

表1 連載・鳥の目で地形や風景を見てみよう！

回	テーマ
1	対照的な2つの火山からなる草津白根山
2	奥日光は三段飾り
3	山体崩壊と流れ山
4	河岸段丘と蛇行
5	溶岩流
6	海岸地形
7	浅間山の鎌原土石なだれ
8	スコリア丘と溶岩ドーム
9	マグマの通り道 ダイク
10	三角州と扇状地
11	富士山の氷河堆積物と山体崩壊
12	草津白根山の2018年1月23日噴火口
13	伊豆下田の柱状節理
14	浅間山の山頂火口
15	房総半島南端の地震隆起
16	阿蘇カルデラ
17	三浦半島城ヶ島の地層と段丘
18	ハワイの火山と海岸
19	榛名山の溶岩ドーム
20	雪と氷がつくった地形

「鳥の目で地形や風景を見てみよう！」と題した隔月連載を、本誌で2016年8月から今月まで続けた(表1)。ここでは20回の連載を振り返り、高性能のドローンが安価

鳥の目で地形や風景を見てみよう！⑳ (最終回)

# ドローンで地形写真を撮ってみた

早川由紀夫

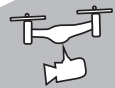
で市場に提供されるようになった初期に、それを使って地形と風景を撮影した筆者の経験をまとめる。

## 1. 地形をテーマに

連載開始時は、いままでなかった視座から地形を撮影して初学者にわかりやすい教科書的な写真を多数提供しようと考えた。教育現場で広く利用されることを目指した。紙面は見開きページのたため、毎回4枚の写真で構成することが原則となった。

### ◇山体崩壊と流れ山(第3回)

浅間山で2万4300年前に起きた崩壊を、急崖に囲まれた湯の平と長野原町応桑に展開する流れ山の2枚で紹介した。応桑の流れ山は、崩壊壁の北側に展開しているの



日中は逆光になる。平坦面が積雪で白く強調される冬季の早朝を選んで撮影した。3枚目は岩手山が7000年前に崩壊して八幡平市大更に展開した流れ山を紹介した。冠雪した岩手山の手前に、春の強い日差しに照らされた複数の流れ山を配置した。4枚目は赤城山が13万年前に崩壊して利根川左岸に残した流れ山を選んだが、これはわかりにく



写真1 雲仙眉山の1792年5月崩壊で有明海にできた九十九島



写真2 磐梯山頂と1888年7月崩壊壁

十和田湖御倉山のデイサイト、浅間山鬼押出しの安山岩、そして富士山青木ヶ原の玄武岩を取り上げて、化学組成によつて大きく異なつた溶岩地形ができることを表現したかったが、不十分だった。鬼押出し溶岩は、山頂部分だけが新雪で覆われた写真を採用した。本栖湖に流れ込んだ青木ヶ原溶岩が水面下まで続いていて、曲がりくねつた尾根に

かつた。山体崩壊壁と流れ山は、ドローンの長所を最大限に生かす地形被写体である。富士山の御殿場土石なだれ(2900年前)は有名だが、流れ山が顕著でないののでよい写真を撮るのは難しい。雲仙岳の1792年5月眉山崩壊で有明海にできた九十九島のような写真を後日撮影することができた(写真1)。磐梯山の1888年7月崩壊は、山頂をからめて崩壊壁を撮影することができた(写真2)、手前に流れ山を置いた構図は逆光になつてよい写真を撮るのが難しい。

#### ◇溶岩流(第5回)

開口割れ目ができている様子が撮影できた。しかし1000年以上前に流れた溶岩なので、地表面は森にすっかり覆われてしまっている。溶岩表面を撮影する目的には、岩手山の1732年1月の焼走り溶岩や伊豆大島の1986年11月溶岩が適している。

#### ◇スコリア丘と溶岩ドーム(第8回)

阿蘇の米塚は、裾がストンと断ち切られていて尾を引かないスコリア丘の特徴をよく表現することができた。撮影した後の2016年4月に熊本地震が発生してこの端正な米塚の火口縁に沿ってひび割れができ、中央に小さな穴が開いた(第16回に掲載)。伊豆半島の船原は、採石されて内部が露出していて、スコリア丘をつくるスコリアがよく酸化されて赤いことをうまく表現できた。溶岩ドームは、浅間山の離山と小浅間山、そして榛名山の榛名富士を紹介した。表面の荒々しさを表現するためには雲仙岳1991年や樽前山1909年など、最近出現した溶岩ドームを選ぶ必要がある。

#### ◇三角州と扇状地(第10回)

地図で被写体を探していて、太平洋と日本海の海岸には三角州がまったくないことに気づいた。砂が沿岸流ですっかり運び去られてしまうからだ。琵琶湖に流れ込む河川に

典型的な三角州がいくつか見られるが、ドローンの被写体としては大きすぎる。青森県の十三湖に流れ込む岩木川の三角州を撮影した。箱根山の姥子扇状地の撮影は何度も挑戦した。難易度の高い被写体は、季節と時間を変えて繰り返し撮影しなければよい写真を得ることができない。姥子の緩斜面は、神山の山体崩壊1回でできたとみなすのが通説だが、山体崩壊の堆積物が扇状地をつくることはない。これは、長い時間をかけて何度も繰り返した土石流でつくられた扇状地であり、それが表現できたと思う。榛名山の扇状地も火山麓にできたものだ。火山とは無関係の扇状地を撮影するなら、甲府盆地の釈迦堂扇状地が整っていて手ごろなサイズだ。交通の便もよい。

## 2. 地域をテーマに

教科書に使えるほど完成度の高い地形写真を撮影するには、時間と手間がかかることが連載を始めてみてよくわかった。不十分な写真を掲載するわけにはいかない。連載はしだいに地域や特定の地学事件をテーマとしたものに変わっていった。

#### ◇浅間山の鎌原土石なだれ(第7回)

浅間山の鬼押出しは、土石なだれで鎌原村が押し流され

たあと、山頂火口から静かに流れ下った溶岩であると思なすが通説だが、20年ほど前から筆者は、山腹の柳井沼に流入した鬼押出し溶岩が水蒸気爆発を起こして鎌原土石なだれを発生させたと考えてきた。その考えに基づいて、柳井沼の窪地、土石なだれに巻き込まれて遠くまで運ばれた鬼押出し溶岩の大きなかけら（黒岩）、土石なだれに埋まった鎌原村と遠景の浅間山、そして土石なだれ堆積物の末端。これら4枚のドローン写真で構成した。柳井沼の窪地をうまく表現するのは難しかった。何度も挑戦して、太陽高度が低いと窪地がよくわかることに気づいた。プリンスランドの黒岩は、ドローンでなければ撮れない低空写真である。江戸時代の噴火は8月だったので、深い緑に覆われる時期を選んで鎌原村を撮影した。鎌原事件とは直接関係しないのでカラー口絵には採用しなかったが、鬼押出し溶岩の上にある吾妻火砕流のドローン写真は、鬼押出し溶岩が吾妻火砕流よりも先に、したがって鎌原土石なだれよりも先に流れ下っていたことを示す決定的証拠になった。

#### ◇富士山の氷河堆積物と山体崩壊（第11回）

氷期の富士山は氷河に覆われていたと想像する人は多いが、富士山の上に氷河が残した堆積物をつけた人はいなかった。2016年10月に筆者は宝永火口の近くに、氷河



写真3 富士山頂火口  
写真中央右寄りに火口内を埋めた溶岩湖の断面が見える。

写真も用いて考察を深め、崩壊は山頂火口の東半分まで及んだことを突き止めた。この回は、宝永火口と赤岩の間にある馬の背モレーン、少し離れて見た御殿庭モレーンの全地形、崩壊凹地を埋めた新しい溶岩と埋め残された獅子岩キブカ、そしてグーグルマップ衛星写真を基図とした地質図で構成した。その後、山頂火口のドローン撮影にも成

堆積物であるモレーンがあることに気づいた。現地調査を何回も繰り返して地形を復元していく過程で、2900年前に崩壊した山体がどこか、まだわかっていないことも知った。ドローンで撮影した

功した(写真3)。

#### ◇草津白根山の2018年1月23日噴火口(第12回)

交通アクセスがよい殺生河原から噴火口までの高度差は、ドローンの上昇限界500mを超えてしまう。道路の冬季閉鎖解除を待つて、噴火から4カ月後の6月3日に万座温泉側から撮影した。本白根山北端部にできた割れ目火口のほかに、振子沢左岸と鏡池にもそれぞれ小火口を確認することができた。噴火口は合計3カ所だった。噴火前の本白根山を第1回で紹介してあつたので、それと比較できた。鏡池の多角形土がまだそのまま残っていることもわかつて安心した。

#### ◇阿蘇カルデラ(第16回)

2018年12月25日、完全無風快晴の好条件に恵まれた。2015年11月4日の草津白根山以来の好条件だった。ドローン地形写真の出来栄は、気象条件に大きく左右される。中岳火口の中に青白色の湯だまりがあり、わずかに青味がかつた火山ガスがその表面からわきあがっていた。カルデラ壁に取り囲まれた米塚と草千里ヶ浜もくつきり撮れた。有明海の向こうに雲仙岳が見えた。筑後川がゆつたりと流れる久留米市のドローン写真は、9万年前に阿蘇4火砕流に襲われて焦土と化した九州の大地の上に複数の大都

市がいま成立していることを読者に知ってもらうために、その代表として採用した。

### 3. 最新のドローン撮影事情

本誌2018年2月号の特集「ドローンの利活用と情報発信」に、「ドローンによる低空撮影のすすめ」を書いて飛行と写真撮影の初歩を解説した。ドローン技術は日進月歩だから、あれから1年10カ月たった今の事情をここで整理する。

#### ▼機種

DJI社のドローン市場占有率は相変わらず高い。2018年8月に出たMavic 2が今のフラッグシップモデルである。ProとZoomの2種がある。筆者は、カメラ性能が高いProを保有してメイン機として使っている。Zoomには2倍ズームレンズが装着されている。ドリーズームという特殊な撮影方法で表現力ある動画が撮影できるといふ。Mavic 2は小型で軽量のため、登山にも向いている。改良された伝送方式を採用しているため、3km先まで余裕で飛ばせる。カメラを水平から30度上向きにさせることができるので、高山での撮影にも適している。明るい画面のモニタがついたスマート送信機も別売されている。電源を入れ

るとすぐ立ち上がって安定して動作するが、重いのが欠点だ。小型で性能のよい Mavic 2 が出たため、先に使っていた Phantom 4 の出番はすっかりなくなってしまった。今後の Phantom シリーズは、赤外線撮影や人命救助などの特殊用途を指向するとみられる。

その5カ月前の2018年3月に出た Mavic Air は、もつと小さくて軽い。ただし伝送方式が WiFi のため、1・5km までしか飛ばせない。ジェスチャーモードで飛行を制御できて撮影もできる。初心者がいま買うならこれだろう。筆者は予備機として使っている。

同じ2018年3月に出た Ryze Tech 社の Tello は1万円台の低価格トイドローンだ。航空法による規制がかかる200グラムを下回る80グラムなので、人口密集地でも飛ばすことができる。ただしカメラが本体に固定されていて真横しか撮影できない。プログラミング飛行が簡単に楽しめるのはおもしろい。

#### ▼離陸・飛行・着陸

自動車にドローンを載せて目的地に着いて飛ばそうとすると、コンパスをキャリブレーションするようしばしば促されるが、モニタ画面に出る操作説明に従って実行すればよい(10秒程度ですむ)。GPS 衛星を8個以上補足しな

いとGPSモードにならないから、操縦地点には広い空が必要だ。筆者はいつも、衛星を10個補足するまで待つてから離陸させている。GPSモードになるとホームポイントが新しく記録されるので、もし通信が途絶しても自動で戻ってくる。

風速10m/s以上のときは離陸させない。どんなに快晴でも風が強いときは潔くあきらめよう。出かける朝に現地のライブカメラ画像を探してそのつもりで隅々を見ると、風の強さがわかるようになる。

出発前夜までに、グーグルマップや地理院地図を使って飛行計画を立てる。直線で見通せないと電波が届かないから、疑わしいときはGISアプリで地形断面をつくって確認する。DJI社のドローンは離陸地点から500mまでしか上昇させられないようになっていて、多くの到達不能は、水平距離よりも高度差で起こる。

Mavic 2には障害物検知システムが前後下左右の5方向についている。ただし、左右はアクティブラック(被写体を自動で認識し追尾する)もしくは、トライポッドモード(ゆっくりとした安定性の高い飛行モード)のときのみ有効になる。谷川岳一ノ倉沢で2018年6月、Mavic Proを後退させて樹木に触れて落とし、回収できなかった

筆者にとつてはありがたい装備だ。

また、バッテリー残量が減つて帰還が必要になったときにRTH (Return to Home) の信頼性は高くなつた。RTHするかと画面で問われたら、そのまま応じてよい。

定速で直線飛行するので、帰還中に真下の動画を撮影すると定量的なデータが獲得できる場合がある。

着陸時にMavic Airは手でつまむことができる。ただし前方からつまもうとすると障害物検知が働いて逃げるから、後方からつまむ。Mavic 2はつまむところがないから、ランディングパッドを敷いて着陸させる。レジャーシートでも代用できる。

#### ▼飛行制限

航空法は200グラム以上のドローンを規制する。人口集中地区、目視外、夜間、対地高度150m以上などで飛ばしたいときは、航空局から許可を取得する必要がある。航空法が改正された直後の2016年3月に筆者は許可を得て、そのあと毎年更新している。昨年からネットで申請できるようになって手間が大幅に軽減された。目視外の許可を継続するつもりで書類を作っていたところ、夜間と人口集中地区と30m内飛行の許可も希望するだけで得られることがわかったので取得した。全国で有効である。

航空法とは別に、小型無人機等飛行禁止法(警察庁)にも従わないといけない。皇居・国会・原発など重要施設の近傍300mでドローンを飛ばすことは禁じられている。200グラム以下のトイドローンもこの法律には従わないといけない。

#### ▼撮影

空気が澄んで彩り豊かな秋が、地形撮影には最適の季節だ。日本列島では山が森林にすっかり覆われていて四季があることによる。冬季の積雪時もあり写真が撮れるチャンスがある。バッテリーが改良されて、低温による障害を受けることはほとんどなくなった。高山での撮影は夏に限る。

DJI Mavic シリーズのカメラの露出は、地形撮影のためには明るすぎるよう工場出荷時に設定されている。筆者はそれを1.0sに直して使用している。そして、露出を変えた写真を同時に3枚撮影するAEBモードを日常的に利用している。また、RAWファイルは容量が大きくなるので選択していない。JPGファイルで記録している。

Mavic シリーズのパノラマモードは地形写真を撮るときにとっても有効であるので積極的に活用したい。球面パノラマは、真上を除く全球を自動で撮影する(写真4)。ドローンが空中の1点で静止して、向きを変えて写真を何枚も



球面パノラマでVR体験しよう！

- ・新燃岳火口を埋め立てた溶岩  
DJI Mavic 2 Pro で2018年11月5日撮影。
- ・富士山頂火口  
DJI Mavic 2 Pro で2019年10月10日撮影。
- ・何枚ものダイクに貫かれた富士山宝永火口  
DJI Mavic 2 Pro で2019年8月7日撮影。

を埋めた溶岩、阿蘇の中岳火口(第16回)、そして富士山の宝永火口と山頂火口をこの方法で撮影して、臨場感にあふれた球面パノラマを得ることができた。前方180度だ

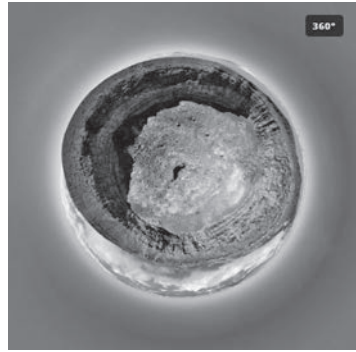


写真4 浅間山釜山火口の球面パノラマのサムネイル画像

ニタ画面上に球面パノラマが出現する。上下左右に動かして好きな場所を観察することができる。展開写真をインターネット上の特設サイトにアップロードすれば、誰でも球面パノラマをVR体験することができる。浅間山の釜山火口(第14回)、新燃岳火口

撮影する。30秒かけて25枚撮影し終わると自動でパノラマ写真を合成する。手元には360度展開写真が縦横比1…2で表示される。これをクリックすれば、モ

けを撮影する水平パノラマ、そして縦長写真を撮ることができる垂直パノラマも地形撮影には強い味方だ。垂直パノラマは、谷川岳一ノ倉沢で威力を発揮した(第20回)。

イメージ通りの写真が撮れたと思ったら、着陸直後に、あるいは飛行中にも、モニタ画面の再生ボタン(▶)を押してその場で確認する。露出が適正であることをみるだけでなく、記録媒体への書き込みミスがないこともチェックする。とくに球面パノラマの合成は失敗することがあるので、必ず確認したい。球面パノラマの写真接合部はどうしても乱れる。向きを少し変えて複数回撮影しておくことと安全である。

#### ▼保守

ファームウェア DJI GO4は頻繁にアップデートされる。撮影する前日に起動してみても、ファームウェアが最新であることを確認するようにしたい。現地で飛ばすときにファームウェアが古いとメッセージが出たときは、無視して飛ばしてかまわない。更新すると時間がかかるし、トラブルに陥って離陸できなくなるおそれがある。

バッテリーは少なくとも3本必要だ。筆者は Mavic 2 Pro の Mavic Air も4本ずつ持っている。リチウムイオン電池は危険物だから、飛行機で運搬するときは預け手荷物



の中に入れて機内に持ち込む。充電中も注意を払いたい。バンクアダプタを装着すると、スマートフォンを充電する用途に使える。

#### 4. これからのドローン地形・地質学

ドローンがこれからの地形学と地質学に寄与するところが大きいのははつきりしている。その長所の第一は、地形学や地質学が取り扱う複雑な幾何学を上空から写真に撮って、誰でもわかりやすい形で提供できる教育的価値にある。この連載は当初これを目指した。教科書に掲載できるほどのよい写真を撮るには、なによりも天候に恵まれないといけない。だから地元の人たちに地の利がある。何度も繰り返し挑戦して、素晴らしい写真を撮影してもらいたい。

第二の長所は、噴火中の火口に向けて安全な場所からドローンを飛ばすような観測的価値である。可視光だけでなく赤外線カメラもすでに市場に出ており、温度測定もできる。気象災害の直後にドローンを飛ばして被害状況を迅速に把握することも、よくなされている。

第三の長所は、地上からは不可能な視座の観察が空中から容易にできることよって、いままでわからなかったことがわかる研究的価値だ。富士山の氷河や浅間山の天明噴

火の研究をこれで進めることができた。

ドローンの研究的価値にはもうひとつ別の側面がある。高所あるいは水面を隔てた遠隔地にある目的物をドローンで偵察したのち、現地に赴いて調査する手順が踏めるようになった。地上からの踏査は時間と体力がかかり、1日がかりになることもある。従来の偵察は双眼鏡を用いていたが、これからはドローンを飛ばしてその目的物が現場に行つて詳しく調査するに値するかどうかを短時間で確実に調べることができるよう。人が山道を登り下りするには3時間かかる高度差500mを、ドローンは5分で上昇下降する。

パノラマ撮影の中でも球面パノラマの威力は絶大である。研究室に戻つてパソコン画面を操作すれば、あたかも自分がいま空中にいるかのようなVR感覚で地形をじっくり観察できる。球面パノラマを操作して初めて気づいた地形の特徴も多い。説得力のある画面がみつかったら、キャプチャして提示できる。

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。