令和 元 年度

リモートセンシング技術を活用した収穫調査 の効率化手法検討委託事業

UAV 立木調査マニュアル (簡易画像解析法)

令和2年3月

林野庁

目 次

はじめに	• 1
1,予備調査	• 2
実査命令と対象林小班の選定	• 2
収穫区域の設定・・・・・・	• 2
UAV 撮影飛行計画の作成	• 3
機体のメンテナンス・・・・・	17
現地確認(試験飛行と標識立木選定)	18
2,区域表示	20
区域標柱の設置	20
標識立木の確認とマーカーの設置	20
区域測量	20
3, UAV 撮影飛行	20
UAV 撮影飛行計画の再確認	20
UAV 撮影飛行の実行	20
撮影成果の確認	25
4, オルソ画像上の立木判読と標本調査区の設定	26
オルソ画像の作成・・・・・	26
オルソ画像から座標を抽出	39
測量成果の整理と GIS データ化	46
区域内の立木頂点の抽出	55
密度分布図の作成・調整	59
標本調査区の設定	74
5. 標本調査	80
標本調査区の位置情報整理・・・・・	80
標本調査の実施・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	80
集計と材積算出······	81
0, 0, (1)	81
復命	81

はじめに

国有林野事業においては、利用期に達した人工林を伐採し、将来的に均衡のとれた齢級 構成に誘導するとともに、国産材の安定的・効率的な供給体制の構築に貢献するため、立 木販売を中心に収穫量を増加させることとしており、立木価格の低迷や限られたマンパワ ーに対応しつつ、収穫調査を効率的かつ適切に実施していくことが重要な課題となってい る。

このような中、「リモートセンシング技術を活用した収穫調査の効率化手法検討委託事業」において、UAVで取得したオルソ画像を用いた簡易な立木調査方法(以下、「簡易画像解析法」(仮称)という。)を検討し、本調査法の合理性、精度の検証等を行うとともに、一連の作業工程について整理し、業務の効率化が期待できる実用的な調査法であることが示唆されたところである。

本マニュアルは、この委託調査の成果を元に、UAV及びGIS等のICT技術を活用して「簡 易画像解析法」による収穫調査を実施するための具体的手順を各工程毎に整理したもので ある。

マニュアルでは、国有林の現場職員のみならず、広く収穫調査実務者が実際に本調査法 を自ら実践することを前提に、UAVによる写真撮影やGISソフトの使用における具体的手順 や留意すべきポイントをわかりやすく解説した。

また、本調査法の理論や根拠等については、「リモートセンシング技術を活用した収穫 調査の効率化手法検討委託事業」報告書に整理されており、報告書及び本マニュアルによ り理論から実務までをカバーし、現場に応じて様々な応用が図られるような構成となって いる。

森林はその立地条件により様々な態様を示す。本マニュアルに基づく収穫調査を実施す る場合にあっては、それぞれの森林の状況に応じ、現場における様々な課題や実情に合っ た工夫、応用を図り、適合性を勘案しつつ効率的かつ適切な調査が行われるよう留意され たい。 <u>1,予備調査</u>



選定した林小班において、国有林 GIS(森林基本図や航空写真等)を利用し、搬出系統 や除地等を考慮した収穫区域を設定する。



UAV撮影飛行計画の作成

森林をフィールドとした UAV の飛行は、試験的な飛行であっても目視外になるケース が多い。また、オルソ化画像取得を目的とした飛行においては、自動飛行プログラムによ るものとなるので、目視外が前提となる。それらの飛行には、地方航空局長の承認が必要 となる。

(国土交通省:<u>http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html</u>

無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルールより抜粋)

(1) 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域について 以下の(A)~(C)の空垣のように、焼空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空垣や、落下した場合に地上の人などに危害を及ぼすおそれが高い空垣において、無人航空機を保行させる場合 には、あらかじめ、<u>国土交通大臣の許可を受ける必要があります。</u> 150m以上の高さの空域(B) -安全性を確保し、許可を 受けた場合は飛行可能 空港等の周辺の上空の 空域(A) 人口集中地区の上空(C) A、B、C以外の空域 安全性を確保し、許 安全性を確保し、許 可を受けた場合は 飛行可能 可を受けた場合は 飛行可能 飛行可能 + + 書 100 (空域の形状はイメージ)

具体的な許可が必要となる空域など詳細についてはこちら

※令和元年9月18日付けで、一部の空港(<u>新千歳空港、成田国際空港、東京国際空港、中部国際空港、</u>関西国際空港、大阪国際空港、福岡空港、那覇空 港)では、新たに進入表面若しくは転移表面の下の空域又は空港の敷地の上空の空域が飛行禁止空域となります。

※ 各空港等の周辺に設定されている進入表面等の大まかな位置や人口集中地区の範囲を記載した地図については、地理院地図においても確認可能です。

```
〇 国土地理院 [<u>地理院地図</u>]
```

```
(2) 無人航空機の飛行の方法
```

保行きせる場所に関わらず、無人募空機を保行きせる場合には、以下のルールを守っていただく必要があります。 ※令和元年9月18日付けで[1]~[4]のルールが追加されます。

- [1] アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと
- [2] 飛行前確認を行うこと
- [3] 航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること
- [4] 他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと
- [5] 日中(日出から日没まで)に飛行させること
- [6] 目視(直接肉眼による)範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- [7] 人(第三者)又は物件(第三者の建物、自動車など)との間に30m以上の距離を保って飛行させること
- [8] 祭礼、縁日など多数の人が集まる催しの上空で飛行させないこと
- [9] 爆発物など危険物を輸送しないこと
- [10] 無人航空機から物を投下しないこと

```
<遵守事項となる飛行の方法>
```



上記[5]~[10]のルールによらずに無人範空機を飛行させようとする場合には、あらかじめ、<u>地方航空局長の承認を受ける必要があります。</u>





UAV は、一般に普及し始めてからまだ日が浅く、様々なルールが日々追加・更新されている。管轄する国土交通省の情報は、適時最新情報を確認し続ける必要がある。

必要な許認可については、国土交通省が運営する「ドローン情報基盤システム (DIPS) <u>https://www.dips.mlit.go.jp/portal/</u>」より申請を行うことが可能である。



通常、飛行開始予定日の 10 開庁日前までに申請を行う必要があるが、業務として行う 場合は一定期間の包括的な申請が可能であるので、期間に相当の余裕をもって申請を行う ことが重要である。なお、この申請はあくまで航空法に則った『飛行』の許認可であり、 離発着に使う土地・施設等の所有・管理者への許認可は別途行う必要性があることに注意 すること。

また、2020 年 7 月以降は、飛行の許認可と合わせて、実際に飛行する際は「ドローン 情報基盤システム(飛行情報共有機能)https://www.fiss.mlit.go.jp/top」への登録が完全義 務化されることになっており、こちらへの登録も忘れずに行う必要がある。

以下、アプリケーション及び機器等については、以下の使用を前提に記述する。

UAV:DJI 社製 Phantom 4 Pro	
タブレット:iPad mini	
アプリケーション:DJI GS Pro	(自動飛行プログラム作成・実行アプリケーション)

撮影飛行計画は、「DJI GS Pro」を利用して作成する。アプリケーションの基本的な画 面構成は以下の通りである。



①機体/送信機の接続

機体と送信機間の現在の接続状態を表示する。

②フライトモード

現在の機体の飛行モードを表示する。

③ GNSS の信号強度

現在の GNSS の信号強度と接続中の衛星数を表示する。

④送信機の信号強度

送信機の信号強度を表示する。

⑤カメラモデル

使用されているカメラモデルとビデオダウンリンクの強度を表示する。

⑥バッテリレベルインジケータ

DJI インテリジェントフライトバッテリを使用している場合、残りの飛行時間を動的に 表示する。赤色のゾーンは非常に低いバッテリレベルを表す。

⑦機体のバッテリ残量

DJI インテリジェントフライトバッテリを使用している場合、現在のバッテリ残量とバ ッテリ電圧を表示する。他のバッテリを使用している場合は、バッテリ電圧を表示する。

⑧ iPad バッテリ残量

iPad のバッテリ残量を表示する。

⑨一般設定

コンパスキャリブレーション、スティックモード、測定ユニットの設定、使用条件を設 定する。ヘルプをタップするとアプリケーションまたはフライトコントローラのバージョ ン、使用方法を表示する。

⑩計画飛行準備/計画飛行一時停止/計画飛行再開/計画飛行終了

·計画飛行準備:

パラメータの設定後、タップするとチェックリストに入る。

·計画飛行一時停止:

飛行計画の実行中にタップすると一時停止する。詳細なアクションメニューが表示さ れる。

·計画飛行再開:

飛行計画の実行を一時停止した後、バッテリの交換等を行いタップする。飛行計画の 実行再開や別の操作を実行するためのメニューが表示される。

·計画飛行終了:

飛行計画の実行を終了する。

①回転ロック

地図の回転のロックとロック解除。ロック中は iPad の回転に追従せず、北が一番上に 表示される。ロックを解除すると地図の表示が iPad の回転に追従する。

⑩地図モード

タップすると、標準地図、衛星地図、またはハイブリットマップに切り替わる。

13ロケーション

iPad の位置を中心に地図を配置する。

⑭新規ミッション

ミッションタイプとウェイポイントの設定方法を選択し新しい飛行計画を作成する。

15ミッションリスト

保存された飛行計画全てがリスト表示される。

保存した飛行計画をコピーまたは削除する場合は、リスト内の対象となる飛行計画をタップしたまま左にスライドする。オプションが選択可能となるので、オプションを選択する。

H31:02:17)			
18 14:42	0	コピー	削除

リストの右側にある矢印をタップすると、リストを折りたたんだり、展開されたりする。

16計画飛行の編集

リスト内の編集したい飛行計画を選択し、「編集」をタップする。選択した飛行計画の 飛行区域やパラメータの編集が可能となる。

⑪スケール:

地図の縮尺を表示する。

18戻る:

タップするとメイン画面に戻る。

💄 jff09a				• 🖈	\geq
個人スペース	ドローン	フライトログ			
^{жсанд} 11 н 40 мім	型香	名前	飛行時間	飛行距離	
литала 116,907 м		-	-	-	
願入済み機能 +					
使用句 Free 熱料ライセンスでは、最大10億ミッション をクラウドと同期できます					
ミッションリスト					



まずはミッションリスト上の「新規ミッション」をタップする。

新規ミッション選択画面が表示されるので、「計測撮影・領域モード」→「地図上指定」 の順にタップする。



🛞 接続されていません 🕅 🌺 🕺 📩 🔘 カメラ接続なし T A N/A 100% ••• \$ 2D C ٢ 11 D 地図にタップし、飛行領域を作成して ください 入用行連度 ¥ N/A KM/H 5 1 0 < A N/A 100% (d) 🚮 **{**63 🏶 2D 🧲 (ミッション 43 ポイントの数 ✓ 飛行経路長さ 580 M 105点 日コースの政 L 积行領域面積 0.53 HA フライン . . . 基本設定 詳細設定 カメラモデル Phantom 4 Pro Camera > ♥ カメラ方向 コースと平行 〉 + 72 M ◎ 撮影モード ホバリング撮影 〉 + 73 8 P ◎ 飛行経路生成モード スキャンモード > 入泉行速度 3.6 KM/H 工用行两页 B2.4 M ☑ 解像度 1.4 GM/PX パラメータリスト 建度 0.000000 ~

ミッション設定画面が表示されるので、地図上の飛行予定地周辺をタップする。タップ した場所に四角い領域が表示され、画面右側にパラメータリストが表示される。

パラメータリスト右上の「ペン」のマークをタップすると、キーボードが表示されるの で、管理しやすい名前を入力することを推奨する。

N/A KM/H

細度

0.000000

< >>

V

領域の隅に表示されている「〇」をタップしたまま任意の方向にスライドすると、区域 の大きさ・形状を変更することができる。また、「〇」同士の間にある「+」部分を同じ ようにタップしたまま任意の方向にスライドすると、区域の点を増やすことができる。



これら、区域の点について、事前に座標(緯度経度)が判明している場合は、変更した い点をタップした後、パラメータリスト下部から直接入力することができる。またこのと き、「ゴミ箱」のマークをタップすれば削除も可能である。





次に、設定した区域に対して、どのような飛行・撮影を行っていくのかをパラメータリ ストの「基本設定」「詳細設定」を変更し、調整していく。各項目の概要は以下の通りで ある。

	基本設定	詳細設定
	◎ カメラモデル ① Ph	aantom 4 Pro Camera 📏
	▼ カメラ方向 ②	コースと平行 〉
	◎ 撮影モード ③	等時間間隔で撮影 >
【基本設定】	🖻 飛行経路生成モード 4	スキャンモード 〉
	▶ 飛行速度 5.0 KM/H 5	● 撮影間隔 4.0 SEC 6
		☑ 解像度 2.7 CM/PX
	緯度 0.000000	~
	経度 0.000000	$\langle \bullet \rangle$
	<u>له</u>	V v

①カメラモデル:機体と接続されると、アプリケーションが自動的に対応するカメラを選 択する。

②カメラ方向:経路に沿って飛行するときのカメラの向きを選択する。

コースと並行:

カメラはコースと並行になる。

コースと垂直:

カメラはコースと垂直になる。

進行方向に沿う:

UAV の飛行とともにカメラの方向も変化する。

③撮影モード:撮影方法を選択する。

ホバリング撮影:

機体が各ポイントでホバリング(空中停止)しながら撮影する。写真の撮影精度が向 上する代わりに、飛行速度の変更で調整は可能であるが飛行時間が長くなる傾向がある。 また、撮影地点が全てウェイポイント(飛行経路の変化点)扱いとなる。アプリケーシ ョンの有料追加プラン購入を行わない場合、ウェイポイント数の上限が厳しくあまり広 い面積の撮影は行えないので注意が必要である。

等時間間隔/等距離間隔で撮影:

一定の時間・距離毎に撮影しながら飛行するモード。撮影時に機体が移動しながらの 撮影となるため、露出やシャッタースピード等の調整が推奨される。撮影間隔が 0.1 秒 (SEC)単位で調整可能であり、飛行速度は撮影間隔とその他の設定から自動で計算さ れる。撮影間隔を短くすれば飛行時間の短縮が可能となるが、microSD カードへの書き 込みが間に合わない等のエラー原因となりやすいため、ある程度の秒数を設定する必要 があるので注意を要する。

④飛行経路生成モード:スキャンモードまたは区域内モードを選択する。

スキャンモード:

ラインをひとつずつスキャンして飛行経路を生成する。 区域が凹多角形の場合、コースが区域の境界を越えることがある。

区域内モード:

生成される飛行経路の全ての部分が区域内になる。

区域が凸多角形の場合、飛行経路は、スキャンモードと同じ飛行経路となる。

区域が凹多角形の場合、精度を上げるために飛行経路を最適化するため、飛行経路が 交差する場合がある。

⑤飛行速度:飛行速度を設定する。

スライダーを左右に動かして設定する。細かい設定を行う場合は、数値の上をタップし 「+」か「-」をタップして設定する。

【「DJI GS Pro」最新バージョンは細かい設定を行う場合は直接数値を入力 以下も同じ】 ※撮影モードを「ホバリング撮影」にした場合のみ設定が可能である。「等時間間隔」または、「等距離間隔」にした場合は、自動的に計算されるので設定できない。

⑥撮影間隔:シャッターの間隔を設定する。

設定は、数値の上をタップし「+」か「-」をタップする。 エラーメッセージが表示された場合は、画面の指示に従い設定を調整する。

※撮影モードを「等時間間隔」または、「等距離間隔」を選択した場合に、設定が可能 となる。

⑦飛行高度

5~500mの範囲で設定する。

設定は、スライダーを左右にスライドさせる。細かい設定を行う場合は、数値の上をタ ップし「+」か「-」をタップする。

エラーメッセージが表示された場合は、画面の指示に従い設定を調整する。

※設定が 150m 以上の飛行は、飛行許可申請が必要となる。飛行許可を申請していない場合は、150m 以内で設定すること。

※設定が 150m 以内であっても、設定飛行区域がホームポイントよりも低い場合、設定した飛行高度にその高低差を加算した高度が実際の飛行高度となるので、ホームポイントの 設定には注意する。

※逆に、設定飛行区域がホームポイントよりも高い場合、設定した高度にその高低差を減 算した高度が実際の飛行高度となるので、飛行区域内の樹木など障害物がある場合は、そ の高さを考慮し設定する。

	基本設定	詳細設定
【詳細設定】	飛行経路上の画像オバーラッフ	·≖ ①94%
	飛行経路間の画像オバーラッフ	摩 ② 70 %
	ロースアングル 3	139 °
	<u>ل</u> حرق الح	0.0 M
		-90.0 °
	🏁 ミッション完了時動作	ホバリング >
	緯度 0.000000	
	経度 0.000000	

①飛行経路上の画像オーバーラップ率

同一経路に沿って撮影される連続画像のオーバーラップ率を設定する。10~99%の範囲 で設定し、スライダーを左右にスライドさせる。細かい設定を行う場合は、数値の上をタ ップし「+」か「-」をタップする。

②飛行経路間の画像オーバーラップ率

サイドラップ率とも表現される項目でもある。並列する経路上の連続画像のオーバーラ ップ率を設定する。10~99%の範囲で設定し、スライダーを左右にスライドさせる。細か い設定を行う場合は、数値の上をタップし「+」か「-」をタップする。

※国土交通省の推奨基準はオーバーラップ率80%、サイドラップ率60%である。しかし、 森林を対象とする場合は、地形変化が大きいため、オルソ画像作成のみを目的としていて も、それ以上に設定する場合もあり要検討項目のひとつである。 ③コースアングル:飛行予定区域に対する飛行経路の角度を設定する。

東が 0° で、反時計回りのときは正の値、時計回りのときは負の値になる。0~360° の 範囲で設定する。

設定は、スライダーを左右にスライドする。細かい設定を行う場合は、数値の上をタッ プし「+」か「-」をタップする。

④マージン:飛行区域を制御するためにエリアマージンを設定する。

飛行経路生成モードの設定内容によって設定範囲が変わる。

飛行経路生成モードが「スキャンモード」の場合は、-30 ~+30m の範囲で設定する。 飛行経路生成モードが「区域内モード」の場合は、-30 ~ 0m の範囲で設定する。

設定は、スライダーを左右にスライドする。細かい設定を行う場合は、数値の上をタッ プし「+」か「-」をタップする。

※より良いオルソ画像を得るためには、対象となる区域の外側もある程度含んだ飛行が必要となる(UAVの GNSS 自体が数 m 程度の誤差を発生させる。また、元々撮影区域外縁部は中心部と比べて写真が減るため歪みやすい)。そのため、そもそもの撮影区域をある程度広くとるのも勿論であるが、このマージン機能を使えば 30m 程度までは一律に設定することができる。

⑤ジンバルピッチ:ジンバルピッチ角を設定する。

ピッチ角は、-90~0°の範囲で設定する。下向きは-90°、前方は0°で表す。

設定は、スライダーを左右にスライドする。細かい設定を行う場合は、数値の上をタッ プし「+」か「-」をタップする。

⑥ミッション完了時動作:ミッション完了後の機体のアクションを設定する。

自動帰還:

最後のウェイポイントから、自動でホームポイントまで戻り着陸する。選択するとリ ターン時の飛行高度の設定画面が表示されるので、20~150mの範囲で設定する。

ホバリング:

最後のウェイポイントで、ホバリングする。操縦者が機体をコントロールすることが 可能となる。

自動着陸:

最後のウェイポイントで、自動で着陸し停止する。着陸した機体を着陸地点まで行って回収する必要がある。

※森林においては、樹木などたくさんの障害物があるので、「ホバリング」設定を推奨する。

パラメータ(基本設定/詳細設定)の設定が完了したら、飛行計画の設定結果を確認し、 画面左上の「保存」をタップし設定を保存する。