

# 教育における無人航空機使用の有用性

\* 渡 辺      尚 • \*\* 小 松      舜

Utilization and the prospects of a drone at an educational site

WATANABE Naoshi and KOMATSU Syun

## Abstract

In this research, we define a drone as "an aircraft that can be operated remotely and has no people on board". The aim was to examine, from the superiority and market size relative to similar technologies, the possibility of using a drone at an educational site. In particular, regarding the possibility of utilization, we examined the specifications of a drone in terms of to what extent the performance can be demonstrated experimentally. For example, we examined whether spraying experiments for seeds, for example, are possible with a commercially available drone, and what conditions are required if it is possible. Regarding the creation of a 3D model typified by VR (Virtual Reality), the degree of usefulness in the case of using the drones can be determined by the degree of seasonal change of conditions such as day and night conditions and snowfall, which influences the creation of the 3D model. As a result, it was difficult to create a simple 3D model using images taken at night, while it was possible to create a 3D model at the time of snowfall, and it could be confirmed that we could hope for utilization. On the other hand, by observing the time of going back and forth from the air, we verified such a utilization as traffic safety guidance. In a quiet environment, it turned out that there was a possibility that a pedestrian's attention would be distracted by the flight sound emitted from the drone shooting in the sky, but we showed that it can be a generally effective means.

## 要 旨

本研究では、ドローンを「遠隔操作が可能かつ、人が搭乗していない航空機」と定義し、類似技術との比較を通してその優位性と市場規模から、教育現場におけるドローンの利活用の可能性を模索することを目的とした。

特に、利活用の可能性については、仕様として示されるドローンのスペックを、実験によりその性能をどの程度発揮できるかについて検討した。例えば、種子などの散布実験が市販のドローンで可能であるか、また可能であればどのような条件が必要となるかについて検証した。また、VR (Virtual Reality) に代表される 3D モデルの作成についても、ドローンを活用した場合の有用性について、昼夜の条件や、降雪時などの季節の変化条件によって、どの程度のレベルで 3D モデルの作成に影響されるのかについても検証した。その結果、夜に撮影した画像を用いての簡易的な 3D モデルの作成が難しいこと、一方で降雪時における 3D モデルの作成は可能であり、利活用が望めることが確認できた。一方、上空から登下校時を観察することで「交通安全指導」などの利活用について検証を行った。静かな環境では、上空で撮影しているドローンから発せられる飛行音によって、歩行者の注意がそらされてしまう可能性があることが判明したが、概ね有効な手段になりうることを示せた。

**Key words :** 理科教材、防災教育、落下実験、ドローン、UAV

---

\*      理科教育講座 Division of Science Education

\*\*     株式会社エデュソル Edusol Inc.

## 1. はじめに

### 1-1. ドローンに関する概要

テレビやニュースで取り上げられる「ドローン」といえば、図1のような「プロペラが4枚付いているもの」が一般的である。このドローンという言葉の語源は、英語の雄蜂（Drone）に当たり、転じて「軍隊の一部、ブーンとなり続ける低い音」という意味を表す。具体的には、1937年にアメリカがイギリス海軍の無人標的航空機「Queen Bee」に対抗して名付けたことが始まりであったとされるが、今では軍事的な専門用語としてではなく、民生用語として広く使われている。

しかし、実際のところドローンという言葉は無人航空機（Unmanned Aerial Vehicle）と同じ意味として使われることが多く、つまりは「遠隔操作が可能かつ、人が搭乗していない航空機」として扱うのが適切とされる。図1のように周知されている「ドローン」は、ドローン・無人航空機の中でも更にプロペラが4枚であるクアッドコプターに分類される（図2）。ここでは、ドローンの分類や類似技術について簡単に取り上げ、整理する。



図1. メディアに取り上げられるドローン  
(機種名 Phantom 3 Professional)

図2に示す通り、ドローン・無人航空機は更に回転翼機や固定翼機、飛行船気球タイプに分けることができる。それぞれの特徴については表1にまとめておく。

表1から分かる通り様々なタイプがあるものの、飛行時間や安定度、用途に応じて使い分ける必要があり、単純な優劣はつけにくい。

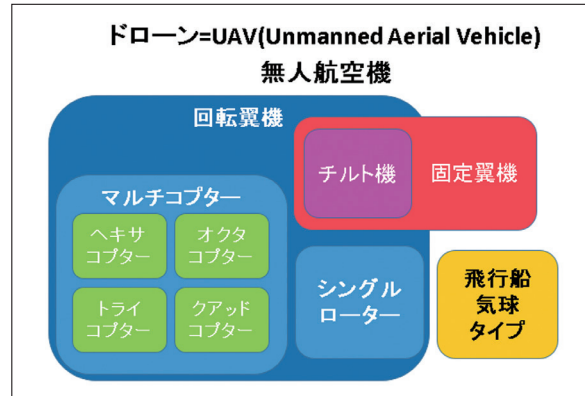


図2. ドローン (UAV) の種類

表1. ドローン (UAV) の種類ごとの特徴一覧

回転翼機	プロペラが回ることによって揚力・推力を生みだし、ホバリングや垂直離陸を可能なタイプ。プロペラが1枚のものを「シングルローター」、複数のプロペラ（ローター数を3つ以上）を持つものを「マルチコプター」と呼び、その枚数に応じて「トライ・クアッド・ヘキサ・オクタコプター」と分類できる。
固定翼機	飛行機などの羽が固定された航空機を指し、前進することで揚力を生み出すタイプ。
チルト機	オスプレイに代表される回転翼機と固定翼機の長所を併せ持ったタイプ。
飛行船・気球タイプ	空気より軽い気体を利用した浮力によって飛行するタイプ。

本研究では消費者向けから商用市場まで世界で7割のシェアを誇り、日本で初めてドローンのCM<sup>1</sup>を放映開始するなど、これからの発展が期待される DJI 社のクアッドコプター「Phantom 3」（図1）を活用した。

### 補足資料1 クアッドコプター概説

通常、クアッドコプターには、次のように右回り・左回りのローター（本論文ではプロペラと同義として扱う）が交互に配置されている。

回転翼機は表1に示すとおり、ローターを回転させることで揚力や推力を生みだし、機体を上昇させている。しかし、ドローンを上昇させる場合、全体の質

1 株式会社セキドが DJI 社商品のテレビ CM を、2016年12月24日（土）にテレビ朝日系列全国24局にて初放映した。その際紹介した機種は、Mavic Pro と Phantom 4 Pro の2種類であり、2連続放映となった。

量に対してローターの占める割合が大きいため、本体にローターの回転方向と逆方向の力が発生する反トルクと呼ばれる現象が発生する。シングルローターであれば、テールローター（図3）により反トルクを打ち消す向きに力を発生させる方法で対応しているが、マルチコプターにおいてはローターの方向を図4のように取り付けることで対応できる。1つのローターで発生した反トルクを、その隣にあるプロペラが発生する反トルクで相殺していることが分かる。一般的にこのローターの数が多いほど安定した飛行が可能であるとも言われている。

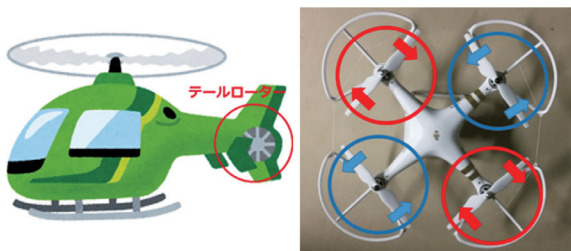


図3（左）ヘリコプター、図4（右）クアッドコプター

また、全てのローターの回転数を同時に増加・減少させることで、上昇と下降を、前後・左右の回転数を別々に増減させることで機体を傾け、進路を変更することができるのも回転翼機の特徴である。

このようにドローン自体は簡単な機構によって構成されている。しかし、実際に飛行させる場合、屋外であれば自然風などの影響が考えられ、前述した装置だけでは安定したホバリングを行うことは難しい。昨今では、対策として飛行位置を検知するためのGPSセンサーや、絶対圧センサー、飛行姿勢などを検知する加速度・角速度センサー、機首方向を検知する磁器センサー、安全に着地するためのレーザセンサーなど、数多くの装置を搭載し、誰でも安全に使用できるよう改善されている。

## 1-2. ドローンの利点・問題点

本章では入手しやすい無人航空機である一般的な「ドローン」と従来のラジコンとを比較し、利点と問題点について整理することを目的としている。



図5（左）ラジコンヘリ、図6（右）ドローン

ラジコンという言葉は、「ラジオコントロールの略」であり、車や飛行機の模型を無線操縦で動かす玩具の商標名<sup>2</sup>と記載<sup>i</sup>されており、前述したドローンの定義「遠隔操作が可能かつ、人が登場していない航空機」に類似している。

しかし、2つの大きな違いとしてラジコンはあくまで「玩具」の商標名であり、つまりは娯楽を目的として開発されたものだという点が挙げられる。2つの外見を見比べても、機能性を追求しているのか、見た目を追求しているのかで判断できるものが多い。今では、双方ともに娯楽、産業のどちらに対しても普及しているが、もともとの目的には大きな違いがあったことが分かる。「娯楽」のために作られたラジコンと、「産業」のために作られたドローンとでは求められるハードもソフトも異なっており、事実、ラジコンの技術開発はほぼ完了し、市場は縮小する一方、多岐に渡る実用が期待されるドローンの市場は拡大し続け、需要も高まっている。

具体的にこの2つの間には、技術開発により生まれた「自律飛行の可否」という大きな違いが存在する。自身で操作すること自体を楽しみ、目的とするラジコンとは異なり、ドローンは軍事や農業、運搬といった産業での活用に向けた開発が継続して行われている。つまりは、それを操作すること自体の意味は薄れ、技術が発展していくにつれ、低コスト化、機動性の観点から自律飛行の技術が進歩することとなる。2017年の最新モデルでは飛行中に障害物を瞬時に認識し、新たな飛行経路を作成、リアルタイムに処理する技術が実現している。この点こそが、ラジコンとドローンの大きな違いといえるのではないだろうか。

2017年1月には、経済産業省らにより、世界初となる完全自律制御による12kmの長距離荷物配送の飛行実証試験を実施し、成功したことがメディアで取り上

2 株式会社増田屋ホールディングスが1955年に特許を出願し、継続中である。

げられていた。ドローンが、ラジコン以上に私たちの身近なものとなることは間違いないだろう。

### 1-3. ドローンの利活用

「空の産業革命」と称されるドローンは特定の分野に限らず、多岐に渡る活用の研究が進められている。関連するイベントも日増しに増えており、一概に分類することは難しいものの、産業における用途の内、主要なものを下の表2に整理した。

この他、昨今では「トイドローン (toy drone)」と呼ばれるような娯楽を目的としたものも数多く発表されているものの、日本で現在最も需要が高く、市場規模の大きい用途は農業だと発表されているのを散見する。そもそも、日本は最も早くラジコンを農業に取り入れるなど、この分野においては先進国であり、高齢者問題と後継者不足を抱える農家においてこの分野の技術向上は必要不可欠と言えるだろう。

表2. 産業におけるドローンの主な利活用

空撮	メディア	ドローンの空撮映像や中継機能を活用し、新しい映像作品を手軽に作ることができる。
	スポーツ	迫力あるスポーツ中継が手軽となり、かつ新たな視点から撮影することでトレーニング、戦略や戦術を効果的に改善・実施することができる。
	警備・監視	数多くの警備会社がドローンによる追跡機能等を活用し、サービスを提供することでコストの低下が期待される。
	測量・点検	施設やインフラの管理・点検に活用することで、建設・土木関連企業による調査が容易となる。
運搬	物流デリバリー	空域を活用することで物資を低コストかつ迅速に輸送することができる。
	競技	ドローンレーシングやドローンサッカーなど、各種競技がテレビで放映されるほど浸透してきている。
複合	災害・救助	防災における活用として危険地帯の被災状況把握に、被災時の対応として救護人・救護物資の迅速な輸送に活用できる。
	農業	従来の製品、委託の費用租削減し、低コストかつ個人で農薬散布と生育調査を容易に行うことができる。

農業を中心として始まったドローン産業だが、日本は勿論、海外でも様々な企業や研究機関がその有用性と新規性に注目し、研究と商品化が進められている。具体的にアメリカの Amazon.com, Inc. では、2013年に空の宅配サービス「Amazon Prime Air」を発表し、2016年12月7日には民間テストを成功させており、翌年1月6日には配達の母船となるような「空飛ぶ倉庫」の特許を獲得していたことが公となった。他にもセコムや ALSOK、Alarm.com が警備を目的に、NTT ドコモ、ソフトバンク、KDDI などの有名企業が実用化に向けた開発を行っており、測量では国土地理院が「UAV を用いた公共測量マニュアル (案)」と「公共測量における UAV の使用に関する安全基準 (案)」を作成・公表し、ドローンによる産業革命に備え始めている。

### 1-4. ドローンの市場規模

様々な企業が台頭してきたドローン産業の市場については、需要が高く、数多くの調査報告が挙げられている。以下に公表されているドローン市場調査の一部<sup>ii)</sup>を記載させていただく。

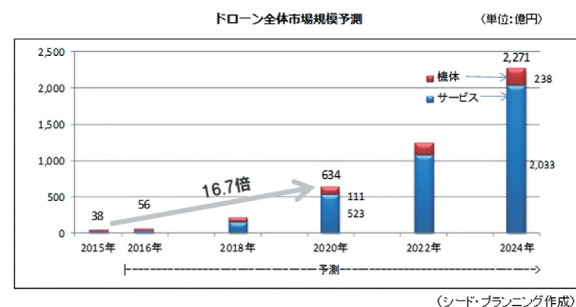


図7. 日本における市場規模予測

この図7の市場規模予測は株式会社シード・プランニング<sup>3)</sup>が2016年5月6日に発表したものである。5年でドローンの市場が16.7倍となり、その後も対数関数的に増大していくことを予測している。その予想通り、様々な企業がドローンを導入し、様々な新サービスを開発、提供することを試みており、インターネットで検索すれば、多くの情報が確認できる。

次に示す図8は、同社による市場規模をそれぞれのサービス毎に分類したものであり、利活用の割合がそれぞれの期待度として確認できる。

3 1983年に設立し、市場調査とコンサルティングを主に専門としている企業。



1-3.でも述べた通り、日本は農業におけるドローン活用の先進国であることが図8からも判断できる。しかし、今後様々な企業による開発が進むにつれ、整備・点検や倉庫といったあまり活用されていなかった分野での活用が増えると予測される。これは、ドローンがラジコンなどの既存の技術とは異なるものであり、新たに利活用が模索されるものであることを示している。また、ドローンのハードの開発は進んでいるものの、利活用の方法、ソフトの開発が未熟であることも考えられる。

### 1-5. 学校とドローン

教育現場においても同様に数多くの企業が台頭し、学校や行事のプロモーションビデオの撮影、スポーツでの活用、高度や気温などを調査した報告<sup>iii</sup>が散見され、それらを売りとする企業も数多く台頭してきている。(ドローンを活用した卒業アルバムなどの校舎空撮などは、既に実施されている。)私たちは、子どもたちを育む教育現場での活用に注目し、ドローンの使途と現時点での有用性についていくつかの実験をもとに検証することを目的とした。

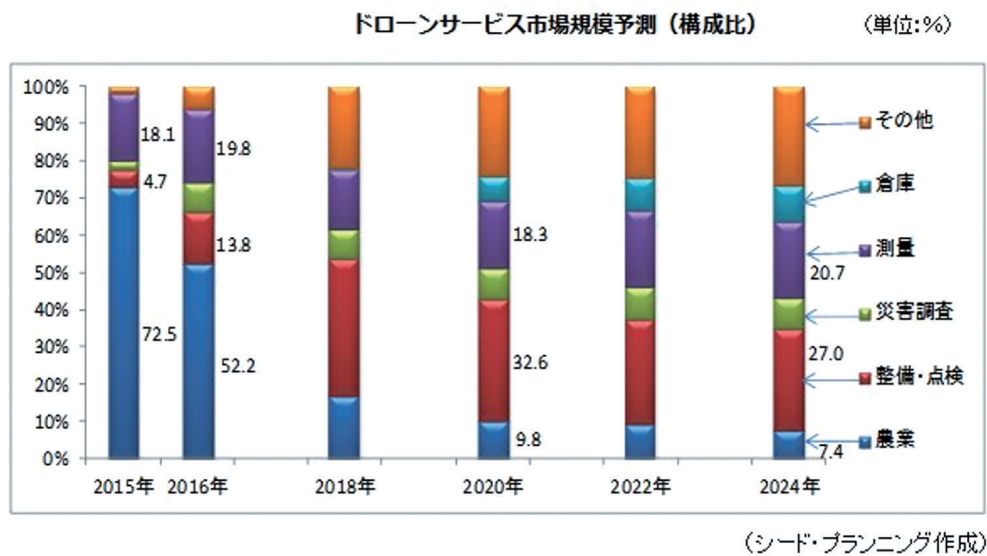


図8. 日本におけるサービス別市場規模予測

## 2. 方法

### 2-1. 理科教育における活用

ここでは「1. はじめに」を受けて、教育現場におけるドローン活用の可能性を整理することを目的としている。まず初めに教科書や学習指導要領等を参照し、ドローンを活用することが可能と思われる単元を次の表3のようにまとめた。

生物分野においては、従来よりも多くの映像資料が活用されるようになって予想した。ヘリコプターや飛行機等の大掛かりな準備をせず、ドローンを使用することで誰もが上空からのFPV (First Person View)<sup>4</sup>

表3. ドローンと理科教科書における関連性

生物分野	植物の世界	空撮映像とドローンを活用した実験による学習
	生物の変遷と進化	空撮映像による自然界の生物の映像を活用した学習
	自然のなかの生物	空撮映像を用いての新たな映像による学習
地学分野	大地の変化	計測機器を搭載しての簡易的なデータの収集
	気圧と風	空撮映像と計測機器を活用した天気学習
	天気の変化	ある程度の高さを持った物体の運動の観察
物理分野	物体の運動	高さを持った物体の運動によるうなりの観察
	音 (うなり)	

4 日本語訳では一人称視点と訳することができる。まるでドローンに目があるかのようにパイロットがカメラを通して操縦できることを意味する。

が可能となるからである。疑似的な飛行体験を通して自然が一望できるとあれば、知的好奇心が高い子どもは勿論、多くの大人も興味・関心を抱くだろう。これはホビー用のドローンが急速に普及し、遂に生産が追い付かなくなったという米国のニュースや、クラウドファウンディングによるホビー向けドローン<sup>iv</sup>（図9）の開発からも裏付けできる。



図9（左）クラウドファウンディングによるドローン<sup>v</sup>，  
10（右）農業用ドローン<sup>vi</sup>

その他、もともとドローンが農業向けに開発されていた（図10）こともあり、「植物の世界」においては植物の生育調査の実験にも活用が期待できる。

地学分野においては、危険地帯の映像・画像撮影や、上空の簡易データの収集において役立つと考えられる。普段立ち入ることのできない場所の大地の様子をドローンにより容易に撮影できることは、簡易的な地質調査が容易になることを指し、また被災地であれば、その被災状況を迅速かつ鮮明に撮影することが可能となる。これにより、映像・画像による調査や映像を活用した疑似体験活動のある授業を行うことができ、身近なものとして感じにくい大地の変化をよりリアルなものとして子どもに感じてもらうことができるだろう。また、気象分野においては上空のデータを容易に収集できること、また台風等に対して使い捨てのドローンを飛ばし観測できることが挙げられ、事例も存在する。

最後の物理分野に関しては、映像資料としての価値もある程度見込まれるものの、必ずしもドローンで行わなければならないというものは少なく、どちらかといえば高度が必要な実験が容易になり、また、その高度も以前より高い地点を活用できるようになった点が挙げられる。

## 2-2. 教科外の教育における活用

教科外の教育についても中学校学習指導要領を参照し、次の表4のように整理した。

表4. ドローンと教科外教育における関連性

学校安全	交通安全	生徒の登下校指導と安全管理
	災害安全	学校設備の点検と被災時の迅速な対応
総合的な学習の時間	環境	自然体験活動や環境教育における映像資料
	防災	被災状況や防災意識を高めるための映像資料
	町づくり	自分たちの町に対する理解を深める学習
特別活動	クラブ活動	トレーニング、戦略・戦術の改善
	学校行事	学校行事の撮影や学校紹介を行う際の映像資料

理科教育における活用と重なる点も多く、やはりFPVによる映像資料の価値が高いと考えられる。また、教科における活用と異なり、上記の分野には既に企業による実践例も数多くあることも調査により分かった。例えば、交通安全の分野では2016年9月13日に長野県の富士見町立境小学校で集団下校の様子を10～100mの範囲で撮影する形で実施されており、防災については被災地域と企業で協力体制を築いており、学校行事についても有限会社 KK・アルパを中心に企業がサービスとして展開している。

企業が参入する一方でドローンが普及し、身近なものとなれば、企業等に委託することなく低コストかつ容易に表3や表4のことなどが実施できるようになる。それらの表に掲げたいくつかの項目を試験的に検討を行った。

### 補足資料2 実験を行う上での注意点

国内でドローンを使用する際には、いくつか注意しなければならない点がある。下記には、2017年1月現在の関連する法律について整理し、示しておく。

ここでは、2015年にドローンの落下事故<sup>5</sup>等を受けて改正された航空法についてより詳しく述べておく。

5 2015年4月22日、総理大臣官邸屋上に小型のマルチコプターが落下した事件であり、危機管理対策の弱点が顕在化した問題として有名である。

表 5. ドローンと関連法律

航空法	特定の環境下におけるドローンの飛行を禁止、もしくは、国土交通省に申請書を提出し、国土交通大臣の承認を受ける必要があることを明記
電波法	国内の基準を満たした正式な技術基準適合認証（技適）マークがある製品のみ使用できることを規定
民法	土地の所有権は上空にも及ぶため、飛行の際には土地の所有者に承諾を得る必要があることを規定
道路交通法	公道上でドローンを離着陸・飛行させる場合、管轄する警察の許可が必要であると規定
重要文化財保護法	管理する自治体がドローンの飛行を禁止している場合が多いため、管轄の自治体や政府に問い合わせる必要があることを明記
公園条例	
迷惑防止条例	故意に第三者の家の窓を空撮することを盗撮とみなすよう規定

この航空法が適用されるのは、付属物を含む重量が200g以上のドローンすべてであり、トイドローンで軽いものを除いてほとんどのものに適用される。

まず、航空法の対象となるドローンは安全の観点等から次の3つの場所で飛行を行う際に申請が必要と決められている。

- ①空港などの周辺の上空
- ②人口集中地区の上空
- ③150m以上の高さの空域

通常上記以外の空域であれば、飛行することに問題はない。しかし、飛行禁止区域以外であっても、次のような使用をする際は申請書類の提出が求められる。

- ①人または物件との距離が30m未満の飛行
- ②夜間の飛行
- ③イベント上空の飛行
- ④目視外の飛行
- ⑤危険物の輸送
- ⑥物件の投下

飛行申請の際に提出した書類は作成書類が多く、提

出後に指摘のあった場合はそれを修正して再提出し、許可・承認が下りる。従って最速でも土日・祝日を除いた10日間はかかるかとされている。それでも、我々が申請した2016年1月ごろには申請数が1112件だったのに対して、同年12月以降には1万件を超えたと公表されるに至っている。今後は、民間の操縦ライセンスを得たものの審査を省くことに決めたため、今後も申請数は増え続けていくと予想される。

下に参考として民間ライセンスについて表6としていくつかまとめた。

表 6. ドローンに関するライセンス

証明者	証明書
ドローン検定協会株式会社	無人航空機に関する知識・技術・経験を有することの証明書
一般社団法人 UAS 産業振興協議会	JUIDA <sup>6</sup> 操縦技能証明
	JUIDA 安全運航管理者証明書
DJI	DJI CAMP 技能資格証明
ドローン操縦士協会	DPA <sup>7</sup> 技能認定証

これらのライセンスを発行する団体は、ドローンスクールをオープンもしくは認定校として設立しており、スクール受講者は順調に伸びていることが昨今のニュース<sup>8</sup>からも伺える。ライセンスの普及が進むことで、その効果は無視できなくなり、いずれは免許制度になることも考えられる。

### 3. 実機（Phantom 3）による調査

#### 3-1. 基本的スペックの調査

Phantom 3 に関して、スペックはユーザーマニュアルに記されている。次ページ表 7. ドローンの基本スペックにその一部を抜粋し、整理しておく。

これらの値は理論値であり、実測値ではないため、実際に使用しなければ分からないというのが実際のところである。そのため、調査項目を次のように設定し、

6 正式名称：一般社団法人日本 UAS 産業振興協議会（通称 Japan UAS Industrial Development Association）

7 正式名称：一般社団法人ドローン操縦士協会（通称 Drone Pilot Association）

8 DPA は、2016年12月末日ドローンスクールの受講者数が開校2か月で600名を超えたことを報告している。

本論文で調査を行った。

- (1)カメラの分解能
- (2)プロペラによるダウンウォッシュ<sup>9</sup>
- (3)簡易装置取り付けによる散布実験
- (4)オルソ画像<sup>10</sup>と3D モデルの作成
- (5)交通指導

### 3-2. 結果・考察

#### (1)カメラの分解能

記載されている有効画素数は、Phantom 3 Professional、Advanced とともに1240万画素で、搭載カメラは順に4K、2.7K となっている。この値も映像・動画の解像度（画素数）を縦×横の数値で表したものである。実際の撮影は、レンズや露光などの影響によりスペック通りの性能が出るとは限らないので、実際に撮影し調査を行った。

### 方法・結果

昼夜・日向・日陰に条件を設定し、DJI Phantom 3 Advanced を用いて、地面に置かれた対象物体の撮影を行った。（夜間の撮影においては、光源がない場所で撮影を行うため、蛍光塗料<sup>11</sup>を用いてボールが発光するように工夫した。）

次ページに撮影した画像を記載しておく。

表7. ドローン（Phantom 3）の基本スペック

機体スペック	
重量（バッテリー、プロペラ込）	1280g
最大上昇速度	5 m/s
最大下降速度	3 m/s
最大飛行速度	16m/s（ATI モード、無風時）
航行可能限界高度	6000m
最大飛行時間	約23分
動作環境温度	0 ～ 40℃
GPS モード	GPS/GLONASS
ビジョンポジショニングスペック	
対応速度	8 m/s 以下（地上 2 m の時）
動作高度	30 ～ 300cm
ホバリング範囲	30 ～ 300cm
動作環境	15ルクス以上かつ模様のある地表面
カメラスペック	
センサー	Sony EXMOR1/2.3 有効画素数 12.4M 総画素数 12.76M
レンズ	FOV94 20mm (35mm 換算) f/2.8
ISO レンジ	100-3200（動画撮影時） 100-1600（静止画）
シャッター速度	8s ～ 1/8000s
最大静止画サイズ	4000×3000
写真モード	シングルモード バーストモード 3/5/7枚 オートブラケット 3/5枚 (0.7EV ステップ) タイムラプス
ビデオ録画モード	FHD 1920×1080p 24/25/30/48/50/60 HD 1280×720p 24/25/30/48/50/60
動作環境温度	0 ～ 40℃

9 ホバリングや上昇・下降に必要な上昇気流のこと。

10 オルソ (ortho) はギリシャ語で「ひずみの無い」を意味し、転じてひずみを修正することをオルソ修正、修正した画像をオルソ画像と呼ぶ。

11 株式会社アサヒペンの夜光塗料スプレー 100mL 若草色 黄色 赤色 だいだい色を使用



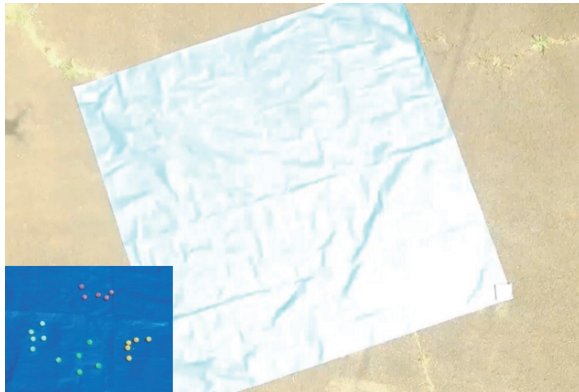


図11. ブルーシートを使用しての撮影（日向）



図12. コンクリートの上での撮影（日向）

昼の日向でビニールシートの上、コンクリートの上、地面の上での1 cmの発泡スチロール球の撮影を試みた。しかし、図11-13からも分かる通り球を識別することは難しく、仮に撮影しても球の色を識別することは難しいことが分かった。また、撮影した際のドローンの高度は5 m程度であったが、それほど低くしてしまうと、地面の球にダウンウォッシュの影響が及ぶことも分かった。



図13. コンクリートの上での撮影（日陰）

一方で、日陰であればブルーシート、コンクリート、地面の上での撮影が7、8 m上空から可能であることが実験により確かめられた。空撮により得られる写真の分解能が、太陽を主な原因とする光の量によって大きく変化することが分かった。また、地面・ブルーシートで比較することにより光を反射するブルーシートを敷いた方がより対象物体の確認は困難であることが改めて分かった。

最後に行ったのが夜間における撮影である。

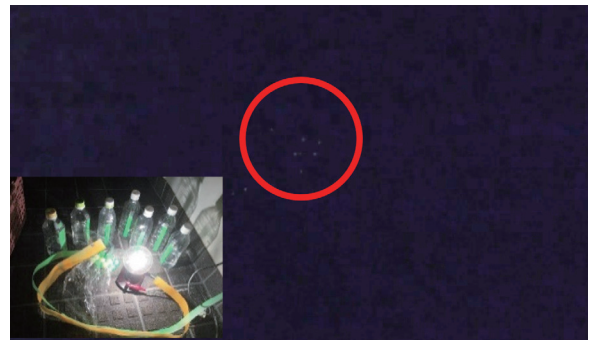


図14. コンクリートの上での撮影（夜間）



図15. コンクリートの上での撮影（夜間・拡大）

夜間に撮影を行った場合、今回使用した蓄光塗料であれば、1 cm球であっても10m程度の高度から確認できることが分かる。図14-15の円内に球の存在が確認できた。このように、カメラの性能が分かることで、具体的な使用方法の検討が行えるようになるだろう。夜間において撮影ができるということは、夜行性の生物を撮影できるという点でも興味深い。赤外線カメラのような特殊なカメラを使わずとも、蓄光塗料を使用するなどの工夫をするだけで小さいものを撮影できることが実証できた。

## (2)プロペラによるダウンウォッシュ

ダウンウォッシュによる影響を考慮するため、屋内外の2つの環境において DJI Phantom 3 Advanced を用いて調査を行った。

### 屋内検証 (予備実験)

ドローンから重りを付けた紐を垂らし、その位置を真下と仮定する。仮定した真下の位置に Kestrel 4000<sup>12</sup>を置き、そのデータを記録することで垂直距離と風速の関係性を調査した。データをもとに作成したグラフは図16の通りである。

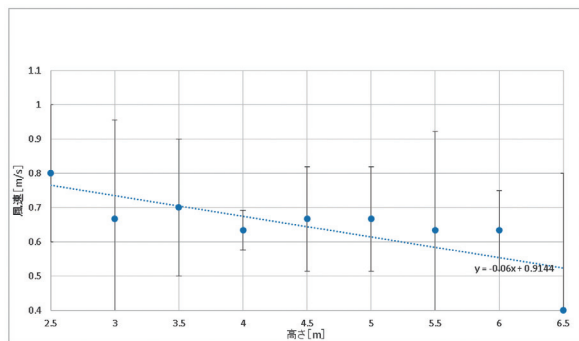


図16. 屋内ダウンウォッシュの調査 (予備実験)

一次式で近似すると  $y = -0.06x + 0.9144$  が求められ、屋内であっても高度15m程度でダウンウォッシュの影響を無視できることが分かる。しかし、重りを付けた紐は予想以上に安定せず、またドローン操作と安全性への配慮、そして再現性の点から適していないことが分かった。

従って、真下の位置の特定を紐ではなくドローンに搭載しているカメラの中心に Kestrel4000が写ることと判断することとした。また、1.5m から10mの高さまで0.5m ずつドローンを上昇させ、風速を測定することでデータ数を増やした。結果は次の図17に示す通りである。

平均化し図16のようなグラフを作成することで、高度の上昇に伴い風速が減少することがある程度分かる。図17における風速の平均と高さの相関を求めると、相関係数は -0.866となり、本検定において高い負の相関が確認できた。

体感としてもそうだが、ドローンの高度上昇に伴い、地上でのダウンウォッシュの影響は大きく減衰す

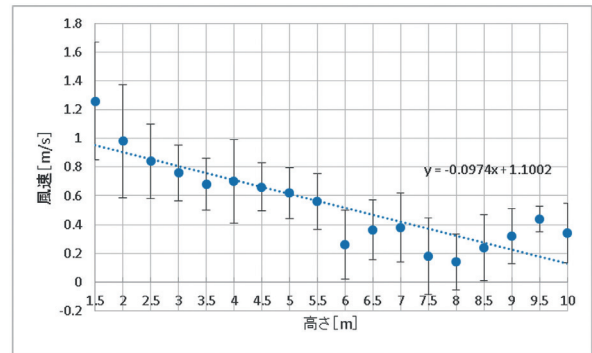


図17. 屋内におけるダウンウォッシュの調査

る。本実験の1.5m から10mの高さであれば一次関数で近似しても高い相関がえられたため、風速が0m/sとなる地点が計算できる。 $y = -0.0974x + 1.1002$ より、風速が無視できる高度は屋内において凡そ11.3mだと分かった。

### 屋外検証

屋外でも同様の検証を試みたが、自然風の影響などの不確定要素が屋内よりも増えたことなど、記録したデータのばらつきが一層大きいものとなった。

一方で球状の物体 (1.0cm 発泡スチロール球) の真上を飛行する際、高度を8mよりも低くしてしまうとダウンウォッシュにより物体が移動することがあったため (図18)、屋外では高度8mを基準として影響の有無を判断したいと考える。



図18. 屋外でダウンウォッシュの影響を受ける様子

また、農薬散布を無人ヘリによる散布で行う場合は、通常メインロータから吹き降ろされる風で作物を揺らし、葉の裏まで効率的に薬剤を散布している。しかし、今回使用した「Phantom 3 Advanced」などの小型のドローンの場合は高度10 mの高さではダウン

12 ニールセン・ケラーマン社 (Nielsen-Kellerman) の型式 Kestrel 4000を指す。



ウォッシュが弱く、散布方法を工夫する必要があることも今回の実験から分かった。ホバリング性能が向上し、低飛行での実用が可能となれば、高度を下げることができ、効率よく散布できることが期待される。

### (3)簡易装置取り付けによる散布実験

DJI Phantom 3 Advanced を使用し、ペイロードをもとに簡易装置を作製した。作製した装置をドローンに取り付け、紐を地上から引っ張ることで装置内の物体を散布し、その分散を調査することを試みた(図19)。



図19 (左). 簡易装置を取り付けたドローン, 図20 (右). 簡易装置を取り付けの概要

発泡スチロール製の1.5cm 球を3種類の装置を用いて投下し、アクリル製・紙コップ製の装置で散布することに成功した。

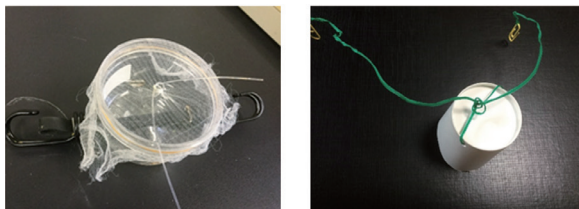


図21. 成功した際の簡易装置 (左・アクリル製、右・紙コップ性)

しかし、散布した物体間の距離を測ることを1つのドローンで行うことは難しく、撮影用のドローンを用意する、もしくは散布後の発泡スチロール球の位置に目印を置き、時間経過によって位置が変化しないよう工夫した上で再度ドローンを飛ばし撮影することで可能となる。Phantom 3 Advanced の機能を活用することで、自動操縦により撮影ができるため、問題なく行えることが分かった。

続いては、以下に示す装置を用いた実験では成功だけでなく操縦が不安定になるなどの失敗事例もあり、その危険性から改善もしくは失敗の理由を検討する。

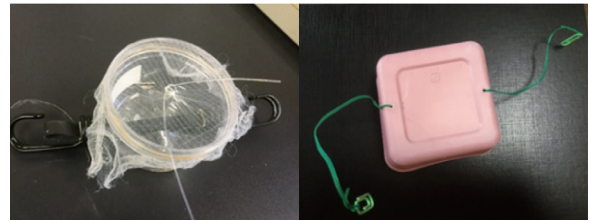


図22. 失敗した際の簡易装置 (左・アクリル製、右・プラスチック製)

失敗事例として次の2つ、失敗理由としてはそれぞれの3つが考えられる。まず装置を搭載した際に操縦不能に陥った事例について検討していくこととする。

表 8. 失敗理由と具体的な内容

装置搭載における問題	ペイロードの超過
	ダウンウォッシュの影響
	センサーへの影響
操縦不安定時の対応の問題	人手の不足
	技量の不足
	決断力の不足

操縦不能になったということはドローンの制限を超えて予期せぬ使用をしてしまったと考えられる。ペイロードを超えてしまった、簡易装置を搭載することでダウンウォッシュの流れが不規則になり、ホバリングが正常に機能しなかった、高度調整のセンサー位置と簡易装置が重なってしまったなどの理由が考えられる。成功・失敗の蓋の形状を比較すると、当然ながら真上から見た際の表面積が大きく異なり、これがホバリングに必要な風を乱してしまうことが挙げられる。DJI Phantom 3 Advanced のペイロードは表7にまとめた通りであったため、本来この装置の重さを超えていないと考えられるのだが、形状によっては留意しなければならないことが分かった。



図23. ドローンのカメラから撮影した簡易装置

また、2つ目の失敗事例として操縦不安定時の対応が不十分であったことも挙げられる。その理由としては、人手・技量・決断力の不足が考えられる。2つ目の事例については実験を行う際の段取りが不十分であったことが伺えるため、詳しい計画を立てて実験を行うことが求められるだろう。

#### (4)オルソ画像と3D モデルの作成

DJI Phantom 3 Advanced を 活 用 し、Drone deploy<sup>vii</sup>、Pix4D<sup>viii</sup><sup>13</sup>によりオルソ画像3Dモデルの作成を試みた。オルソ画像については、以下に詳しく述べていく。また、必要な画像を撮影するアプリとしては、もじ対応する Drone deploy と Pix3Dcapture の2つを使用した。Drone deploy、Pix4D とともに、撮影した画像をアップロードするだけでオルソ画像、3Dモデルの作成が可能となる。



図24. ドローンで撮影した4枚の画像

そもそも普通の空中写真であれば、レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、画像にある程度の歪みが生じる。特にこの歪みは写真に写る物体が地面から高いほど、また周辺部に向かうほど大きくなるといわれ、空中写真ではそれらは図のようにはっきりと写真の中心から外側へ傾いているような形で写る。写真としてこれを活用する分には、歪みというよりも私たちの目を通して同じ位置から見下ろしても同様の画像となるため、違和感や不都合は無い。



図25 (左). 写真とカメラ (通常),  
図26 (右). 写真とカメラ (オルソ画像)

しかし、複数の画像を合成し、1枚のマップを作成するとなると話は別となる。複数の点から画像を仮に合成するとなると、どこから見たのかわからない、ゆがんだ画像となることが分かるだろう。作成したオルソ画像を次に示す。

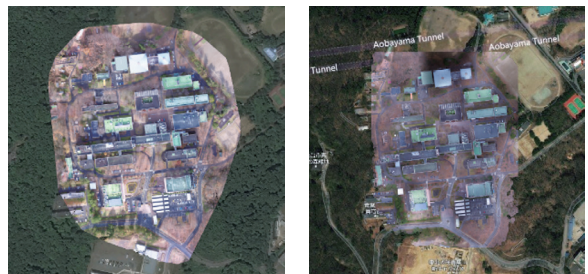


図27 (左). オルソ画像 (Pix4Dmapper),  
図28 (右). オルソ画像 (drone deploy)

オルソ画像は、標高データを用いてこの像の歪みをなくし、真上から見たような傾きの無い画像としたものである。こうして作成された画像は、建物や道路などの形状に歪みがなく、位置も正しいため、地図の更新<sup>14</sup>などに主に活用される。

昨今では、簡易的なオルソ画像が迅速に作成できることから、恒常的に使用される地図のみでなく、災害時における、被災状況の正確な把握のために使用することも多い。今回使用した Pix4D mapper、drone deploy もオルソ画像の作成であればなんら問題なく作成できることが分かった。

次に夜間と昼間に作成したオルソ画像の比較について記載する。

夜間に撮影したデータでは、画像から建物の位置や構造が認識できないためか飛行した経路に関係なく処理され、作成することが難しいことが分かった。GPSデータも drone deploy に合わせて送信しているにも

13 どちらのソフトも無料版、もしくは無料トライアル版のみを使用。

14 Google map に活用されている画像も、同様の処理がされたオルソ画像である。



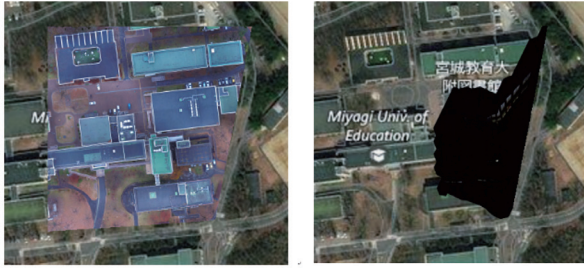


図29. 同経路におけるオルソ画像 drone deploy  
(左図が昼間、右図が夜間の画像を使用)

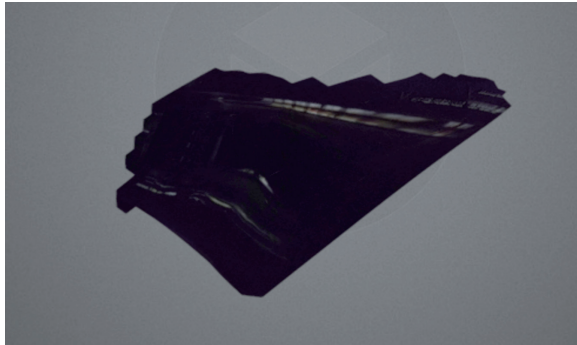


図30.drone deploy を活用した3D マップ  
(夜間・明るさ+40%, コントラスト-40%に加工)

関わらず、このような結果が出たということは、カメラで撮影した可視光をもとに標高データを得て処理をしていると考えられる。

その証拠として、3D マップを作製した際、窓から出ているはずの明かりが地面にあるかのように加工され、実際の高さを全く反映できていないことが分かる。簡易的に作成するのであれば、光が十分に当たる時間帯でなければ、段差の判別は勿論、オルソ画像を作成することは難しいことが分かった。



図31. drone deploy を活用したオルソ画像 (降雪時)

一方で図に示すような降雪時の撮影は問題なく行えることが分かった。季節毎の撮影は可能であり、後述する資料としての価値は高いものと考えられる。

共同著者の小松氏の教育実習先でもあったように、小中学校では防災教育の一環として「防災マップ作り」を行うことがある。2014年には防災科学技術研究所から「学校防災授業 子供防災マップづくり」という資料も出されており、東日本大震災で被害を被った宮城県では特に注目されているようだ。前述した資料では、防災マップづくりを通して、現状を調べ、対応した行動を考える力を養うこと、また、地域の情報の共有による防災力の向上などのメリットが挙げられている。防災マップづくりでは、大判地図の上で確認しながら災害対応についてシミュレーションし、検討することが求められるため、白地図でなく精度の高いオルソ画像がこのように無料で作成できることは有益なことである。

また、そのほか実際の写真を用いることで、地域への理解を深める等、様々な活用ができると期待される。

同様に作成した3D マップについては図32～図35に記載させていただく。



図32. 宮城教育大学 (青葉山) 配置図1

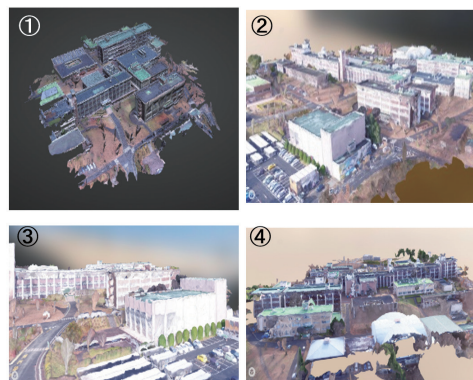


図33. Pix4D mapper を活用した3D マップ



図34. 宮城教育大学 (青葉山) 配置図 2

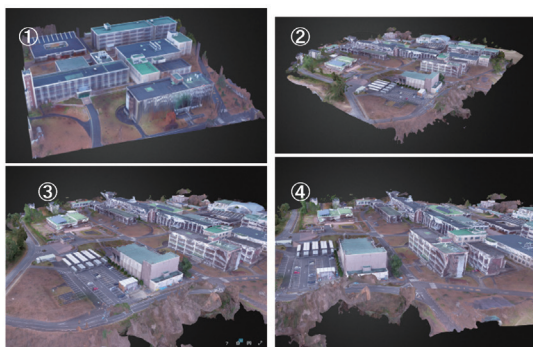


図35. drone deploy を活用した3D マップ

時間をかけない簡易的な撮影にも関わらず、図32～図35のような宮城教育大学全体像が作成できることが分かった。また、このデータをより画像数を増やして作成し、3Dプリンターでプリントアウトすることも可能であることも分かった。3Dプリンターによりプリントアウトしたものは触地図とも呼ばれ、視覚障害者が触覚により空間認識を行うための教育的な活用がなされている。それほどまでにリアルで精巧なモデルを作成することができる可能性が拓けてきている。

積雪時においても、図36-37のような画像を得ることができ、資料としての効果が期待できる。しかし、必ずしも全てを3Dマップに組み込むことができるわけではない。図にあるように積雪時であれば木の陰ははっきりと確認できるものの、木自体のような複雑な構造をもつものを3Dマップに表すことは難しいようである。このことは、簡易的に撮影するだけでなく、複雑な構造がある場合は高度・角度を変えることで改善できると考えられる。このことは、3Dモデル作成の技術として一般化されている。

類似分野としてドローンを活用した測量も期待さ



図36. 宮城教育大学 (青葉山) 配置図 3

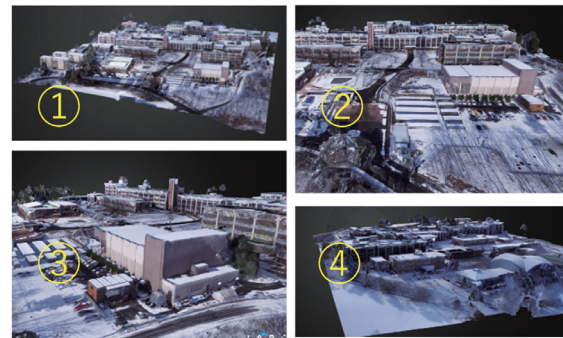


図37. drone deploy を活用した3D マップ (積雪時)

れている。この分野については2016年3月30日に「UAVを用いた公共測量マニュアル(案)」が公表されるなど、環境整備と生産性の向上が見込まれているのである。ここで注目したいのは、「公共測量における UAVの使用に関する安全基準(案)」が同時期に制定されていることであり、作業機関が順守すべきルールなどが既に設けられていることだ。技術の普及に伴い、発生する事故や障害を減らし軽減することは何より重要視されることであると再認識することができた。

#### (4)交通指導

2016年9月に登下校する子どもたちをドローンで見守る取組がNHKで放映されていたが、我々はドローンを使用して追実証実験を試みた。

上空からの撮影を通して、通学路の混雑状況や、車の交通状況など、様々な要因を一度に見ることができる。図38は100m上空から空撮したものであり、動画



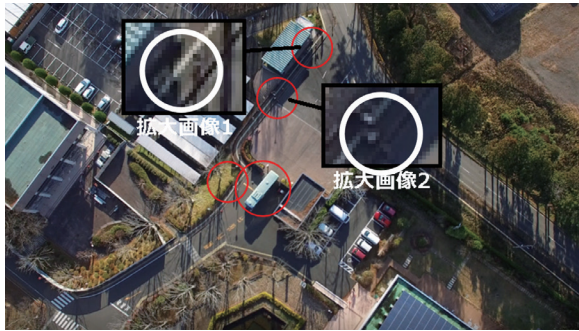


図38. 100m 上空から撮影した登校の様子  
(Phantom 3 Advanced)



図39. 100m 上空から撮影した登校の様子  
(Phantom 3 Professional)

の方が分かりやすいものの、写真であっても人は小さな粒として判別することができる。地上から100mの高さにあってもドローンの音は操縦者や通行人に届き、顔を上げてその存在に気付く人も少なくなかった。

より近くから状況を把握しようとドローンの高度を下げると、「ブーン」という音が響き、気付かれてしまうため、普段の登下校の様子を撮影することは難しくなることが分かった。ドローンの存在を認識させることで、見られているという意識を持ち、安全な登下校が望めるのであれば効果があると言えるだろう。そういう意味では、ドローンのみを活用した指導だけではなく、ドローンと人間による見守り体制を作ることが大切である。

子どもの道徳的価値観は、それを評価、もしくは方向づける他者の存在があってこそ身につくものであると考えられる。我々は、ドローンを用いた交通指導を推進していきたいと考えている。むしろ、今後の普及や使用の拡大を図るのであれば、補足資料2にある公道での使用等と、安全面への配慮に関する問題が挙げられる。登下校を指導するドローン自体が子どもたちを直接傷つけてしまうことは、あってはならないと考える。

また、降雪時の画像についても同様に確認できたため、高度を変えずに4Kカメラを搭載した「Phantom 3 Professional」で撮影した写真を図39に示した。

前述したとおり、動画であればどちらも問題なく対象を確認できるが、画像をさらに拡大し、提示する上では、カメラの性能は4Kが望ましく2.7Kカメラとの差は大きいことが分かった。資料として書類に添付するのであれば、カメラの性能には拘る必要があるだろう。

このような公の場での活用を期待するのなら、学校現場での活用には「絶対に落ちないドローン」もしくは「落ちてでも絶対に安全であるドローン」の登場が必要不可欠であり、まだまだ先は遠そうである。一方で、民間企業による事業は拡大しており、既にイベント開催時などにも使用され始めている。使用する価値がまだまだ未知数であるだけに、より安価で新しい普及型のドローンの開発に期待したい。

#### 4. 今後の展望

利活用や市場規模、類似商品との比較などを通して、様々な角度からドローンを見つめることができた。本研究で活用した「Phantom 3」のような安価で普及が進んでいる商品を活用することで、現段階におけるドローンの性能の高さや有用性についてある程度示すことができたように思う。また4Kカメラ搭載のものが安価に供給されることが教育現場への普及、更に産業界に深く浸透する鍵となるものであり、企業からも多くの期待が寄せられてることと考える。

Amazon 社が未来予想図として掲げる空中倉庫による運送サービスは、とても革新的な技術であろう。多くの人々の英知を集約することで、新しい活用方法や新たなサービスを次々と提供することができよう。その一歩として、多くの人に抵抗なく受け入れてもらう意味でもドローンの教育現場での活用が重要であると考え。また、ハワイの高校では、土地の侵食によるサンゴ礁への影響や養殖プロジェクトなどについて、ドローンを用いる事例報告<sup>ix</sup>があり、地域に応じた特色ある活用が期待される。もちろん、地域の特殊性をあまり必要としない活用法として、本研究による試み

が、ドローンを利用した教育活動の一助になることを期待する。

## 文献

- i Goo 国語辞書 <http://dictionary.goo.ne.jp/jn/229429/meaning/m0u/> (2017年1月24日閲覧)
- ii <https://www.seedplanning.co.jp/press/2016/2016050601.html> (2017年1月20日閲覧)
- iii 石森明洋 他 (2015)「ドローンを活用した気象観測」第54回東北支部大会論文集、pp.41
- iv <http://www.airselfiecamera.com/> (2017年1月20日閲覧)
- v <http://www.airselfiecamera.com/> (2017年1月20日閲覧) より引用
- vi <http://www.kyoto-np.co.jp/economy/article/20160829000110> (2017年1月20日閲覧) より引用
- vii <https://www.dronedeploy.com/> (2017年1月20日閲覧)
- viii <https://pix4d.com/> (2017年1月20日閲覧)
- ix Incorporating Unmanned Aircraft Systems (UAS) into High School Curricula in Hawaii, McGillivray, P. A. et al ., 2016(12), American Geophysical Union

(平成29年9月29日受理)