、腐食もかなり進行していることから、これまでの目視による調査では発見できなかったものでした。

(2) 調査地5:

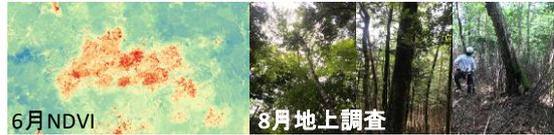
4月、6月のNDVI画像の比較から地上調査を計画し、6月の地上調査でマツ枯れを確認出来ました。しかし、10月になってもUAV可視光写真では異常が明確ではありませんでした。このことから可視光写真では判別しにくい樹木の異常を、マルチスペクトルカメラを用いることで発見できた事例だと考えられます(図9)。

(3) 調査地4:

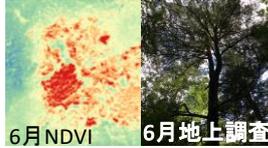
この樹木はコメツガでした。4月にNDVIの異常はなく、6月にNDVIが急激に低下し、10月には再び活性を取り戻しています(図10)。ところが、6月、10月の地上調査では病虫害など異常はみられませんでしたが。継続的な観察を続けていた結果、11月の地上調査において、不朽等による大きな枯れ枝を確認し、枝枯れが起きていることが判明しました(図11)。落ちていた大きな枝には菌類と思われる付着物が多数あったため、参考として枯れ枝内部の腐朽菌の同定を行い、中部大学長谷川准教授によりトリコデルマ属の菌類であると同定されました。

この樹木のNDVIの変化は、6月の高温多湿な環境から菌類が活発となり、ストレスを与えていた可能性もあります。10月の気温が低下した時期に菌類の活動が低下し、一時的に活性が戻ったとも考えられます。このように枯れ木の原因までの特定はできませんが、マルチスペクトルカメラを搭載したVTOL型UAVによって、目視のみでは確認できない異常を早期に察知することが出来ました。地上からの巡視よりも効率的に森林の状態を把握できると期待できます。

調査地1:ナラ枯れ、根元の折れなどを確認



調査地2:ツガ 枝枯れ



調査地3:立ち枯れ

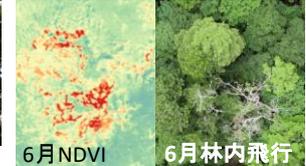


図8. 調査地1～3



図9. 調査地5

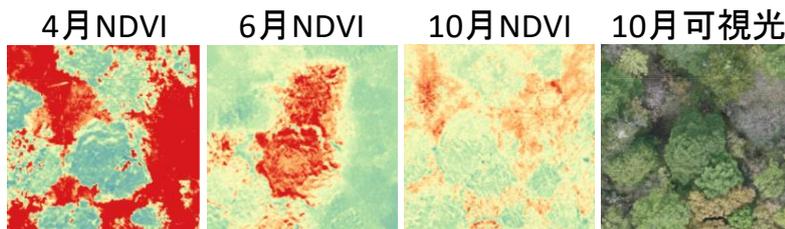


図10. 調査地4



図11. 枝内部の腐朽菌

3 今後の課題と解決策

今回の試みにより以下の課題が明確となり、その解決策を検討しました。

(1) 調査飛行における安全面

多くの UAV は、悪天候では飛行できないか正確なデータの取得が困難となります。UAV を操作する者は飛行するリスクと得られる利益を十分検討し、慎重な飛行の判断が必要となります。そのためには運用機体の限界性能を理解している必要があり、十分な経験と安全教育が必要です。

林内や山間部において小型 UAV では猛禽類等に襲われる可能性があり、比較的大型の UAV を用いる必要があります。今回用いた WingtraOne は翼長が 1.2m 程度で大型猛禽類に匹敵する大きさです。このため猛禽類から警戒されることはありましたが、襲われることはありませんでした。

UAV をより遠くに飛行させるためには、電波環境が重要となります。山間部では地形や樹木などの影響で電波環境が悪いため、電波の伝達距離を延ばすため操縦士の位置を標高の高い場所に設定するなど工夫が必要でした。さらに、UAV の送受信アンテナを高い位置に設置するなどの対策を行いました。また、今回の試みでは標高の高い場所から低い場所へ飛行させたことで、操縦用電波を途切れさせないように飛行させることが出来ました。

WingtraOne は地形データに沿った自動飛行が可能ですが、起伏のある地形での衝突リスクは地形データの精度に大きく依存します。このため、国土地理院の地形データを UAV 飛行経路設計ソフトウェアに取り込んで飛行することで衝突リスクを低減することが出来ました。

(2) 地上調査の精度と効率化

地上調査による対象樹木の位置特定が難しい場合があり、高精度の GPS 端末を用いる必要がありました。さらに実施した地上調査経路を WebGIS に掲載することで対象樹木を正確に調査出来たか評価することが出来ました。

(3) 撮影時期の選択

今回の調査では 4 月、6 月と経時的な撮影を行いました。地域や樹種によって展葉の時期が異なるため撮影時期は十分検討する必要があると考えられます。今回のように、経時的な撮影を行うことで NDVI の変化から病木の早期発見につながると考えられました。今回の試みでは 6 月に平均気温 20℃ 程度となり、多湿な環境から菌類の活動が活発となったため調査地 4 で大きな変化が見られたのだと考えられました。このように、対象とする病虫害に合わせた撮影時期の選択が必要であると考えられます。

(4) 画像の判読

樹木の状態を NDVI 画像のみで判断することは非常に難しく、その判読には森林管理者の十分な知識と経験が必要であると考えられます。今回は、地図化された NDVI 画像だけでなく、赤色波長や近赤外線波長の元画像も確認することで調査対象とする樹木の選定を行いました。

(5) コスト面

数百 ha を超えるような広範囲の調査では、しばしば有人航空機を用いることも検討されています。面積あたりのコストは広範囲になるほど有人航空機を用いた調査が優れていると考えられます。しかし、今回の調査のような 10cm/px という高解像度での調査を実施する場合は、有人航空機も低空で飛

行する必要があります。山間部での低空飛行は有人航空機の墜落という人命に直結する大きなリスクを伴うため単純なコスト比較は難しいと思われます。本実証のように VTOL 型 UAV を用いることで、広範囲の安全な調査を頻回に行えると考えられます。

おわりに

マルチスペクトルカメラは、目視ではわからない樹木の状態をとらえ、ストレスを受けている樹木をスクリーニングできることがわかりました。さらに、年間に複数回撮影することで、NDVI の経時的な変化から早期に樹木の異常を察知できることが判りました。特に調査地 4 については、経時的な撮影と WebGIS による変化の可視化が異常の早期発見に貢献したと考えられます。また、VTOL 型 UAV は狭い林道で離着陸し、起伏のある森林を 20 分間で 47ha も調査出来たことから、従来の回転翼型 UAV より広範囲を調査できることが判りました。

これらのことから、マルチスペクトルカメラを搭載した VTOL 型 UAV を森林調査に積極的に活用することで病虫等被害木を早期発見することができ、効率的に被害拡大を防ぐことができると期待できます。特に段戸裏谷原生林のようなハイカーの多い場所では、病木等の枝が落下するリスクを把握することで、未然に対処できることからより安全な散策や森林とのふれあいを可能にすると考えられます。

マルチスペクトルカメラ搭載 VTOL 型 UAV と WebGIS 等の最新技術の活用は、森林管理のあり方を大きく変える可能性があります。そこには操縦士による信頼性の高い飛行・撮影技術と森林管理者・管理計画立案者の精度の良い画像判読能力が必要であると考えられます。今後の技術の進歩に伴いますます高度な人材育成が重要になると考えられます。

限られた人員で広大な面積や様々な地形条件にある森林を適切に管理していくことは、国有林のみならず民有林も含めた日本の森林全般の課題です。今回の試みを他の森林でも運用することで、森林管理の効率化、高度化がさらに進むことを期待します。

最後に、菌類の同定にご協力いただきました、中部大学応用生物学部環境生物科学科 長谷川浩一先生、ご取材いただきました中日新聞社 新城通信局様に心よりお礼申し上げます。