

空港に近接する福岡演習林におけるドローン飛行の 高さ制限の可視化

村松, 優子
九州大学農学部附属演習林

楠本, 聞太郎
九州大学大学院農学研究院環境農学部門森林環境科学講座

<https://doi.org/10.15017/6782173>

出版情報 : 九州大学農学部演習林報告. 104, pp.1-6, 2023-03-30. 九州大学農学部附属演習林
バージョン :
権利関係 :

空港に近接する福岡演習林におけるドローン飛行の高さ制限の可視化

村松優子^{1*}, 楠本間太郎²

近年, 森林科学分野における無人航空機 (通称ドローン) の活用事例は増えており, 研究, 教育に加えて, 森林管理業務への応用も期待されている。合法で安全, かつ円滑なドローン調査を実施するためには, 整備が進む関連法を認知し, 飛行規則について十分に把握しておくことが重要である。特に, 九州大学農学部附属演習林福岡演習林は, 福岡空港の制限表面内に位置することに加えて, 山地であるために飛行高度の制限が複雑である。本論文では, 福岡空港の円錐表面の制限高と, 福岡演習林内の地盤の標高データを用いて, 福岡演習林内の飛行制限高度分布を可視化した。福岡演習林の大部分で, 飛行制限高度が地盤の標高よりも低くなっており, ドローンの飛行には航空法に則った手続きが必要になる。制限区域での飛行を行うための手続きとその注意点について, 2022年9月時点での情報をまとめた。ただし, ドローンの飛行規則は, 今後も法改正によりその内容や規制対象が変更されることが予想されるため, 常に最新の情報を確認する必要がある。

キーワード: 空撮, 航空法, 制限表面, 福岡空港, 無人航空機

In this decade, unmanned aerial vehicles (or drones) have become a popular tool in forest science, and the expectation is growing in its application to forest management, as well as scientific research and education. To conduct drone surveys lawfully, safely, and smoothly, it is essential to be familiar with the up-to-date laws and regulations and the existing flight restrictions in target locations. Kasuya Research Forest, Kyushu University, is located within the obstacle limitation surface of Fukuoka Airport, and the restriction of flight altitude is complicated because of the mountainous topography. In this paper, we visualized the spatial distribution of the restriction of flight altitude (limitation altitude) in Kasuya Research Forest using the obstacle limitation surface of Fukuoka Airport and the digital elevation model. The resulting "limitation altitude" raster showed that in most of the Kasuya Research Forest, the altitude limit is lower than the ground elevation, indicating that drone flights require official permission based on the Aviation Law. We also summarized the procedures with some precautions for flights in the restricted areas based on the available information so far (September 2022). Note that the relevant laws and regulations could be updated in the future, so it is necessary to collect the latest information constantly.

Key words: Aerial Shoot, aviation law, Unmanned Aerial Vehicles (UAV), obstacle limitation surface, Fukuoka Airport

1. はじめに

無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle; 通称ドローン) の普及に伴い, 森林科学分野でも様々な利用方法が検討・実践されるようになった (Torresan *et al.* 2017)。具体的な活用事例としては, 森林の健全度診断 (Dell *et al.* 2019), 森林構造・バイオマスの推定 (Messinger *et al.* 2016; Lin *et al.* 2018), 災害の特定やアセスメント (Hsieh *et al.* 2016), 動植物の生態調査などがある (Fujita *et al.* 2014; Gonçalves *et al.* 2016)。九州大学演習林の森林管理業務においても, モニタリングや巡視業務への応用が見込まれており, ドローンの空撮によるデジタルデータの蓄積と活用は今後ますます重要になってくるだろう。

ドローンによる観測を安全に実施するには, 調査対象地での飛行に関する法的制限・規則を十分に理解しておく必

要がある。日本でのドローンの飛行においては, 第一に航空法に従う必要があり, 現行の航空法に則った飛行ルール (国土交通省: 無人航空機の飛行ルール, http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html, 2022) の確認は不可欠である。2022年9月時点の飛行ルールにおいて, 飛行禁止空域 (地表又は水面から 150 m 以上の上空, 空港等の周辺空域, 人口集中地区の上空, 緊急用務空域) で飛行させる場合や, 目視外飛行といった規定の方法以外で飛行させる場合は, 国土交通大臣の許可・承認が必要となり, 規定に違反した場合は 50 万円以下の罰金が科される可能性がある。2022年6月20日より, その規制対象は重量 100g 以上の機体となっている。航空法のほかにも, 機体の重さや大きさにかかわらず飛行を禁止する区域を定めている小型無人機等飛行禁止法, 都道府県や市町村による自治体条例など,

Yuko Muramatsu, Buntarou Kusumoto.: Visualization of the altitudinal limit on drone flights in Kasuya Research Forest near Fukuoka Airport

* 責任著者 (Corresponding author): Email. muramatsu.yuko.115@m.kyushu-u.ac.jp 〒 811-2415 福岡県糟屋郡篠栗町津波黒 394

1 九州大学農学部附属演習林

University Forest, School of Agriculture, Kyushu University

2 九州大学大学院農学研究環境農学部門森林環境科学講座

Division of Forest Environmental Science, Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University

飛行場所や飛行方法に応じて関係する法律もあわせて確認する必要がある。

九州大学農学部附属演習林福岡演習林（以下、福岡演習林）は、航空法に基づく2022年9月時点の飛行ルールにおいて、ドローンの飛行が制限される空港等の周辺空域の範囲内に該当する。福岡演習林が含まれるのは、福岡空港の制限表面のうち円錐表面といわれる区域であり、空港からの距離に応じたすり鉢状の高さ制限がある。その制限高から地表面の標高を差し引いた値が実際に飛行可能な対地高度となる。このため、演習林内でも場所や標高により飛行可能な高度は複雑に異なってくる。つまり、円錐表面の制限高、飛行地点の標高、飛行可能な対地高度を明確に区別して認識しておく必要がある。例えば、九州大学の規定（「九州大学構内における無人航空機の飛行に関する規程」平成28年度九大規程第17号；九州大学2021）における別記様式では、福岡演習林の飛行高度として「140 m 以上は飛行不可」とされている。これは、福岡演習林事務所地点における円錐表面の制限高であり、福岡演習林の任意の地点で実際に飛行可能な対地高度ではない。実際に飛行可能な対地高度は、対象地点における円錐表面の制限高と地盤の標高の差分になり、場所によってその対地高度は大きく異なる。なお、九州大学規定の140 m という数値は誤解を招きかねないため、改訂手続きが進められている（2022年9月時点）。このような福岡演習林特有の飛行制限の実態は、福岡演習林の管理者およびドローン飛行を計画・実施する者の間で確実に認識・情報共有しておく必要がある。

福岡空港の制限表面の範囲を確認する方法として、地理院地図（<https://maps.gsi.go.jp/>）において、航空局の提供する制限区域レイヤを表示する方法が推奨されている（国土交通省：http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000041.html；福岡国際空港株式会社：<http://www.fukuoka-airport.jp/uploads/2022/03/drone-2.pdf>）。ドローンの飛行禁止区域を表示するアプリ等も複数存在するが、すべての制限表面に対応していない場合もあるので注意が必要である。制限表面における制限高を確認するツールとして、福岡空港はウェブ検索システム（福岡空港高さ制限回答システム）を提供している（福岡空港 <http://www.fukuoka-airport.jp/regulation/heightlimit.html>）。このシステムでは、地図上でクリックした地点の制限高を調べることが可能である。しかし、実際に飛行可能な対地高度を求めるには、表示された制限高と地盤の標高の差分を計算する必要がある。このため、福岡空港高さ制限回答システムは、あるまとまった範囲（例：福岡演習林）内の対地高度の分布を調べるには不向きである。

本論文では、福岡演習林におけるドローン調査の円滑かつ安全な実施を支援するために、福岡演習林における飛行制限高度の地理分布を可視化した。具体的には、福岡空港の円錐表面の制限高と、福岡演習林内の地盤の標高データを用いて、飛行制限高度のラスターデータを作成した。それによって、特別な許可を得ること無く飛行できる範囲と、その制限高度を明らかにした。また、制限区域でのドロー

ン調査に向けて、必要な手続きと注意点をまとめた。

2. 方法

2.1 空港周辺での飛行制限の基本的な考え方

空港周辺においては、航空機が安全に離着陸するために空港周辺の一定の空間を障害物が無い状態にしておく必要がある。このため、航空法において、高さを制限する制限表面が設定されている（国土交通省大阪航空局：<http://www.cab.mlit.go.jp/wcab/measure/restriction.html>）。制限表面は、進入表面、水平表面、転移表面、延長進入表面、円錐表面、外側水平表面に区別される。進入表面は、滑走路の位置する着陸帯の短辺に接続する、上方へ50分の1の勾配を持った平面である。水平表面は、空港の標点の垂直上方45 mの点を含む水平面のうち、この点を中心として半径4,000 mで描いた円周で囲まれた部分である。転移表面は、水平面に対する勾配が着陸帯の外側上方へ7分の1の平面でその末端が水平表面との接線になる部分である。延長進入表面は、進入表面（台形型）を外側に12,000 m延長した部分を指す。円錐表面は、水平表面の外縁に接続し、かつ、水平面に対し外側上方へ50分の1の勾配を有する円錐面で表される。空港の円錐表面は、空港の標点を中心として半径16,500 mの円周で囲まれる範囲のうち、航空機の安全な離着陸に必要な部分として指定される。外側水平表面は、空港標点を中心として描かれる半径24,000 mの円周で囲まれる範囲のうち、航空機の離陸及び着陸の安全を確保するために必要な部分として定義される。

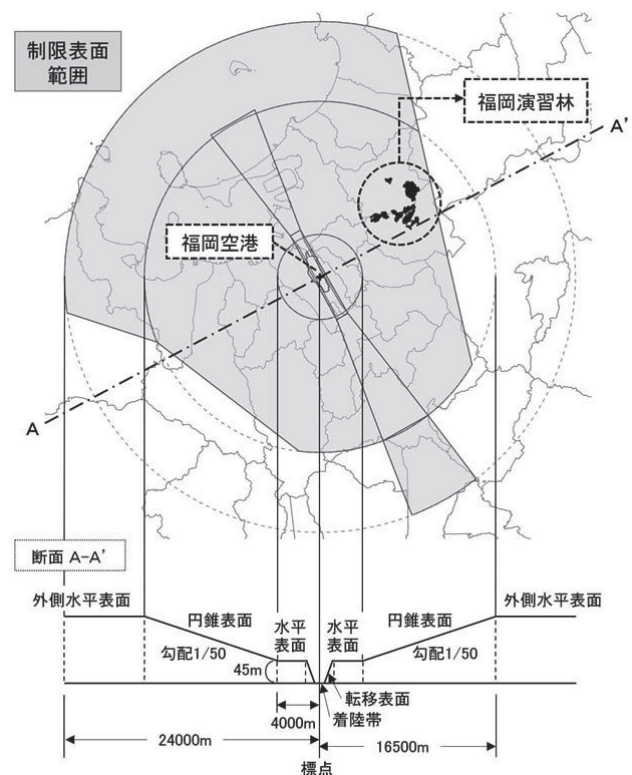


図1 福岡空港周辺の制限表面の範囲と福岡演習林の位置関係

2.2 福岡演習林の立地条件

本研究では、福岡演習林全域（福岡県粕屋郡篠栗町および久山町、面積 464ha）を対象とする。福岡演習林の事務所（北緯 33.6384 度，東経 130.5182 度）は、福岡空港の標点（北緯 33.5844 度，東経 130.4517 度，標高 9.1 m）から北東におよそ 8.6 km に位置している。福岡演習林の最低および最大標高は、それぞれ 30 m と 553 m である。福岡演習林は、その全域が福岡空港に設定された円錐表面の範囲に該当する（図 1）。

2.3 飛行制限高度ラスターの作成

福岡演習林と福岡空港の位置関係、および福岡演習林

内の数値標高モデル（Digital Elevation Model ; DEM）に基づき、地理情報システム（Geographic Information System; GIS）上で、飛行制限高度のラスターデータを作成した。具体的には、福岡空港の制限表面（円錐表面）の高度をラスター化し、それと DEM の差分を計算することで、飛行制限高度のラスターデータ（以下、飛行制限高度ラスター）を作成した。DEM データには、国土地理院の基盤地図情報 5 m メッシュ（航空レーザ測量データ）を用いた（基盤地図情報 http://fgd.gsi.go.jp/download/ref_dem.html）。なお、池・湖沼部分の標高データは、国土地理院の数値地図（<http://www.gsi.go.jp/kibanjoho/kibanjoho40027.html>）を用いて補正した。GIS 解析は ESRI 社の ArcGISPro (ver. 3.0) を用いて行った。

飛行制限高度ラスターの作成手順の詳細は図 2 に示した。詳細は以下の通りである。

手順 1 : 初めに、円錐表面の基準点となる福岡空港の標点にポイントを作成した。標点の位置情報は、国土交通省の国土数値情報（<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>）の空港データ（令和 3 年度）から取得した。

手順 2 : 福岡空港の標点を中心として、半径 4,000 m（水平表面の外周）と半径 16,500 m（円錐表面の外周）の円形ポリゴンを作成した。

手順 3 : 作成した円形ポリゴンの境界上に、100 m 間隔でポイントを作成した。ここでの間隔の取り方は任意であるが、間隔を 50 m まで高解像度化しても、後の解析にはほとんど影響が見られなかったため、100 m 間隔を採用した。

手順 4 : 水平表面（4,000 m）および円錐表面（16,500 m）の外周上のポイントの属性に、それぞれの制限高度の数値を入力した。水平表面内での制限高度は、基準となる空港の標点プラス 45 m である。福岡空港の標点の標高は 9.1 m であるため、 $9.1\text{ m} + 45\text{ m} = 54.1\text{ m}$ となる（以降、54 m とする）。円錐表面における制限高度は、水平表面外周（4,000 m）から円錐表面外周（16,500 m）にかけて 50 分の 1 の勾配で高くなるため、 54 m （水平表面の制限高） + $12,500\text{ m}$ （水平表面の外縁から円錐表面の外縁までの距離） * 0.02 （1/50 の勾配） = 304 m となる。

手順 5 : ポイントデータの三次元情報（X, Y, Z 値）に対して TIN（Triangulated Irregular Network : 不規則三角形網）モデルを作成した。TIN モデルとは、三次元上の点を結んで三角形を生成し、地形や地物を三角形の集合で表現するモデルである（国土地理院 2019）。GIS 上では、3D GIS データの一つ（サーフェスデータ）として扱われる（ESRI ジャパン : 3D GIS データ, <http://www.esri.com/gis-guide/gis-datamodel/3d-gis-data/>）。

手順 6 : TIN モデルを、DEM の解像度に合わせて $5\text{ m} \times$

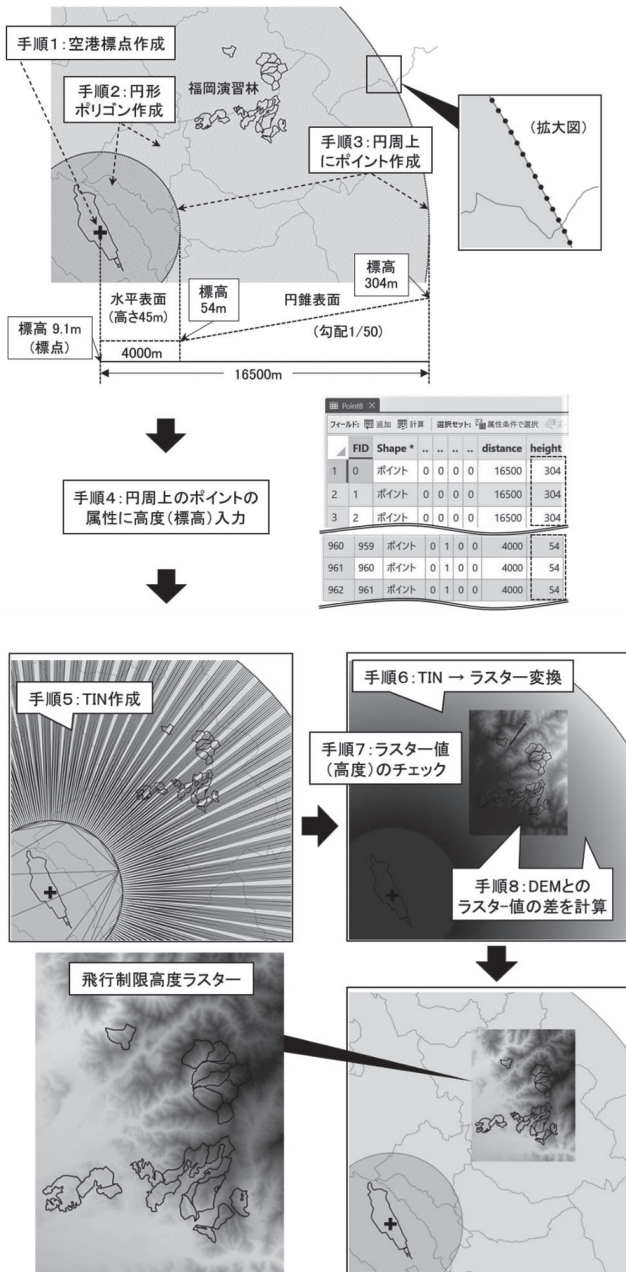


図 2 飛行制限高度ラスターの作成手順

5 m 解像度のラスターデータに変換し、制限表面ラスターを作成した。

手順7：制限高度が正しく生成されていることを確認するために、任意のポイントを選択し、作成した制限表面ラスターの値を、福岡空港高さ制限回答システム (<https://secure.kix-ap.ne.jp/fukuoka-airport/>) と比較した。

手順8：制限表面ラスターと DEM とのラスター間の値の差を求めることで、飛行制限高度ラスターを作成した。

3. 結果と考察

福岡演習林内の飛行制限高度の分布を図3に示した。飛行制限高度は 0 m 以下から約 120 m まで、場所によって大きく異なった。事務所のある構内では、飛行制限高度は 60 m から 80 m の場所が多かった。山地においては、飛行制限高度 0 m 以下の場所が大半を占めており、60 m 以上の

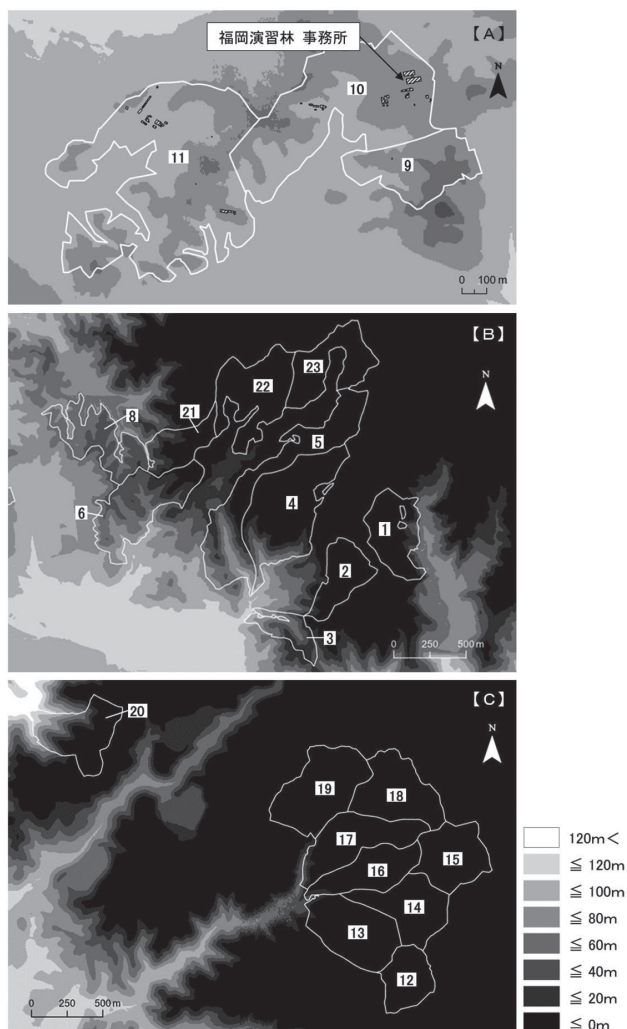


図3 福岡演習林内の飛行制限高度地図：(A) 構内(9・10・11林班)，(B) 荒平・飯盛・上の山・御手水・大倉・生ヶ谷・穴口団地(1・2・3・4・5・6・8・21・22・23林班)，(C)：桂木・新建・新谷・鹿倉団地(12・13・14・15・16・17・18・19・20林班)

場所は山麓の一部のみであった。林班全体として飛行制限高度が 0 m 以上の林班は、8, 9, 10, 11 林班であった(図4)。3 林班と 6 林班は、飛行制限高度の中央値は 40 m を越えているが、林班内での制限高度のばらつきが大きく、制限高度 0 m 以下の場所も含んでいた。福岡演習林内で最も飛行制限高度が高い地点 ($> 120\text{m}$) は 20 林班(鹿倉団地)にあるが、谷部の限られた範囲のみであり、林班の大部分は 0 m 以下であった。

飛行制限高度が 0 m 以下の場所でも、完全に飛行が不可能ということではなく、国土交通大臣の許可・承認を得ることで飛行が可能になる。ドローン情報基盤システム(通称：DIPS, <https://www.dips.mlit.go.jp/portal/>)、およびドローン情報基盤システム操作マニュアル(国土交通省 2022)に基づき、申請者が行うべき事前準備から飛行の実施までの一般的な流れを以下にまとめた(図5)。

飛行許可申請には飛行させる機体および操縦者情報の登録が必要になるが、機体は、航空法における機体登録制度に基づき登録番号を取得した機体であることが登録条件となる。操縦者は、10 時間以上の飛行経歴を有すること、安全な飛行に関する知識・必要な一般技量を有すること、安全な遠隔操作・自動操縦のために必要な技量を有すること

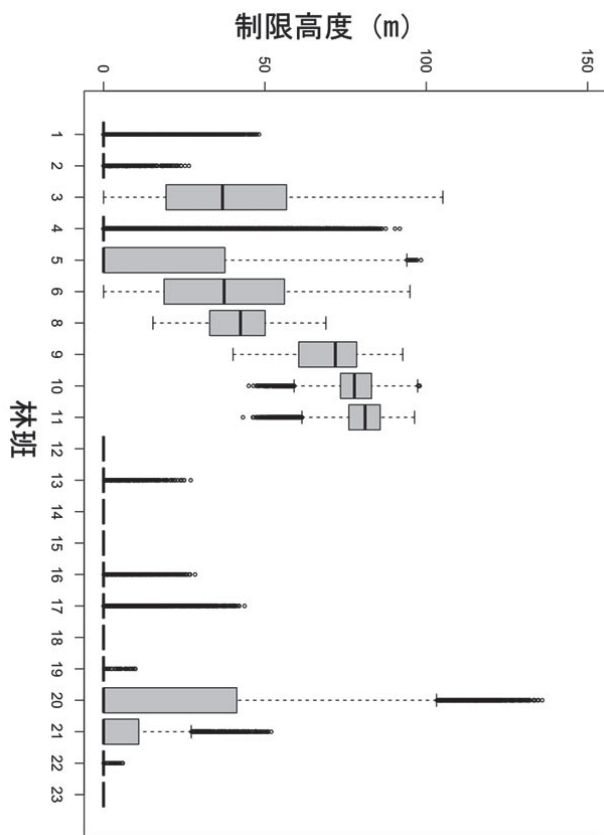


図4 林班ごとの飛行制限高度の箱ひげ図。5m \times 5m解像度のラスター値を林班ごとに集計した。高度が負の値の場合は0mとしてまとめた。箱内の太線は中央値を示す。灰色の箱は四分位範囲を表し、ラスター値の50%が含まれる。上下のひげは、箱の上側・下側それぞれから、 $\pm 1.5 \times$ 四分位範囲の範囲内での最大値および最小値を示す。

が条件となるため、事前準備として飛行経験を積み技術を習得する。なお、航空局ホームページに掲載されている無人航空機の講習団体から技能認証を取得することにより、操縦者の基準適合を証明する方法もある。飛行申請の際に

制限区域内で飛行を実施するための手順 (2022年9月時点)

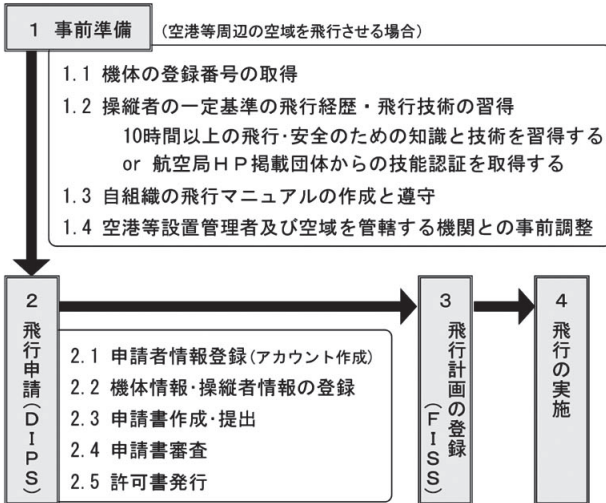


図5 制限区域内で飛行を実施するための手順. ドローン情報基盤システムおよび操作マニュアル (国土交通省2022) を参考に作成。

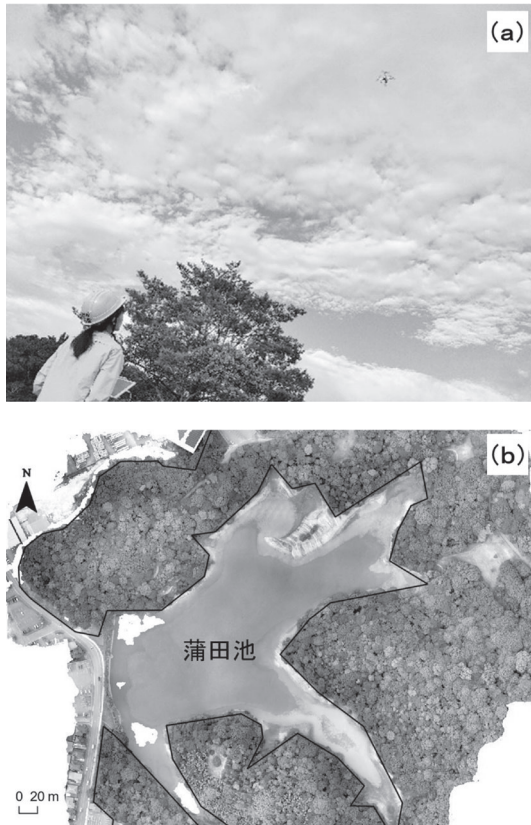


図6 福岡演習林構内でのドローン飛行練習の様子：(a) フライトの様子；(b) 自動飛行により連続撮影した画像より作成したオルソ画像 (篠栗九大の森) . 5cm×5cm解像度のRGB画像で作成。

は、操縦者が遵守する自組織の飛行マニュアル (操縦者の訓練や遵守事項、安全を確保するために必要な体制などを記載したもの) が必要であり、事前に作成し十分に理解した上で、マニュアルに遵守した飛行を行う必要がある。これらを満たした上で、空港等設置管理者および空域を管轄する管制機関と調整を行い、支障がない旨の回答を事前に得る。福岡空港の場合、空港等設置管理者は福岡国際空港株式会社、空域を管轄する関係機関は大阪航空局福岡空港事務所となり、両機関に電話等で事前調整を行う (国土交通省 http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000038.html)。

上記の事前準備をすべて済ませた段階で、飛行許可申請を開始する。申請、審査、許可書の発行までの一連の手続きは、原則として、オンラインのドローン情報基盤システム (DIPS) を通じて行う (2022年9月時点)。ただし、審査には一定の期間を要するため、飛行開始予定日の10開庁日 (2週間) 以上前の余裕を持って手続きすることに留意する。

飛行を実施する前には、有人航空機やドローン間での安全確保のため、ドローン情報基盤システムの飛行情報共有機能 (通称: FISS, <https://www.fiss.mlit.go.jp/>) へ飛行計画 (飛行日時や経路など) を登録する必要がある。許可承認が必要な場所や方法で飛行させる場合には、FISSで飛行経路にかかる他のドローンの飛行情報などを確認し、自らの飛行予定を登録することが義務となっている。なお、2022年12月5日予定の改正航空法の施行に伴い、FISSは新システムに移行する予定である (2022年9月時点)。

このように、操縦者の飛行経歴など必要な基準を満たした上で、適切に申請し許可承認を得ることにより、飛行制限高度が0m以下といった福岡演習林の山地でも、航空法に則った安全な飛行を実施することが可能になる。ただし、飛行させる高度については、申請前に福岡国際空港株式会社および大阪航空局福岡空港事務所との調整が必要である。演習林職員の飛行経歴が10時間に満たない場合には、飛行申請が不要で対地高度60~80mの飛行が可能な福岡演習林構内 (9・10・11林班) で飛行経験を積むのが良いだろう。ただし、篠栗九大の森 (11林班) は原則飛行禁止であるため、飛行には篠栗町との調整が必要になる。2022年9月現在では、福岡演習林職員の飛行実績10時間の達成に向けて、構内での飛行練習が行われている (図6a)。このような練習を通じて、申請に必要な飛行経験を積み、十分な技量を身に付けることが、制限区域での飛行に向けた第一ステップとなる。

外部の利用者が演習林内で飛行させる場合には、福岡演習林が空港の周辺空域であることを周知し、飛行制限高度の確認と、制限高度を超えた飛行をする場合には航空法に基づく許可承認を取得していることの確認が必要となる点に留意しておく必要がある。

4. 今後の展望

福岡演習林は、福岡空港の円錐表面に位置しており、宮崎演習林や北海道演習林と比べてドローン調査に関する規

制が厳しい。一方で、急峻な地形の下で、細かい範囲に種々の生態系要素が入り組んだ里山景観が形成されており、ドローンによる空撮を活用できる場面は多いだろう。現在は、福岡演習林構内（9, 10, 11 林班）において空撮を行い、フォトグラメトリーを用いた蒲田池周辺の地形測量や、オルソ画像によるナラ枯れ・松枯れ木の発生位置の特定を行っている（図 6b）。このほか、竹の侵入状況調査、崩壊地の植生回復モニタリング、植栽木の成長観測、フェノロジー調査など、様々な場面でのドローンの活用が期待される。それらを安全かつ円滑に実現していくために、関連する法規則と、演習林内の規制の現状を理解しておくことは必要不可欠である。最後に、本論文で解説した内容は、2022 年 9 月時点のものであり、将来的には法規制や各種手続きが変更される可能性がある。ドローンに関する法律やシステムの整備は現在進行中であるため、常に最新の飛行ルール（国土交通省：無人航空機の飛行ルール、http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.html）を確認する必要がある。

謝辞

福岡空港周辺の飛行制限、飛行に必要な諸手続きの情報について、福岡国際空港株式会社、および国土交通省大阪航空局福岡事務所より情報提供を頂いた。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Dell M, Stone C, Osborn J, Glen M, McCoull C, Rimbawanto A, Tjahyono B, Mohammed C (2019) Detection of necrotic foliage in a young *Eucalyptus pellita* plantation using unmanned aerial vehicle RGB photography—a demonstration of concept. *Aust For* 82: 79–88
- Fujita MS, Prawiradilaga DM, Yoshimura T (2014) Roles of fragmented and logged forests for bird communities in industrial *Acacia mangium* plantations in Indonesia. *Ecol Res* 29: 741–755
- Gonçalves J, Henriques R, Alves P, Sousa-Silva R, Monteiro AT, Lomba Â, Marcos B, Honrado J (2016) Evaluating an unmanned aerial vehicle-based approach for assessing habitat extent and condition in fine-scale early successional mountain mosaics. *Appl Veg Sci* 19: 132–146
- Hsieh YC, Chan YC, Hu JC (2016) Digital elevation model differencing and error estimation from multiple sources: A case study from the Meiyuan Shan landslide in Taiwan. *Remote Sens* 8: 199
- 国土交通省 (2022) 国土交通省ドローン情報基盤システム操作マニュアル申請者編 4.15 版 (2022 年 9 月)
- 国土地理院 (2019) 三次元点群データを使用した断面図作成マニュアル (案)
- 九州大学 (2021) 九州大学構内における無人航空機の飛行に関する規程 平成 28 年度九大規程第 17 号 (最終改定令和 3 年 3 月 30 日)
- Lin J, Wang M, Ma M, Lin Y (2018) Aboveground tree biomass estimation of sparse subalpine coniferous forest with UAV oblique photography. *Remote Sens* 10: 1849
- Messinger M, Asner GP, Silman M (2016) Rapid assessments of Amazon forest structure and biomass using small unmanned aerial systems. *Remote Sens* 8: 615
- Torresan C, Berton A, Carotenuto F, Di Gennaro SF, Gioli B, Matese A, Miglietta F, Vagnoli C, Zaldei A, Wallace L (2017) Forestry applications of UAVs in Europe: A review. *Int J Remote Sens* 38: 2427–2447

(2022 年 10 月 18 日受付：2023 年 1 月 26 日受理)