

UAVを使用した景観の記録と教材作成の試み

松 尾 忠 直* 高 田 明 典**

キーワード：UAV、三次元モデル、景観、地理教育

I はじめに

1. 研究の目的と方法

授業で用いられる教材や機器は、技術的な進歩によって変化してきた。例えばそれは、黒板、ノート、実験器具、OHPやプロジェクターで投影されるスライド、タブレットPC、映像資料などである。特にタブレットPCやプロジェクターを授業で活用する機会が増している今日においては、画像や映像を教材として利用し学生の理解度を高めることが可能になっている。技術的な進歩の著しいUAV（Unmanned Aerial Vehicle, 無人航空機）は、今まで有人の航空機でしか撮影できなかった画像や映像を比較的安価で容易に撮影することができるため、教材の撮影に活用することが期待される。そこで本研究では、技術的な進歩の著しいUAVを活用して景観の記録を試みる。さらに、それを授業の教材として利用することを試み、そのための撮影方法や撮影後の処理の手順を明らかにする。

本研究では、DJI社のマルチコプターであるPhantom3 Professional（以下、P3P）を使用して教材の作成をする。DJI社のPhantomシリーズは、UAVの中でも比較的安価に入手できる機体である。飛行時間は条件にもよるがバッテリー1本で20～25分程度である。4K画質の高性能なカメラが標準装備され、動画や静止画を撮影することが可能である。マルチコプターとは、3つ以上のローターを搭載した回転翼機のこと、ローターが4つの場合にクアッドコプター、6つはヘキサコプター、8つはオクトコプターと称される。この機体には慣性計測装置またはIMU（Inertial Measurement Unit）といわれる機体の姿勢を制御するためのセンサーが搭載されており、スマートフォンやタブレットにインストールする専用のアプリケーションと組み合わせることによって自律飛行も可能となっている。動画を撮影する際にはあらかじめプログラムしたコースを自律飛行させ、操縦者が撮影に

専念することも可能である。

現地では、地域の景観を記録するためにUAVを飛行させ、俯瞰した視点から映像や画像を撮影した。さらに、撮影した画像をAgisoft 社 PhotoScan Professional（以下、PhotoScan）によって処理し、三次元モデルを作成した。

2. UAVと法律

日本において、UAVは通称ドローンとして知られている。技術的な進歩に伴って、誰もが容易に操縦できるようになったUAVは、いくつかの墜落事故等でニュースとなり、法律の整備が追い付かない状況にあった。その後、法律の整備が進み、現在では航空法や条例等での飛行に制限が設けられている。

2015（平成27）年9月に航空法の一部が改正されたことにより、2015（平成27）年12月10日からいわゆるドローンやラジコン機等のUAVの飛行ルールが新たに定められた。今回の法改正によって対象となったUAVは、国土交通省（2017a）によると「飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって構造上人が乗ることができないもののうち、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの（200g未満の重量（機体本体の重量とバッテリーの重量の合計）のものを除く）」で、いわゆるドローン（マルチコプター）、ラジコン機、農業散布用ヘリコプター等が該当する。

国土交通省（2017b）によると航空法では、空港等の周辺の空域、地表又は水面から150m以上の高さの空域、2015（平成27）年の国勢調査の結果による人口集中地区の上空で飛行する場合には許可が必要になった（図1）。また警察庁（2017）によると、小型無人機等飛行禁止法では、国会議事堂等、内閣総理大臣官邸等、対象危機管理行政機関の庁舎、最高裁判所、皇居及び御所、対象政党事務所、対象原子力事業所などの対象施設の敷地又は区域及びその周囲おおむね300メートルの地域（対象施設周辺地域）の上空において、小型無人機等の飛行

* 立正大学地球環境科学部

** 一般財団法人 日本地図センター

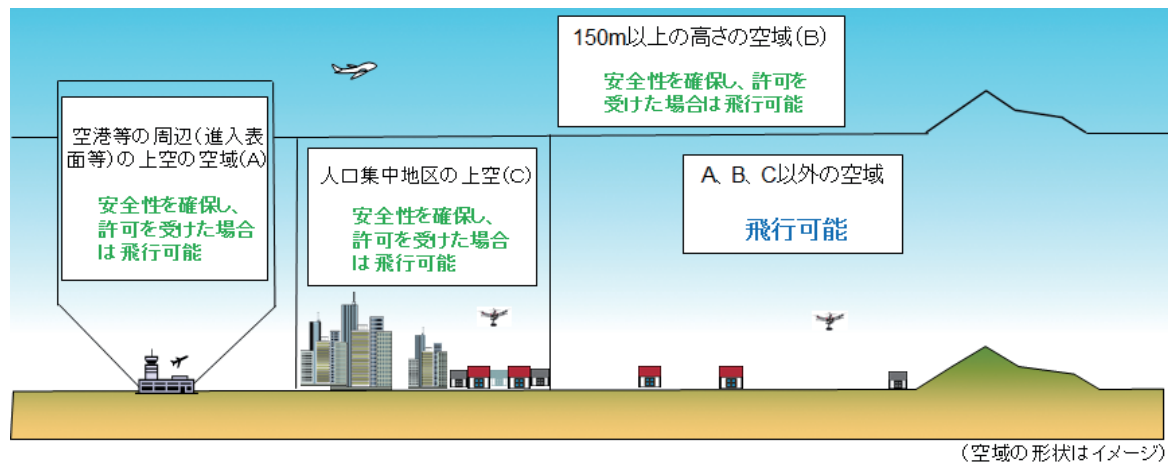


図1 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域（無人航空機（ドローン・ラジコン機等）の飛行ルール）
（http://www.mlit.go.jp/koku/koku_tk10_000003.htmlより引用）

が禁止されている。さらに、自治体独自に定めた条例等でUAVの飛行が禁止されている地域もあるため、その運用には慎重な姿勢が求められている。

このようにUAVの飛行に際しては、さまざまなルールが存在し、それらを理解した上で飛行させることが重要であり、今回の教材作成にあたってこれらのルールを理解した上でUAVを使用した¹⁾。

3. UAVの利用事例と先行研究

一般的にはマルチコプターのUAVに高性能のカメラを搭載したものが空撮や測量などに利用されている。特に空撮の分野では、テレビ番組等への利用が多くみられる。株式会社ヘキサメディア（2017）によると、ドローンを用いてテレビ番組、CM、ミュージックビデオ等を撮影している企業もみられる。また、TBSテレビで2017年10月から12月にかけて放映された日曜劇場『陸王』でもドローンの空撮映像が多用されるなど、その利用が映像業界を中心に進んでいる。国土地理院（2017a）では、災害時の被害規模を把握するために航空機等による目視、撮影等に加えて、無人航空機による災害調査も実施している。平成27年9月関東・東北豪雨、平成28年熊本地震、平成28年台風第11号（北海道）、平成28年台風第10号（岩手県）などでは、実際に撮影された画像や映像が公開された。

また、測量分野では、国土地理院（2017b）が「無人航空機（UAV）を用いた公共測量」についてマニュアル（案）を公開している。これはUAVで撮影した空中写真を用いて、標定点や対空標識を用いることによって、高い精度を求めるものである。さらに、リーグルジャパン株式会社（2017）によるとUAV用に開発されたレーザーキャナーを用いる動きもみられるようになってお

り、今後の進展が期待される。

この他にも産業用の無人ヘリコプターが農薬散布に利用されているが、この分野にもマルチコプターのUAVが登場し利用されている。また、過疎地や離島への物流にUAVを利用する試みもみられるようになっている。

地理学においては、泉（2014）が東日本大震災後の復興過程のアーカイブにUAVを利用している。濱・田中・近藤（2015）は、農業・外来種・放射能のモニタリング、土地利用解析にUAVを利用している。特に田中（2016a, b, c, d, e, f）では、詳細なUAVの活用方法が示されており、地理学におけるその活用方法の示唆を得ることができる。ドローンを活用した土地利用調査には、川内村で2015年に農地の利用調査を実施²⁾したものがある。しかし、地理学においてUAVを利用した取り組みは少ない状況にある。

II 景観の記録とその手順

UAVを飛行させるためには法律や条例を理解する必要がある。今回は、北海道空知郡南富良野町で農業を営む法人の協力を得て、UAVを農地の上空で飛行させた。現地では2017年6月、8月、9月の3回にわたって撮影を実施し、季節によって景観がどのように変化するかを記録した。8月と9月には、東京航空局新千歳空港事務所に許可申請書を提出し事前に許可された後、150m以上の高度での撮影も実施した。なお、操縦者は日本全国の「人又は家屋の密集している地域の上空」、「夜間飛行」、「目視外飛行」、「人又は物件から30m以上の距離が確保できない飛行」の許可・承認を受けている。撮影に際しては安全に配慮して飛行した。

1. 映像と画像による景観の記録

本研究で用いたP3Pは4K画質の動画を最大30フレーム/秒で撮影できる。f 値は2.8、レンズの焦点距離は20mm（35mm換算）、1/2.3型のCMOSセンサーを搭載している。映像は64GBのマイクロSDにMP4やMOVの形式でデータが保存されるため、それらを各種編集ソフトで予習用動画等に加工することは容易である。

撮影の際には以下の点に留意した。第1に太陽の向きである。P3Pの背後から日射を受けるように動画を撮影し、逆光によって映像が乱れないように配慮した。第2にP3Pの移動速度である。P3Pは機敏な動きが可能ではあるが、できる限りゆっくりと飛行させ映像を撮影するように心がけた。これは撮影された映像を視聴する学生への配慮である。第1と第2については、一般的な動画を撮影する際にも用いられるテクニックである。

第3に地上での農作業等をしている作業者の確認である。不測の事態としてUAVが制御不能となることも考慮し、周囲の安全を確認する人員を配置し作業者等が撮影範囲に不在であることを確認した。第4にUAVのバッテリーの温度である。9月の撮影では最低気温が10度を下回る日があったため、バッテリーの温度の低下には留意した。UAVに一般的に用いられているリチウムポリマーバッテリーは、バッテリーの温度低下による出力の低下が著しい。バッテリーの温度が低くなってしまうと、操縦用のアプリにエラーが表示され、最悪の場合は離陸できなくなってしまう。また、バッテリーの温度が低い場合にはホバリング等でバッテリーの温度を上げる必要があり、撮影のために飛行できる時間が極端に短くなってしまう。そのため、バッテリーの温度を20度以上に保つよう使い捨てカイロとともにバッグに収納するようにした。第5に、カメラやプロペラの取り付けなど、UAV本体が正常に動作するかの入念な確認である。実際にカメラの傾きを安定させるジンバルに不具合が生じてしまい、予備機を使用した場合もあった。撮影の際には予備機、多くの予備バッテリー、修理用のパーツなどを用意しておくことも重要であった。

UAVを飛行させて撮影する際には1度にすべてを撮影しようとはせず、入念な撮影の計画を練る必要がある。何を、どのような構図で、高度で、速度で撮影するかを確認しUAVを飛行させた。まずは実際に撮影が可能かを判断するために、テスト飛行する。この飛行だけでバッテリーを1本消費することもある。次に、本番用に飛行し、実際の撮影をした。その際には雲の動きによる日差しの変化も考慮し、離陸と撮影のタイミングを計算



図2 南富良野町の農業景観（筆者撮影）

して飛行した。

また、DJI 社 GS Pro（以下、GS Pro）というアプリを使用すると、事前にアプリに入力した高度、速度、コース等で自律飛行が容易になる。これによって、UAVの飛行をアプリに任せられることができるようになり、操縦者は映像の記録の作業、すなわち搭載されているカメラの操作に専念することができるようになる。今回の撮影においてもそれらの機能を使用した。図2は高度約300mから撮影した農地の景観である。後方には十勝岳連峰が確認できる。

2. 三次元モデルによる景観の記録

本研究で用いたP3Pは、最大静止画サイズ4000ピクセル×3000ピクセルの画像を記録することができる。今回は、この静止画をP3Pによって広範囲に撮影し、PhotoScanを用いて処理し、三次元モデルやオルソ画像を作成した。ここではその手順を説明する。

三次元モデルなどを作成するためにDroneDeploy社 DroneDeploy（以下、DroneDeploy）というアプリを使用してP3Pを飛行させた。他にもGS Pro、Pix4D社 Pix4Dcaptureなどが撮影用のアプリとしてある。アプリごとに操作の特徴は異なるが、共通するのは高度、速度、オーバーラップ、サイドラップなどの値を簡単に設定して撮影できる点にある。なお、国土交通省への飛行許可等の申請時にGS Pro以外のアプリで申請すると改造と判断されてしまう場合があり、手続きが煩雑になる場合がある。

今回の撮影では、図3の範囲で撮影を実施した。面積にして約50haである。オーバーラップ85%、サイドラップ65%、高度100m（以下の高度はすべて地表面からの高度である）、アプリ上では地上分解能は3cm /pxと表示

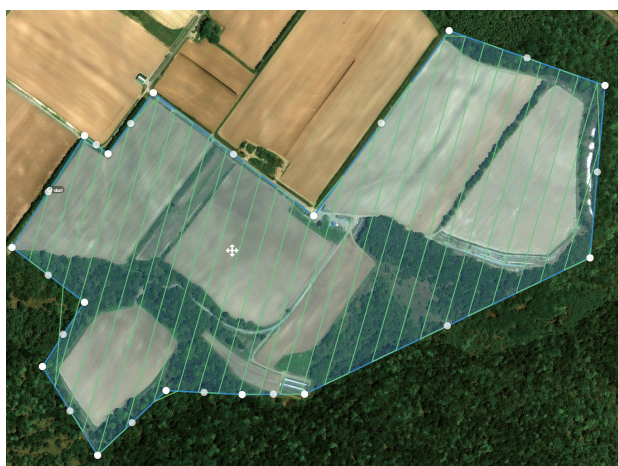


図3 DroneDeployの画面上での撮影範囲の設定の様子（筆者作成）

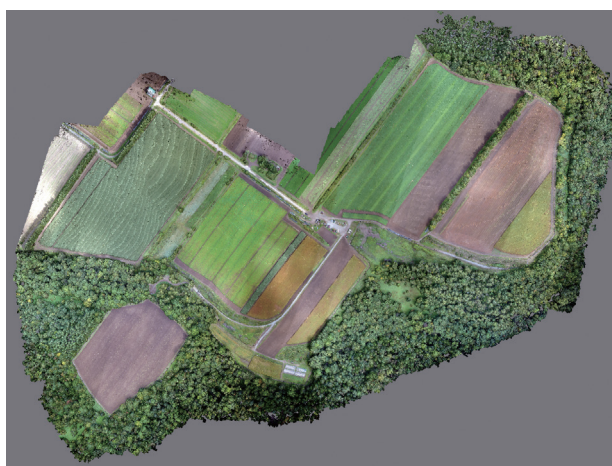


図4 高度100mの画像を用いたDense Cloud（筆者作成）

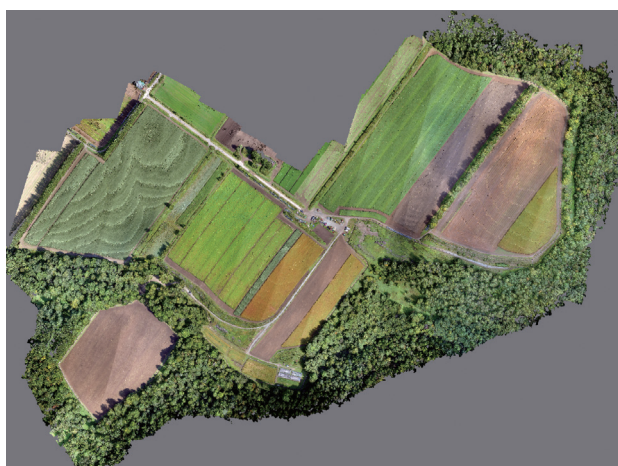


図5 高度75mの画像を用いたDense Cloud（筆者作成）

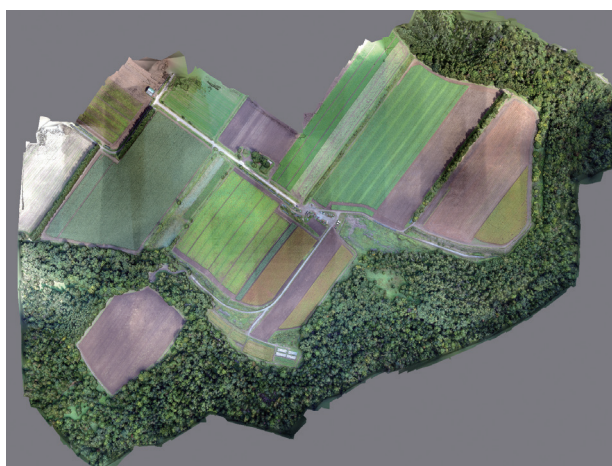


図6 高度145mの画像を用いたDense Cloud（筆者作成）

表1 撮影高度別の諸元

地表面からの高度	100m	75m	145m
オーバーラップ	85%	85%	85%
サイドラップ	65%	65%	65%
撮影枚数	743	1278	377
撮影に必要な バッテリーの本数	2	4	2
Dense Cloudの ポイント数	172,377,669	270,265,311	91,728,267
オルソ画像の 解像度	31,502× 22,732	40,314× 29,682	22,450× 17,362
オルソ画像の 分解能	4.16cm /px	3.14cm /px	6.03cm /px
アプリ上での 分解能	3cm /px	2.2cm /px	4.3cm /px

された（表1）。撮影時間はバッテリー交換1回を含めて約40分程度、撮影枚数は743枚であった。オーバーラップ85%、サイドラップ65%で高度が75mの場合は、撮影枚数が1,278枚でバッテリー交換3回を含めて撮影時間は1時間以上であった。高度145mの撮影枚数は377枚で、バッテリー交換1回を含めて約20分程度であった。

撮影された画像にはGPS/GLONASSによって得られた緯度、経度、高度が記録されるため、これら进行处理するためにPhotoScanを用いることによって三次元モデルを作成することが可能である。今回はGCP（地上基準点）を設定せずにPhotoScanの3D点群生成（ポイントクラウド）機能によって三次元モデルを作成した。そのため、GCPや対空標識を用いてPhotoScanで処理する場合よりも作成された三次元モデルやオルソ画像の精度は若干劣るが、景観の記録という目的においては問題がないと考えた。

PhotoScanに撮影した画像を取り込んだ後は、Workflow

で各種処理を実行し三次元モデルやオルソ画像を作成した。図4は高度100mから撮影した画像を処理して作成されたDense Cloud (172,377,669points, High quality)である。図5は高度75mのDense Cloud (270,265,311 points, High quality)、図6は高度145mのDense Cloud (91,728,267points, High quality)である。作成されたオルソ画像は高度100mで31,502×22,732 (4.16cm /px)、高度75mで40,314×29,682 (3.14cm /px)、高度145mで22,450×17,362 (6.03cm /px)であった。

高度を下げれば分解能は高くなっていくが、撮影枚数が増加しPhotoScanでの処理に膨大な時間が必要となってしまう。高度100mの処理に約1日、高度75mの処理に1日半から2日、高度145mの処理に半日程度必要であった。画像処理に使用したパソコンは、Windows10 Pro、Core i7-3770、メモリ32GB、NVIDIA GeForce GTX680 (メモリ4GB) というスペックである。このパソコンは2012年頃のハイエンドよりのモデルではあるが、処理には時間がかかってしまった。処理速度を上げるためには、マルチCPUマザーボードの使用、メモリ128GB以上、GPUをSLI化するなどが有効であるとされている³⁾。

Workflowで高い品質の処理を実行すると負荷が高すぎてパソコンがフリーズしたこともあった。そのため、P3Pを使用して撮影する場合は、50ha程度で撮影の高度を100mとするのが適当であると判断した。また、オーバーラップ90%、サイドラップ70%とすることで精度を高くすることが可能になるが、撮影時間や処理の時間を考慮し、それぞれ85%と65%に設定した。これらの作業手順については、国外の利用者がYoutubeでチュートリアル動画を公開しており、それらも参考になった。

Ⅲ UAVを活用した教材作成の意義と試み

UAVによって撮影された映像や画像を、実際に教材として使用している授業は、残念ながら未だ多くはない。また、教材としての開発も十分ではない。その要因の一つとして、上述したように自らが撮影し、その撮影したデータをPhotoScan等の画像処理ソフトで処理する必要があり、加工が煩雑であるという事がある。

しかし、UAVによって撮影した映像や画像、画像処理によって作成した三次元モデルやオルソ画像は、作成時の煩雑さや困難さを除けば、授業での活用が容易であり、新しい地域資料として利用が期待される。特に、地理学では従来から地図や空中写真を教材として用いることが多く、さまざまな地形、景観、土地利用を学ぶため、



図7 高度145mの画像を用いたオルソ画像 (筆者作成)

UAVによって撮影した映像や画像がそれらに加えて活用できる。また、従来から土地利用の状況等を示す資料として活用されてきた空中写真等は、撮影時期や撮影範囲が必ずしも調査対象地域と合致しない場合があった。しかし、UAVを活用すれば、撮影時期や撮影範囲が合致しないという問題点は解消される。また、撮影データの蓄積が進めば、将来的に過去の状況を考察する際の貴重なオリジナルの資料となる。

地球環境科学部地理学科の「地域景観の保全と復原」の授業では、景観の記録方法、景観が記録された史資料の活用方法を学ぶ機会があり、その中で四季によって移り変わる景観をUAVによって記録した映像や画像を有効に使用することが可能である。2017 (平成29) 年度の2期の授業では、千葉県長南町周辺の空中写真や地籍図、土地台帳から過去の同地域の景観を復原することを試みる作業がある。実際に筆者らは、千葉県長南町においてUAVを用い、従来から授業で活用している空中写真や地籍図と同じ範囲を撮影した。その撮影したデータをPhotoScanで画像処理し3D化した (図7)。この3D化した画像等を教材として用いる事により、受講生が空中写真や地籍図等では得られなかった情報を読み取り、過去の景観との差異を考察する際の一助となる。「地域景観の保全と復原」の授業では、「UAVにおける教材作成・使用」と同時に、「景観を記録する新たな方法としてのUAVの活用」についても講義した。

IV UAVを活用する上での課題

映像、画像、三次元モデルなど、UAVを利用することによって、今までにはない景観の記録や教材としての活用が可能になるが、そこには課題もある。第1に、操縦者の確保である。UAVはセンサー等によって安定した飛行が可能になっているが、安全に飛行できるようになるには、かなりの練習時間を確保する必要がある。センサーの故障⁴⁾、操縦するための情報が表示されるタブレットPCの不具合⁵⁾、天候の急変⁶⁾ などリスクは常にある。これらのリスクを理解した上で、安全に飛行するためには、操縦者に高いスキルが求められる。自己流でUAVを飛行させることは誰にでもできるが、墜落やケガなどのリスクに対する認識が不十分な操縦者もみられるのが現状である。

第2に安全の確保とそれに伴う費用である。撮影の際には、操縦者以外に人員を確保し、周囲の安全を保つ必要がある。操縦者以外の人員の確保が必要となるため、遠方で撮影する場合には、交通費や宿泊費等が負担になる。

第3に住宅密集地等の飛行が困難な場所での飛行である。南富良野町の撮影では、農地の上空であったため墜落によるリスクは住宅密集地よりも低く、三次元モデルを作成するための飛行も容易であった。しかし、住宅密集地等の三次元モデルを作成する場合には、墜落のリスクを考慮するとその上空での飛行は容易ではない。新たな景観の記録が可能になっても、それが容易にできる地域とできない地域がある。より安全に飛行できる機体の開発や、UAVに対するネガティブな認識が改善されることを期待したい。

V おわりに

本稿では、技術的な進展の著しいUAVを利用して景観の記録を試みた。それを授業の教材として利用するための撮影方法や撮影後の処理の手順について明らかにした。映像や画像の撮影においては、ビデオカメラやデジタルカメラによって景観を記録する場合と同様の配慮が必要であることが明らかになった。また、画像処理ソフトを使用して三次元モデルを作成する場合には、測量分野で用いられている方法を援用することで景観が記録できることを明らかにした。

UAVを活用する上での課題も明らかになった。操縦者、安全を確保するための人員の確保など、人的な課題

があった。また、UAVのイメージは、さまざまな事件や事故の影響もあり、一般的にはあまり良いものではない。そのため、住宅密集地での飛行は容易ではない。

UAVを利用することのメリットは大きく、今まではセスナやヘリコプター等による空撮でしか得られなかった映像や画像が容易に入手できる。季節的な変化を定期的に記録することも容易になるため、景観の記録への活用も期待される。それらを授業の教材として活用することによって、学生の理解が深まることが期待される。現在はマルチコプターのUAVが多く利用されているが、固定翼で自律飛行が可能なUAVも高価ではあるが多く発売されるようになってきている。一般的にマルチコプターよりも固定翼は飛行時間が長く、飛行速度も速いため、より広い範囲を短時間に撮影することが可能になる。さまざまな制度の整備が進み、UAVの技術的な進展が続くと、今までにはない景観の記録とその教材としての活用が進むと考えられる。

謝辞

UAVによる撮影、撮影された画像の処理においては、その設定や手順等についてUAVを使用した数多くの研究を行っている一般財団法人日本地図センターの田中圭上級研究員に貴重なアドバイスを頂戴した。ここに記して感謝申し上げます。

本稿で紹介したUAVの撮影には文部科学省「大学教育再生加速プログラム」の補助金の一部を使用した。

参考文献

- 泉 岳樹 2014. UAVを用いた東日本大震災復興空撮アーカイブの試み. 日本地理学会発表要旨集2014s.
- 田中 圭 2016a. 地理に使える低空撮ガイド① 低空撮のツールとルール. 地理61-6, 36-41.
- 田中 圭 2016b. 地理に使える低空撮ガイド② 身近な事物を記録する. 地理61-7, 4-11.
- 田中 圭 2016c. 地理に使える低空撮ガイド③ 低空撮から地図を作る. 地理61-8, 60-67.
- 田中 圭 2016d. 地理に使える低空撮ガイド④ 地域の様子を探る. 地理61-9, 54-61.
- 田中 圭 2016e. 地理に使える低空撮ガイド⑤ ドローンでおいしいお米を作る. 地理61-10, 76-81.
- 田中 圭 2016f. 地理に使える低空撮ガイド⑥ 使える工夫・様々なドローン. 地理61-11, 66-72.
- 濱 侃・田中 圭・近藤昭彦 2015. 地理学の手法としての小型UAV, SfM-MVS 一実例を中心に. 日本地理学会発表要旨集2015a.

参考website

株式会社ヘキサメディア 2017. 映像空撮

<http://www.hexamedia.co.jp/movie/>

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

警察庁 2017. 小型無人機等飛行禁止法関係

<https://www.npa.go.jp/bureau/security/kogatamujinki/index.html>

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

国土交通省 2017a. (1) 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域について

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000041.html

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

国土交通省 2017b. 飛行ルールの対象となる機体

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000040.html

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

国土交通省 2017c. 無人航空機の講習団体及び管理団体を航空局ホームページへ掲載について

http://www.mlit.go.jp/report/press/kouku10_hh_000106.html

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

国土地理院 2017a. 無人航空機 (UAV) を活用した国土地理院の災害対応

<http://www.gsi.go.jp/common/000150883.pdf>

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

国土地理院 2017b. 無人航空機 (UAV) を用いた公共測量

<http://psgsv2.gsi.go.jp/koukyou/public/uav/>

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

テガラ株式会社 2017. 「Agisoft PhotoScan」での実行時間測定・考察

<https://www.tegara.com/news/2017/09/agisoft-photoscan.html>

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

リーグルジャパン株式会社 2017. UAV レーザースキャナー

<http://www.riegl-japan.co.jp/product/uasuv/>

(最終閲覧日: 2017年12月7日)

注

1) DJI JAPAN株式会社が主催するドローン・マルチコプター操縦者向けの民間資格DJIスペシャリストを取得し、安全管理に十分に配慮して撮影した。UAVの操縦や安全管理については自己流で修得することが難しく、各種団体が実施する講座等で技術や安全管理について学ぶことが望ましい。国土交通省 (2017c) においても、所要の条件を満たすことが確認できた無人航空機の講習団体及び管理団体を掲載している。「今後、HPに掲載された講習団体の講習を修了した者は、無人航空機に係る飛行許可申請を行う際には、無人航空機の操縦の知識や能力に関する確認を簡略化することができます。」としている。

2) 毎日新聞の平成27年5月26日の「ドローンで農地調査」記事による。

<http://www.bbb-fukushima.org/2015/06/doron/>

3) テガラ株式会社 (2017) によると、PhotoScanのバージョン1.2.4に比べ、1.3.2では処理速度が大幅に向上したとされており、パソコンのGPUの性能も処理速度を向上するためには重要であるとしている。

4) 持ち運び時の衝撃によって故障する場合がある。

5) 夏の高温時にUAVを飛行させた際、アプリを操作するためのタブレットが高温のために操作不能となり強制終了した。そのため飛行高度や現在位置等の情報が全く確認できなくなったことがある。その際には、目視により速やかにUAVを着陸させ飛行を中止した。このような不測の事態に備えるためにはセンサーに頼らない操縦方法を修得している必要がある。

6) 撮影中に急な雨が降ると、UAVに不具合が生じる可能性が極めて高くなる。

Create teaching materials and landscape archive using UAV

MATSUO Tadanao*, TAKADA Akinori**

* Faculty of Geo-environmental Science, Rissho University

** Japan Map Center

Key words: UAV, 3D Model, landscape archive, geographic education