



▲沖縄県宮古島 ^{ひがしへん なまざき} 東平安名崎の津波石

ドローンで撮影した写真では、海に突き出した岬と津波石の位置関係がよくわかる。

▼浅間鎌原土石なだれが置き去りにした黒岩

ドローンで撮影した写真では、土石なだれが通過した鎌原の家並みも表現できる（群馬県嬭恋村鎌原）。

ドローンによる低空撮影のすすめ

- ドローン写真と地上写真の比較 -

早川由紀夫（本文12ページ）

※大きい写真：ドローンで撮影
小さい写真：地上で撮影





▲十和田八戸火砕流台地

ドローンで撮影した写真では、崖の上に小さな飛行場がつくれるほどの広い平坦面があることがわかる（青森県小坂町濁川）。

▼浅間塚原土石なだれの流れ山

流れ山は一つではなく、多数あることをドローンで撮影した写真は表現できる（群馬県長野原町応桑）。



ドローンによる低空撮影のすすめ

早川由紀夫

1. ドローンの出会う

遠隔操作で飛ぶ小型無人機をドローンという。ローターと呼ばれる回転翼を4つ持つマルチコプター・ドローンが数年前から急速に普及している。2014年にDJI社が発売した Phantom 2 vision+ は、操縦が簡単だけでなく、カメラが標準装備で付いていて20万円を切る画期的なドローンだった。カメラには、空中での振動をキャンセルするジンバルという装置が付いている。

これを飛ばして撮影すれば、いままでかなわなかった視座から地形や地層断面を撮影できることに気づき、同年9月に1台購入した。無線操縦が未経験だったこともあって



Phantom 2 vision+ はなかなか思い通りに飛ばなかった。また、カメラのレンズが超広角なために画面の隅が歪んでいた。

9カ月後の2015年6月に購入した新型 Phantom 3 Advanced は画面隅の歪みが解消されただけでなく、操作性が大きく向上していた。空中の思い通りの場所に移動して、そこで静止させることができるようになった。噴火したばかりの箱根山に持ち込んで、立入規制区域外から1・3 km飛ばして大涌谷に新しくできた火口を撮影することができた。

あいだに電波を遮るものがなければ、Phantom は水平距離2 kmをゆうゆう飛ぶ。私は3・07 km飛ばして戻したことがある。高さは500 mまでと機能制限がかかっている

ため、それより高く上げることができない。山登りをしながらすむ利便性はあるが、500mからなら航空機でも撮影できるので新規性はない。上空10〜30mから、ビルでいえば3〜10階にあたる低空からの撮影がドローンの真骨頂である。

2016年4月に「小型無人機ドローンによる火山の低空撮影」で科研費を取得した。3年計画で、いま2年目だ。教科書的でわかりやすい地形や地層断面を撮影するため、天気予報を頼りに日本各地に出向いている。写真は、撮影したらすぐその場でツイッターに投稿する。動画はできるだけその日のうちにYouTubeで公開するようにしている。こうしておく、自分にとつても写真や動画をあとから探し出しやすい。

昨年8月からは本誌のカラー口絵でドローンの隔月連載を始めた。これまで7台のDJI社製ドローンを購入して使ってみた経験から、低空撮影のノウハウを以下で解説しよう。

2. ドローンの選び方

DJIは中国、深圳（シエンゼン）のドローンメーカーだ。いまの代表機

種はPhantom 4である（表1）。価格は16万円ほどだ。単操作で高性能のため人気がある。2015年12月の航空法改正時に航空局が許可した飛行申請の大部分が、DJI Phantomだった。Phantom 2とPhantom 3とPhantom 4は、サイズが違うのでバッテリーを共用できない。Phantom 4は最上位のProまで、いくつか種類があるが、それらのあいだではバッテリーを共用できる。

2016年9月に発売された小型軽量のMavic Proは13万円ほどだ。世界中で大人気となり、日本には年末までほとんど届かなかった。操縦機能はPhantom 4とほとんど同じだ。撮影機能はレンズ口径が小さい分やや劣るが、趣味で使うならこれで十分だろう。プロペラを折りたたんで気軽に持ち運ぶことができる。2017年6月に発売されたSparkは6万円だ。私は入手してないが、手のひらを使って離着陸させることが

表1 現在購入できる人気のドローン

メーカー	ドローン	重量	飛行時間	実売価格
DJI	Phantom 4 Advanced	1368g	30分	160,000円
DJI	Mavic Pro	734g	27分	130,000円
DJI	Spark	300g	16分	60,000円
Parrot	Bebop 2 Power	525g	30分	80,000円
Zerotech	Dobby	199g	9分	50,000円

できる。ジェスチャーでカメラのシャッターを切ることもできる。ただし最大伝送距離100m、高度50mに限られている。飛行時間は16分と短い。セルフィー（自撮り）や室内で使うならこれだろう。

Parrot社のBebop 2 Powerは8万円で、30分飛ばすことができ。Sparkと競合する機種だ。ZeroTech社のDobbyは5万円だ。200グラムを切るので、航空法の規制を受けずにどこでも自由に飛ばすことができる。

どのドローンを購入してもバッテリーは少なくとも3本必要だろう。1本1万円から2万円と安くない。カーチャージャーを購入すると、自動車で移動中に充電できて便利だ。これらのドローンはすべて、タブレット端末かスマートフォンを送信機に接続してモニタとして用いる。Phantom 4にはiPad miniがちょうどよいサイズだ。Mavic Proには、大きめのスマートフォンがよい。どちらもアプリケーション DJIGO4をインストールして使う。頻繁にバージョンアップがあるので、撮影に出かける前にならずチェックして、送信機とドローン両者を最新版に更新しておくことを推奨する。

3. 操縦法

風が強いときはドローンを飛ばしてはいけない。毎秒10mが上限だ。離陸よりも着陸が難しい。着陸時に転倒させるとプロペラを痛めてしまう。Phantom 4は、足を片手でしっかりとつかんだのち、もう一方の手で送信機レバーを倒してプロペラを停止させると確実に着陸させることができる。とくに、山で平坦面が近くにみつからないときはそうするとよい。Mavic Proにはつかめる足がないので、ランディングパッドを地面に敷いて着陸させる。ランディングパッドは、砂塵が舞い上がりやすい地面から離陸させるときも役に立つ（写真1）。

高さ30mまでしか上がらない初心者モードがあるから、まずはそれで練習するのがよい。コンパスやIMU（慣性計測装置）に異常があつて調整するようメッセージが出たらそれに従う。Phantom 3までは、場所を変えるたびにコンパスを調整するよう推奨されたが、Phantom 4ではその必要がなくなった。ただし、衛星を8個以上捕捉してGPSモードになるまでは離陸させずに待つ必要がある。

さまざまな自動操縦機能も用意されている。Phantom



写真1 DJI社 Mavic Pro (左) と Phantom 4 Advanced (右)
ランディングパッドの直径は765mm.

は障害物の前で一時停止したあと迂回して進む。いくつかの地点を地図上で指定して順番に飛行させることもできる。地形を撮影するとき役に立つのは POI (Point of Interest) 機能だろう。注目する地形の周りを任意の半径で任意の速度で回転しながら撮影することができる。ドローンの飛行とカメラの向きを操縦者が心配することは一切いらない。

DJIドローンは離陸地点からの距離と高度を送信機内で常時計算していて、バッテリー残量が足りなくなると離陸

地点に戻れと警告する。

RTH (Return to Home) ボ

タンを押すと、離陸地点に自

動で戻る。また、バッテリー残量が30%を切ると、注意メッセージが出て警告音が鳴り続ける。仕様書には30分飛ぶとあるが、実際には20分程度だと思っておくのがよい。ドローンの下降速度は上昇速度や水平速度より遅いから、高く上げると着地するまで思った以上の時間がかかる。バッテリーは満充電したあと使わずに1週間経過すると自動放電して7割くらいまで減るから放置してよい。飛行させてギリギリまで放電させたバッテリーは早めに充電したほうがよい。そのまま放置すると過放電して充電できなくなる。

私は3回墜落あるいは不時着させたことがある。1回目は2015年3月、Phantom 2 vision+を草津町の雪上に落下させてしまった。コンパスを調整しないまま、GPS衛星の捕捉数も不十分のまま、急いで離陸させたのが失敗だった。思い通りに操縦できなくなつて暴走し、カラマツに接触して落下した。



▲岩手山、大更の巨大岩塊をぐるぐる (YouTube) P O Iで被写体の周りを回転



▲北軽井沢の上空200Eでぐるぐる一周 (YouTube) 上空の一点でドローンが回転

2回目は2015年10月、黒斑山から浅間山頂火口に向けて Phantom 3 Advancedを長距離飛行させたのだが、戻すことができず、そのまま浅間山の斜面

に不時着して失った。強風に押されて戻れなかったのだと思われる。3回目は2017年2月、伊豆半島大瀬崎でMavic Proを不時着させた。撮影が終わってRTNをかけたのだが、どういうわけかその場で上昇し始めた。不具合が発生したことに気づいて手動に切り替えたが離陸地点まで戻すことはできず、近くの林に不時着した。幸いにもプロペラ2枚を破損しただけですんだ。私のそばで、別のMavic Proを飛ばし始めた観光客がいたので混信した可能性がある。この事故以降は、できるだけRTNをかけずに手動で戻すようにしている。

4. 写真撮影と動画撮影

風景写真はすべてそうだが、被写体と太陽光とカメラの位置関係がもつとも重要である。東向き斜面は午前、西向き斜面は午後撮影する。北向き斜面は、太陽が高く上がる6月の昼間に撮影するとよい。地表に雲の影がパッチ状に落ちると写真を台無しにするから快晴が望ましい。グーグルマップの衛星写真を3Dモードにして、カメラの位置をいろいろ変えて予習してから現地に行くとよい。Phantom 4もMavic Proもデジタルズームはできるが、

レンズは単焦点だから被写体までの距離が画角を決める。デフォルト設定は横長だが、ポートレートモードにすれば縦長で撮影できる。

地表の色は、紅葉する秋が一番きれいで、5月の新緑もよい。2・3月は太平洋側では晴天が続くが、冬枯れして色が寂しい。積雪があると、地形が強調されてよい写真が取れることがある。ただし、バッテリーが冷えないように温めておく必要がある。

撮影は自動に任せるが、カメラモードでAEB (Auto Exposure Bracketing) を選択して、明るさを変えた3枚の画像を私はいつも撮影している。画像形式は、あとから現像できるRAWも選べるがファイル容量が大きくなるので、特別な場合でない限りJPGでよいだろう。

動画は表現力を発揮できるが、YouTubeに置いても閲覧数をなかなか獲得できないのが実情である。上空で静止してカメラをぐるり一周させるときは、時計の秒針のイメージで60秒かけてゆっくり回転させる。ドローンカメラの画面をYouTubeやFacebookでライブ中継することができる。浅間山で実際にやってみたが、ツイッターで告知しても閲覧者はとても少ない。一桁に留まる。現状では、撮影した動画を厳選してからYouTubeに置いたほうが多数

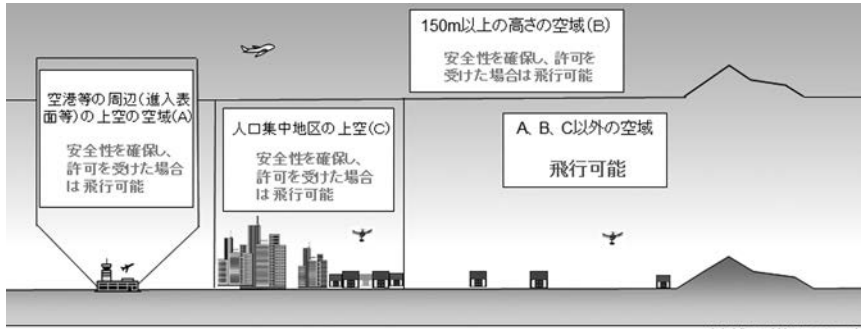


図1 航空局の許可が必要な空域 国土交通省無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルールより引用



図2 関東地方の人口集中地区（地理院地図より引用）

5. 飛行制限

の閲覧者を獲得できるようだ。

航空法（国土交通省航空局）によって、ドローンを飛行

させるにあたって航空局の許可が必要な空域が定められている（図1）。ただし航空法がいうドローンは重さ2000グラム以上の機体である。

①空港とその周辺

②人口集中地区

③高さ150m以上

空港周辺と高さ150m以上の空間は、航空機の運行を妨げないための規制である。人口集中地区は人や物に危害を与えないための規制である。その範囲はインターネットの地理院地図で細かく確認できる（図2）。東京23区は、臨

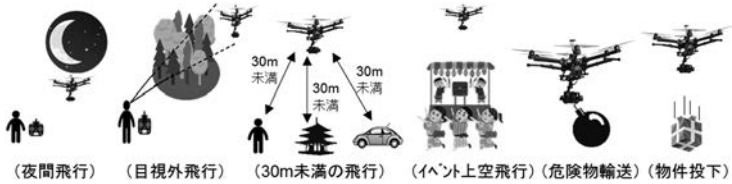


図3 航空局の承認が必要となる飛行の方法
国土交通省無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルールより引用

海部の埋立地ごく一部を除いて、すべて人口集中地区のなかにある。一方、箱根町、軽井沢町、草津町に人口集中地区はない。人口集中地区でも、室内なら飛ばすことができる。また、ゴルフ練習場のようにならば区切られた空間の中でも飛ばすことができる。

航空局の承認が必要となる飛行の方法もある(図3)。次の6つが航空法で定められている。

- ① 夜間飛行
- ② 目視外飛行
- ③ 人や物件から30m未満の飛行
- ④ 祭礼などのイベント上空飛行
- ⑤ 危険物の輸送
- ⑥ 物件投下

私は、群馬大学荒牧キャンパス敷地内に限る人口集中地区飛行の許可と日本全国の火山における目視外飛行の許可を、2015年12月10日の航空法改正と同時に航空局から得た。許可書は1年有効で、す

に1回更新した。許可は操縦者ごと機体ごとだから、新しい機体を購入したときは追加申請しないといけない。許可された期間内は、3カ月ごとに飛行実績を航空局に報告する。

目視外飛行は、ドローン搭載のカメラが映し出したモニタ画面を見ながら飛行させるFPV (First Person View) も含む。この技術はよく確立していて、むしろドローンはFPVで画面を見ながら操縦するのが通常である。FPVは禁止条項から外してよいのではないかと思う。航空法とは別に小型無人機等飛行禁止法(警察庁)によって、国会議事堂、内閣総理大臣官邸、皇居、外国公館、原子力事業所などの重要施設とその周辺おおむね300m上空で、ドローンを飛行させることは禁じられている。

東京都は、すべての都立公園でドローン飛行を禁じている。他の公園や寺社でもドローン禁止を書いた看板をしばしば見る。土地所有者によるこのような禁止は、ドローンをその土地から離着陸させることがいけないのか、それとも上空を通過することも禁じているか明確でない場合が多い。

林野庁は国有林の地表から操縦するだけでなく国有林の上空を通過することも禁じて、事前に許可申請するよう求

めている。これは行き過ぎた権利の濫用だと思う。民法207条は「土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ」と定めているが、何m上まで及ぶかを書いた法令はない。

2016年3月、阿蘇山上広場からドローンを離陸させたら、阿蘇山上事務所長が警察官2人を伴ってやってきて注意された。火口から半径1km内にドローンを飛ばすことを阿蘇火山防災会議協議会が禁止しているという。立入規制区域内にはドローンも飛ばしてはならないというのだ。この禁止は、林野庁以上に大きな問題を内包していると考ええる。

世界に目を向けると、アメリカはすべての国立公園でドローン飛行を禁じている。これは暫定処置であり、将来的には解禁する用意があると聞いているが、2017年2月にハワイ火山国立公園に行く前にメールで問い合わせたところ、全面禁止がまだ続いていた。なおアメリカの空でドローンを飛ばすときは、あらかじめ5ドル払って機体番号を登録しておく必要がある。インターネットで簡単に登録できる。3年有効だ。

他の国では、イギリスは日本とほぼ同じ規則。フランスは自由度がかなり広い。ニュージーランドは土地所有者の

許諾が必要だとしている。航空機でドローンを運ぶときは、バッテリーの取り扱いに注意するべきである。預けずに手荷物として機内に自分で持ち込むのが安全である。

6. ドローンを飛ばそう

姫路城に衝突したり、首相官邸の屋上でみつかったり、善光寺祭礼の行列に墜落したりの記事で、ドローンには悪者のイメージがついてしまった。いままでなかったまったく新しい技術だからこそ、人々には警戒心が先行するのだろうか。しかしドローンは、さまざまな分野で大きな可能性を秘めている。地形学と地質学の分野では、いままでかなわなかった視座から地形や地層断面を観察することができる。この利点を活かして、地形学と地質学の研究と教育が進むことを期待してやまない。

はやかわゆきお・群馬大学教育学部教授 1956年千葉県生まれ。東京大学大学院理学系研究科修士(地質学)。理学博士。2016年8月から本誌カラー口絵「鳥の目で地形や風景を見てみよう!」でドローン写真を隔月連載中。