

ドローンを用いた災害初動体制の確立 ー 神石高原町における地産地防プロジェクトの取り組み ー

内山庄一郎^{*1}・梅岡康成^{*2}・奥村英樹^{*3}・勝俣喜一朗^{*4}・城 純子^{*5}・谷 真斗^{*6}・
出口弘汰^{*4}・三澤 努^{*5}・南 政樹^{*7}・我田友史^{*8}

Establishment of an Initial Disaster Response Organization by Townspeople Using a Drone – "Chisan-Chibou Project", a Locally Operated Countermeasure for Natural Hazards in Jinsekikogen Town, Japan –

Shoichiro Uchiyama^{*1}, Yasunari Umeoka^{*2}, Hideki Okumura^{*3}, Kiichiro Katsumata^{*4}, Junko Jou^{*5}, Masato Tani^{*6},
Kota Deguchi^{*4}, Tsutomu Misawa^{*5}, Masaki Minami^{*7}, and Tomoshi Wagata^{*8}

^{*1} Multi-hazard Risk Assessment Research Division,
National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, Japan
uchiyama@bosai.go.jp

^{*2} Jinsekikogen Town, Japan

^{*3} Autonomous Control Systems Laboratory Ltd., Japan

^{*4} Drone Japan Co., Ltd., Japan

^{*5} PERSOL PROCESS & TECHNOLOGY CO., LTD., Japan

^{*6} Rakuten, Inc., Japan

^{*7} Keio University, Japan

^{*8} iROBOTICS, Inc., Japan

Abstract

The “Chisan-chibou” project was implemented in Jinsekikogen Town in Hiroshima Prefecture. The aim of this project is drone operation by local townspeople. Five townspeople underwent drone operation training. The five trained operators conducted two demonstrations, a disaster situation awareness demonstration as an initial disaster response and a material delivery demonstration. In the disaster situation awareness demonstration, orthographic images were created with DroneDeploy, and the images were uploaded to a comparison application developed independently as part of the project. As a result, it was possible to compare ortho-images obtained before and after a disaster and share information obtained from the disaster site with the town hall. The delivery was conducted in an environment where radio waves were blocked due to the steep terrain. A drone equipped with a radio repeater was used in environments that were unreachable by radio waves. As a future development, we have proposed activities involving the daily use of drones. Namely the implementation of disaster prevention drills using drones and the incorporation of initial disaster situation awareness into disaster response schemes in the town. The town and the operators must cooperate and create a system that can function in the real world.

Key words: Drone, Townspeople in charge of drone operation, Framework for initial disaster response, Disaster situation awareness, Delivery

^{*1} 国立研究開発法人 防災科学技術研究所 マルチハザードリスク評価研究部門

^{*2} 神石高原町 ^{*3} 株式会社自律制御システム研究所 ^{*4} ドローン・ジャパン株式会社

^{*5} パーソルプロセス&テクノロジー株式会社 ^{*6} 楽天株式会社

^{*7} 慶應義塾大学 ^{*8} 株式会社アイ・ロボティクス

1. はじめに：災害初動における情報収集体制の課題

1.1 背景

我が国では、戦後の約 20 年間、台風などの自然災害により毎年のように 500 人以上の犠牲者を生じた(内閣府, 2019)．その後、1960 年代から進められてきたハード対策により、現在の耐災環境が作り上げられた．近年、ハード対策の設置と維持に要する莫大な費用負担や、被害抑止効果の限界が認識されるとともに、災害前後における対応能力の向上、すなわちソフト対策の推進が注目されている(中央防災会議, 1963–2019)．気象災害の高頻度化・激甚化(気象業務支援センター・気象庁気象研究所, 2017)、東南海地震(地震調査研究推進本部, 2018)や首都直下地震(中央防災会議, 2013)といった国難級の大きな自然災害が懸念される現在、我が国では、これら大規模災害に対処できる社会体制の構築が喫緊の課題となっている．本研究ではソフト対策の 1 つとして、ドローンを用いた災害初動対応の高度化を実現し、災害に強い社会の形成へ貢献しようとするものである．

1.2 広域災害への対応

防災基本計画(2019 年 5 月一部修正)では、発災後の災害応急対策の中で、内閣府や防災科学技術研究所により構成される ISUT (Information support team) の活動により、必要に応じて災害情報の集約・整理および地図化を行い、その情報提供によって地方公共団体等の災害対応を支援することが定められた(中央防災会議, 2019)．この災害情報の集約・整理、地図化の作業は、Web-GIS をベースとしたシステムで行われる．つまり、ISUT のような国が運用する防災情報システムは、災害情報の三角形(図 1)(内山, 2019a)の上層から下層に向かって情報収集の手を伸ばすイメージである．

こうした第一・第二階層を中心とする情報共有体制の構築は始まったばかりであり、現時点では課題も多い．例えば、災害情報の三角形を縦方向に一気通貫する、共通の防災情報システムが整備されていない．さらに、第一・第二階層の横方向についても、国内の都道府県で共通の防災情報システムが利用されている状況ではなく、これから共通のシステム整備に向けた議論が始まる段階にある(伊勢, 2019)．これらに加えて、主にアナログ情報で流通する第四階層の情報は、第三階層での手作業によって集約さ

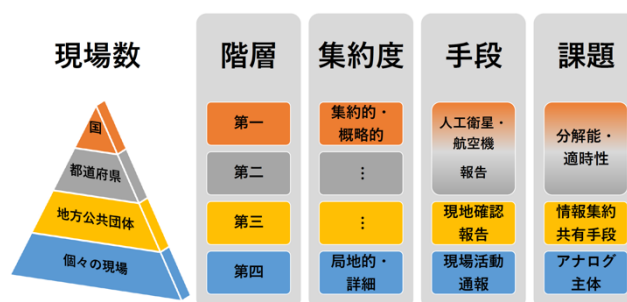


図 1 災害情報の三角形(内山, 2019a を改変)

国、都道府県、自治体、個々の現場をそれぞれ第一から第四階層とし、それぞれの階層の現場数(従事者数の規模)、必要とされる情報の集約度、情報取得の手段、その課題を表した概念図

Fig. 1 Conceptual diagram of the number of people involved in the disaster response, and the method for collecting and resolution required information.

れ、第二階層へ報告(共有)される．しかし、特に大規模災害の場合、第四階層で扱う現場は数が多く、それに対して、第三・第四階層のそれぞれの職員数は十分とはいえないため、すべての現場確認や被害集計の完了までには、相当な時間を要している現状がある．さらに、例えば地理院地図(国土地理院)で提供される災害発生後の航空機撮影写真から作成したオルソ画像(60 cm/画素)は、第四階層で活動する者が現場の地図として使うには、分解能が十分とはいえない(内山, 2018a)．このように、現時点では、第一・第二階層の主導で行われている防災情報システムの構築は、広域大規模災害の全貌を早期に把握するシステムとして、まだ完成には至っていない．これらのうち、本研究では、効率的な手段が未整備である第三・第四階層における情報収集に着目し、その方法のあり方について議論を行うものである．

近年、有人航空機と現地での情報収集の間を埋めるものとして、また、第四階層のデジタル化を促進するツールとして、ドローンの活用が期待される(内山, 2018a)．ドローンによる情報収集活動は、被害状況の把握手法として実災害での運用実績が蓄積され、その迅速性と高分解能性の効果が実証されるとともに、捜索救助での有効性も指摘されている(内山ほか 2014, 村上ほか 2015, 内山ほか 2019a)．一方で、こうした実証実験はほとんどの場合、専門家の手により実施される．このため、手法の有効性の高さが実証されたとしても、それが必ずしも、手法の普及には直結しない．新技術が社会で広く活用さ

れるためには、次節で挙げる課題を一つ一つクリアしていかななくてはならない。

1.3 実証実験から社会実装への展開における課題

前項で挙げた災害時におけるドローン活用の実績や実証実験を概観すると、災害対応へのドローンの活用には、次の3つの課題が挙げられる。

(1) 非専門家による運用の難しさ

1つは、実証実験に関わる専門家の手を離れた後の自律的な運航の難しさがある。その理由には、ドローン運航に必要な専門知識の幅が広いことが挙げられる。例えば災害状況把握であれば、ドローンの操縦に加えて、写真測量、地理情報システム、Web-GISといった関連分野の知識と、それら技術への習熟も同時に求められる。

(2) 関連法規による制限

ドローンの飛行には、有人航空機の航行と地上の第三者に対する安全確保が求められる。そのため、飛行させる範囲をカバーするように機体を監視する補助者を配置するなど、飛行に伴う関連法規の厳しい制限や条件が課せられる。しかし、山岳地や海上、被災して立ち入りできなくなった場所などでは、こうした条件に対応することが現実的に困難な場合も多い。さらに、飛行のために求められる法的な手続きや、関係機関との調整にかかる時間の長さや業務量の多さは、時に科学技術の課題解決以上の難しさを伴う。

(3) ドローンが飛行することへの賛否

最後に、ドローンに対する社会受容性の問題がある。どれほど便利な技術が開発されても、それが住民に受け入れられなければ普及しない。ドローンのイメージが、危険なものや、何だか不安のあるものとして広く認知されているとしたら、実証実験の先にある社会展開は難しい。さらに、こうした社会受容性の醸成は、一朝一夕に得られるものではない。

これらの課題への王道的な対応は、災害対応機関に対するドローン関連技術の教育機会の提供と、住民に対する丁寧な説明と対話を通じた信頼関係の構築であろう。防災を目的としたドローンの利用は、社会受容性の醸成において、多々ある活用用途のなかでも、比較的受け入れやすいものと思われる。そして、社会状況の変化に伴って、関連法規も追従してくるものと考えられる。

1.4 災害対応への実践的活用に向けた技術の体系化

現在のドローンスクールの機能は、いわば自動車学校のようなものであり、操縦と航空法の基礎を教えるサービスである。しかしこれだけでは、災害対応の即戦力としてドローンを活用することは難しい。

災害対応での情報収集ドローンの活用に着目すれば、例えば五段階の活用レベル(内山, 2018b, 表1)で示されたような関連分野の技術の習得が求められる。五段階の活用レベルとは、ドローン活用の難易度ごとに、求められる操縦技能のレベルと、操縦に加えて必要となる専門技術の種類とを整理したものである(表1)。これにより、ドローンの応用的な活用に必要な技能、知識、ソフトウェア、装備などが明確になった。

第四階層へのドローンの実装・普及の推進には、上位の活用レベルで求められる専門的な技術を意識せず、シームレスに扱うことができるアプリケーションがあるとよい。さらに、こうしたアプリケーションの開発に加えて、それぞれのレベルに対する実践的な教育サービスが実現されれば、災害対応におけるドローンの導入と活用に対する、有用なソリューションとなりうる。

表1 五段階の活用レベル(内山, 2018b を整理した)

Table 1 Five levels of drone utilization.

Lv.	概要	操縦	習得が必要な技術
1	地図的映像	基礎	映像規格の理解
2	遠隔地の状況把握	高度	分解能と識別レベルの理解
3	現場地図の作成	自動	写真測量、画像判読、IoT 基礎
4	既存情報の重ね合わせ	同上	地理空間情報システム基礎 (GIS)
5	現場情報の統合	同上	空間モデリング

1.5 五段階の活用レベルの実装

そのような中、じんせきこうげんちよう 神石高原町(広島県神石郡)において、ドローンの防災利用に関する実証実験を行う機会を得た。同町は、その急峻な地形により、生活や農業などの日常的な地域間の道路交通アクセスの負担が大きい。また、広大な面積に比して常備消防の規模が小さく、災害の警戒や初期対応には、消防団や自治振興会(自主防災組織の機能も持つ)の活動が欠かせない状況にある。将来的なドローンの活用により、これらの改善や効率化を目指すべく、町長を中心とした取り組みが企画されていた。

2. 目的

本研究では、災害初動対応へのドローン活用の社会実装を展開すべく、次の3点を目的とする。1つは、操縦者の情報リテラシーのレベルに適合した災害時のドローン運航に関する教育体系を構築する。これは主に、担い手育成(4.1節)により実施する。2点目は、五段階の活用レベルの実施を支援するため、関連技術を1つのシステムに統合したアプリケーションの開発を行う。これは、マップ作成(4.2節)の中で行う。3点目は、地域における実証実験の展開を通じて、社会受容性の向上を図る。これは、本研究を実施する中で、住民とのコミュニケーションを通じて醸成を図る。

3. 対象地域の概要と実証実験までの経緯

3.1 地域概要

神石高原町は、人口 8,873 人(2020 年 3 月)、面積約 381.98 km²、広島県の東側、岡山県との県境に位置する。南が備後地方の中核都市、人口 46.8 万人の福山市に接する。町全域が吉備高原の小起伏面上にあり、標高 400 m から 600 m、比高 100 m から 200 m の丘陵地形をなす(図 2)。主な宅地は細長い谷底平野上に分布し、それらを結ぶ谷沿いの道路ネットワークは、多短谷の地形に規制され起伏と曲率に富む。標高の高い地域へ至る道路の多くは急勾配で細く、その数も限られる。平成 30 年 7 月豪雨では、こうした細い道路沿いで発生した小崩壊と、谷沿いの主要道路への河川溢水により、一時的に孤立した集落もあった(小野自主防災会, 2019)。深く谷を刻む河川など、優れた景勝地を有する一方で、急峻な地形や道路ネットワークの不自由さは、生活環境の障害ともなっている。さらに、ほかの多くの小規模自治体と同様に、近年の人口減少と高齢化、それに伴う、あるいは産業構造変化による農林業など産業力の漸減に悩まされている。

災害対応力の概要は次のとおりである。町内には 1 箇所の常備消防の出張所があり、約 10 名が常駐している。町内の消防団では、4 つの方面隊で合計 7 分団、660 名の消防団員が活動している。この数は、全国の消防団員の平均割合(人口の 0.67%)の約 11 倍の規模となる。自主防災組織の機能を持つ自治振興会は、町内 4 地域に合計 30 組織あり、各組織はさらに複数の班に分かれる。自治振興会の機能に

より、住民の横のつながりが維持されている。

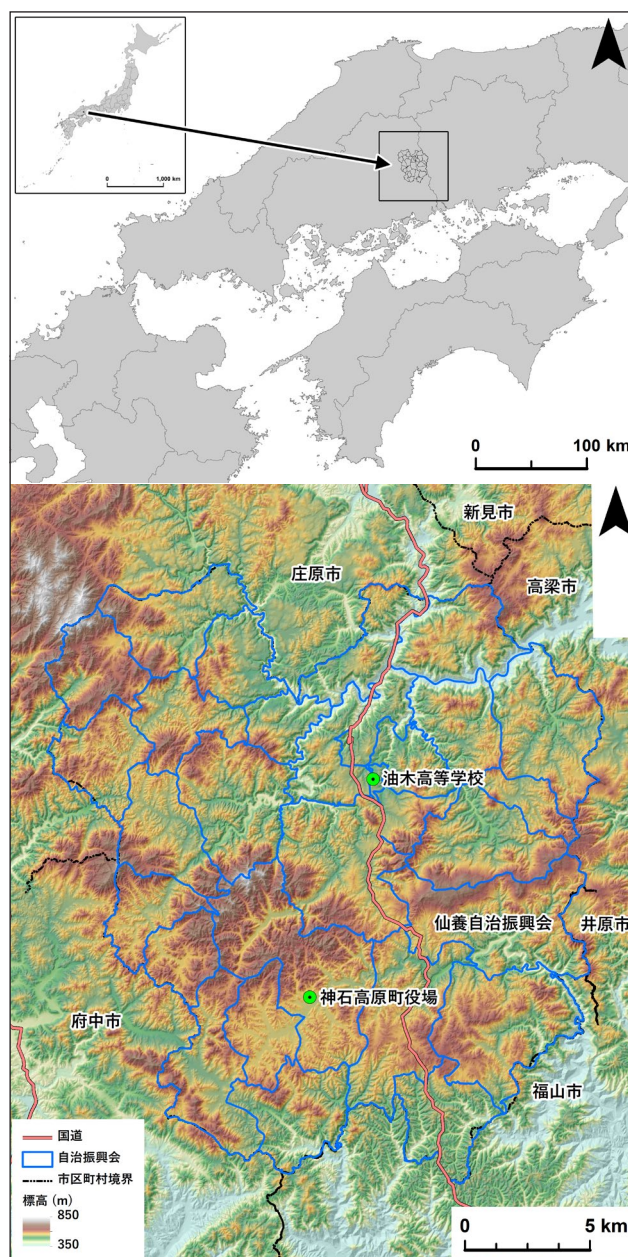


図 2 神石高原町の位置と地勢
上: 広域図, 下: 詳細図。青枠は自治振興会の境界。
基盤地図情報(国土地理院)を使用した。

Fig. 2 Location and topographic map of Jinsekikogen Town.

3.2 経緯と意義

神石高原町では、ドローンによる災害対応と生活・農業支援等を視野に入れ、総務省による平成 31 年度過疎地域等自立活性化推進交付金事業に含まれる 3 事業のうち、過疎地域等集落ネットワーク圏形成支援事業に応募し、採択された。本事業は、町議会

での予算承認等の手続きを経て、2019年7月末から本格的な活動を開始した。約2カ月間の調整期間を経て、同年10月1日に8団体による神石高原町ドローンコンソーシアム(以下、コンソーシアム)が設立された(図3)。コンソーシアムで実施する一連の実証実験は、地産地防プロジェクトと命名された。地産地防とは、農産物などの地産地消にかけて、地域の災害には地域で対応する姿勢を意図した言葉である。この概念は、2018年度末に神石高原町で行われたドローン活用プレスト会議に端を発し、その中で、これからのソフト対策の目指すべき姿として提案されたものである(内山, 2019b)。

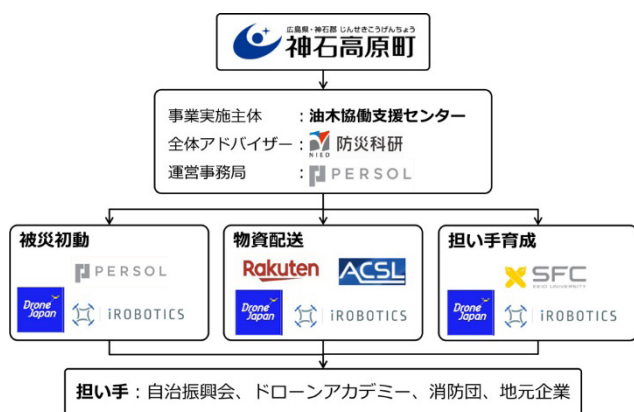


図3 神石高原町ドローンコンソーシアム実施体制図
Fig. 3 Organization of Jinsekikogen Town Drone Consortium.

コンソーシアムでは、次の3つのテーマを掲げ、実証実験を実施した(図4)。次項より、それぞれの社会的意義や位置付けについて整理する。

地産地防プロジェクト		
1 担い手育成	2 マップ作成	3 物資配送
- 運用技術の習得 - マップ作成 - 物資配送	- オルソ画像の作成 - 自治体との情報共有 - 比較アプリによる災害前後の被害把握	- 災害時の物資配送 - 目視外および電波途絶環境でのドローン運用

図4 地産地防プロジェクトで実施した3テーマ
Fig. 4 Three features of the project.

(1) 担い手の育成

担い手とは、ドローンを実際に運航する操縦者である。担い手は、在住の町民に引き受けていただくこととした。担い手による運航の意図は、地産地防プロジェクトを、1回限りの実証実験で終わらせることなく、専門家の手を離れた後も自律的に運航されることを目指したものである。加えて、高度なITスキルを持たない操縦者に対する教育体系の構築において、適切な対象者になると考えた。また、ドローンを用いた、町民による町民のための防災活動を通して、ドローンの社会受容性の向上を企図した。

担い手の育成に加えて、町内にある広島県立油木高等学校ドローンアカデミーに所属する高校生に対し、災害時のドローン活用の講習とデモを行った。この活動は、即効性のある災害対応力の向上というよりも、将来を担う高校生に対し、ドローンを活用した社会貢献のあり方を考える機会を提供することに重きを置いた。

(2) マップ作成

ドローンを用いた第四階層における災害初期対応の迅速化とデジタル化は、災害情報の三角形における情報収集インフラの完成に向けた重要なステップである。これを支援するアプリケーションを開発することにより、マップ作成に必要な専門知識の学習を不要とし、マップ作成から共有までをシームレスに実施できる環境を提供する。さらに、このアプリケーションを軸とした教育手法を開発することにより、災害初期対応で活動できる人材を継続的に育成する道筋が期待される。

(3) 物資配送

物資配送には、日本の自然環境に起因するものと、近年の社会条件に起因するものとの2つの課題がある。日本の国土は7割が山地であり、かつ海に囲まれた自然環境条件にある。このため、神石高原町のような山間地や海に隔てられた離島など、道路ネットワークによるアクセスが容易ではない地域が、国内には多数存在する。そのため、例えば食料品など日常の買い物でも、片道数十分をかけて山道の運転を強いられるなど、生活上の不便は多い。このような環境では、宅配サービスも都市部と比較して配送コストが大きくなる(国土交通省総合政策局物流政策課, 2014)。これに加えて、社会条件の変化として少子高齢化と地方圏の過疎化、個人向け宅配物流

量の増加が進んでいる。自然環境とこれらの社会条件とが組み合わされることで、働き手の減少による物流サービス網の維持困難や、高齢者の買物弱者化といった問題が生じている(国土交通省総合政策局物流政策課, 2014)。

このような地域では、ドローンによる空の道が新しいインフラとして機能することにより、生活の質の向上や商工業の効率化が期待される。また、働き手不足の解決策の1つとして、将来的には、人の関与を極力必要としない、完全自律飛行ドローンの活用も、課題解決の候補に挙げることができる。

4. 実施内容

コンソーシアムでは、神石高原町の仙養自治振興会において、先に示した3つのテーマに沿って実証実験を行った(図4)。特に、担い手がドローンによる情報収集やオルソ画像の作成を単独で実施できるレベルに達することを目標とした。また、プロジェクトの遂行には、コンソーシアム事務局とトレーニング双方の運営支援業務が発生した。ここでは、実証実験における3つのテーマの実施内容と、それを補助する運営支援について、それぞれの実施内容を述べる。

4.1 担い手育成

(1) 担い手育成

希望者の募集、決定は住民自治組織の共同体である油木協働支援センターが行ない、5名(平均年齢54.6歳、全員男性)が担い手として活動することとなった。ドローンの操作および航空法等の関連法規に関する基礎的な事項を学ぶため、担い手は、事前にドローンスクールを受講し、民間ドローン資格を取得した。著者らの主導によるトレーニングの期間は、2019年9月から2020年2月までの6カ月間とした。トレーニングはマップ作成と物資配送で6回、1回あたりの講習時間は3時間半とし、この中に座学と実技を盛り込む形式で計画した。また、トレーニングに加えて、自主練習と総合演習を担い手のみで実施することとした。なお、担い手の活動費用に類する一切の対価は支払わないこととし、ドローンスクールの受講費のみプロジェクトから支出した。

実証実験終了後、担い手が自律的に運航することを念頭において、発災時のドローンによる情報収集にトレーニングの重点を置いた。このため、トレー

ニングでは、五段階の活用レベルのうち、活用レベル3(現場地図の作成)(表1)の達成を目指した。

(2) 高校生への講習

油木高等学校ドローンアカデミーの高校生に対し、2日間にわたり地域における災害時のドローン活用の講習とデモ飛行および運航体験を行った。最初に、地産地防プロジェクトの概要と、災害初動の情報収集および緊急的な物資配送の意義について解説し、次に専門家による物資配送のデモ飛行と、高校生自身の飛行計画作成と運航による、短距離の物資配送を行った。

4.2 マップ作成

マップ作成に使用した機体はDJI Mavic 2 Enterprise、オルソ画像作成ソフトウェアにはDroneDeployをそれぞれ用いた。クラウドサービスであるDroneDeployは、操縦装置のタブレットにインストールしたアプリにより、ほぼ自動的に、飛行と撮影、オルソ画像の作成までを行うことができる。その後、クラウド上で作成されたオルソ画像をタブレットにダウンロードし、本プロジェクトで開発した「比較アプリ」(固有名詞は付していない)にアップロードすることにより、役場などとの情報共有、および災害前後のオルソ画像比較による被害状況把握を実施した。

4.3 物資配送

物資配送には、荷下ろし用のウィンチを装備したACSL PF-2を使用した。機体はレンタルで調達し、標高差の大きい地域での運用ノウハウの取得と、担い手による運用の可能性調査を主目的とした。

標高差により見通しが得られない状況でも安定した通信を確保するため、電波中継機器を搭載したDJI Mavic 2 Enterpriseを使用した。今回使用したPF-2はFPVカメラを搭載しない仕様のため、離着陸地点と荷下ろし地点の2箇所それぞれ操縦者を配置し、目視できる操縦者が操作権を取得することにより、常時目視内飛行となるよう計画した。この方法は、災害後に人間がアクセスできない場所への配送という意味では現実的ではないが、訓練や実証実験では航空法に準拠する必要があること、また、訓練等では多重に安全を確保する必要があることから、このような計画とした。機体の機能としては、荷下ろし地点に操縦者がいなくても問題はない。

4.4 運営管理と運営支援

本事業は、8 団体によるコンソーシアムが実施したプロジェクトのため、コンソーシアム事務局の運営管理と、担い手トレーニングの運営支援の 2 系統の事務作業が生じた。これら一連の業務は、町および運営事務局企業(図 3)が行った。

5. 結果

5.1 担い手育成

(1) 担い手育成

5 名の担い手が、半年間で合計 7 回のトレーニングを受講した。トレーニングはマップ作成関連を 2 回、物資配送を 3 回、それらの総合を 1 回、補講として 1 回の合計 7 回を実施した。物資配送に使用するウィンチの動作を確認するため、当初計画よりも 1 回多く実施することとなった。トレーニング終了後に、担い手単独での総合演習を行った。総合演習は、マップ作成と物資配送を一続きの災害初動イベントに見立て、通しで行った。平日の午後から実施したトレーニングの出席率は 86% であった。主要なトレーニング項目であるマップ作成と物資配送の詳細は、後の節で述べる。ここでは、主たるトレーニングに加えて、ドローンの活用の幅を広げるために実施した内容について説明する。

マップ作成関連のトレーニングの一環として、活用レベル 1 (地図的映像) と活用レベル 2 (遠隔地の状況把握) に関わるトレーニングを実施した。ドローンのリアルタイム映像を現場にいる複数の者が同時に閲覧するために、操縦装置に接続した大型の外部モニターで映像を共有する体験を行った。後日、消防団に所属する担い手 2 名が、消防団の訓練において、外部モニターを利用したドローンによる情報収集を実践した。ドローンによる映像を消防団員、消防士、警察官、地域住民などが同時に閲覧し、消火訓練の進捗状況を現場関係者でリアルタイムに共有した。

トレーニングでは、上記に加えてドローンによる音声伝達の練習を行った。崩壊により道路が通行できない旨を避難者へ情報提供する想定と、遠方に隠れた遭難者役をドローンで捜索し、発見後にドローンで声をかける想定 of 2 つのパターンについて実施した。

このほか、トレーニングの経験を通じて、風光明媚で比較的自由に飛行させることができる同町の特性を活かし、ドローンの体験飛行を事業として検討する担い手が現れた。これは、直接的な防災用途への活用ではないが、コンソーシアムにおけるドローン活用のスコープの一部でもある。

(2) 高校生への講習

講習では、地産地防プロジェクトの概要説明に加えて、高校生自身によるドローン物資配送オペレーションが行われた。その中で、ドローンの操縦やオペレーションに対する理解の速さなど、高校生の吸収力の高さが際立った。これらの実践を通じて、テクノロジーへの関心の高さや、自分の地域を自分たちで守ること、地域社会への貢献の抱負など、意欲的な感想が聞かれた。

5.2 マップ作成

トレーニングにおけるマップ作成では、活用レベル 3 (現場地図の作成) の達成を目標として行われた。全体としては、DroneDeploy による現場地図(オルソ画像)の作成と、比較アプリでの災害前のオルソ画像(撮影時期の異なるオルソ画像や地理院地図)との比較を行った。

マップ作成に DroneDeploy を利用することで、写真測量などの専門知識がなくとも、自動飛行からオルソ画像作成までを実施することができた。さらに、作成したオルソ画像を災害初動で活用するために、Web ブラウザ上で動作する「比較アプリ」を開発した。このアプリにより、災害前後のオルソ画像の比較による被害状況把握(図 5)、そして比較アプリを通じた現場(第四階層)から役場(第三階層)への現場の詳細情報(オルソ画像)の共有が実現された。

活用レベル 3 の実践として、担い手単独による自主練習を行った。12 月の寒い日の午後に行い、2 時間半で 4 地域の飛行と撮影を完了させた。飛行後には、撮影画像をタブレットから DroneDeploy にアップロードし、オルソ画像を作成するプロセスとなる。しかし、タブレットに使用した携帯キャリアの通信速度が遅いこと、および自動アップロードが可能な撮影枚数を超えたことなどにより、撮影現場でのオルソ画像作成までは実施できなかった。



図 5 比較アプリのインターフェイス
災害前後のオルソ画像を左右に並べて比較するモード。このほか、スライダーを左右に動かして比較することもできる。図では、平時の訓練で作成した 2 時期のオルソ画像を表示しているため、左右の画像には、紅葉の有無程度の違いしか見られない。左は 2019 年 11 月 21 日、右は同年 12 月 22 日撮影

Fig. 5 Comparison application interface.

5.3 物資配送

物資配送では、中山間地の標高差が大きい地域で生じやすい電波途絶を課題に挙げ、それに対する技術的・航空法的な対処を検討しつつ実施した。標高 687 m の仙養ヶ原ゴルフクラブ駐車場を離着陸地点として、水平直線距離で約 1,000 m 離れている標高 602 m の仙養グラウンド（旧仙養中学校）の荷下ろしポイントに向けて、トータル約 1 kg の非常食と水を配送した（図 6）。飛行経路上は山林であり、標高差 85 m の配送地点で荷下ろしのため機体を降下させると、離着陸地点からの目視および通信は完全に途絶える。このため、通信途絶への技術的対応として、電波中継ドローンを使用した。加えて、荷下ろし地点からの見通し範囲を広くするため、ウィンチから吊り紐を繰り出して荷下ろしを行った。また、航空法で禁止されている目視外飛行への対処として、離陸地点と荷下ろし地点の 2 箇所に操縦者を配置した。これにより、操作権をもつ操縦者から機体が常時目視できる環境となった。この結果、2 箇所での操縦かつ、3 チーム体制での運航となった。

離着陸地点

- ・ チーム A：操縦者，PC 操作兼補助者（連絡係）
- ・ 中継機チーム：操縦者

荷下ろし地点

- ・ チーム B：操縦者，補助者（連絡係）

実際の災害時には、荷下ろし地点には人がアクセスできない。しかし、荷下ろし地点の操縦者は、トレーニング中の航空法への対応と安全の多重確保のために配置したものであり、機体に異常が生じない限り、荷下ろし地点の操縦者は何ら操縦操作を行う必要はない。

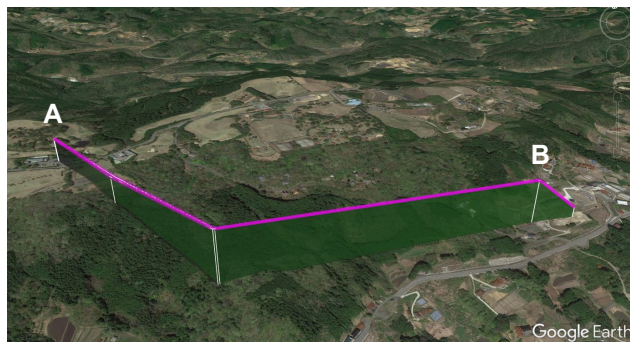


図 6 物資配送の飛行経路（背景図：Google Earth）

左上の離着陸地点の仙養ヶ原ゴルフクラブ駐車場（A）から対地高度 40 m で南東方向に約 550 m 飛行し、東へ変針して荷下ろし地点の仙養グラウンド（B）まで降下しながら約 730 m を飛行、ウィンチで配送を完了後、同じ経路で帰還した。ピンクが飛行経路。

Fig. 6 Delivery route.

5.4 運営管理とトレーニング運営支援

運営管理・支援について、コンソーシアム事務局およびトレーニング運営支援の 2 系統の事務業務および支援業務を行った（表 2）。コンソーシアムでは、担い手育成、マップ作成、物資配送の 3 つのワーキンググループを構成し、それらの会議の日程調整や議事録作成などの業務を行った。この他、資機材の調達、予算管理なども実施した。トレーニングでは、ドローン飛行の住民への通知や担い手との日程調整、国土交通省への許可・承認の申請、会場確保や機材輸送などの運営支援を行った。

数ある業務のうち、地域特有ともいえる町内への周知・調整の流れについて説明する。町内への飛行の周知や許認可の取得は、以下のような流れで実施した。トレーニングの前日には毎回、プロジェクトを実施した仙養自治振興会に対し、ドローンを飛行させる連絡を行った。連絡は、各戸に設置された有線の行政放送で行われた。この連絡は、月に 2 回のペースで実施されるトレーニングにおいて、毎回欠かさずに行った。

新たな場所で飛行を行おうとする場合の飛行許可の取得は、次のような流れで行われた。最初に町役場から仙養自治振興会を管轄する油木協働支援センターに説明が行われ、次に、振興会の会長が出席する月次会議で、飛行の内容が説明・審議される。さらにそこから、各班の班長に伝達されたうえで、最終的に各戸に周知された。

表2 運営管理・支援で実施した主要な業務
Table 2 Main tasks implemented as operational support.

コンソーシアム運営管理		トレーニング運営支援	
プロジェクト管理	スケジュール調整	機材管理	備品台帳作成
	進捗管理		機材保管
ワーキンググループ	会議管理	トレーニング	貸出管理簿作成
	議事録作成・展開		バッテリー充電
講師派遣	受入対応	飛行	機材搬送
	書類作成		スクール受講状況管理
会計	予算管理	飛行	講師予定調整
	振込対応		講習・実証実験風景撮影
契約	書類原案作成・修正	飛行	担い手自主練付き添い
	書類郵送		担い手意見集約
プレスリリース	リリース原案作成・修正	飛行	国交省包括申請
	会場準備・撤収		3か月実績報告
			地権者承認
			町内前日周知
			FISS登録

6. 考察

6.1 担い手による自律的な運航

地産地防プロジェクトでは、町民の担い手がドローンの運航ができるようになることを第一の目標として進めてきた。この達成の評価には、次年度以降の担い手の活動を追跡し、評価する必要がある。現時点の実績としては、担い手単独で消防団の訓練で活用したり(5.1節)、活用レベル3の自主練習を行ったり(5.2節)するなど、いくつかの自立した運航経験が積み上げられた。また、担い手の一部で、ドローンの体験飛行に関する事業化の検討も行われた(5.1節)。

これらの結果から、本プロジェクトを通じて、担い手におけるドローンの実践的な運航技能とそれを実行する自信については、自律的なドローン活用を開始できるレベルには到達したものと考えられる。

6.2 活用レベル3までの実践的な教育

自動でオルソ画像を作成できる DroneDeploy の利用と、複数時期のオルソ画像を表示できる比較アプリの開発とによって、写真測量や Web-GIS といった専門技術に習熟せずとも、ドローンで取得した情

報を容易に扱うことができるようになった(5.2節)。さらに、災害現場からオルソ画像を比較アプリにアップロードするプロセスにより、現場の情報を瞬時に役場と共有できる仕組みが構築された(5.2節)。これらの取り組みにより、活用レベル3に相当するドローンの活用について、専門的なITリテラシーを持たない操縦者に向けた、実践的な教育プログラムのアウトラインが構築された。担い手による活用レベル3の実現により、情報の三角形の第四階層(個々の現場)において、ドローンが情報収集インフラとして機能する可能性が示された。

一方で担い手は、携帯電話の通信環境の不具合などにより DroneDeploy に撮影写真をアップロードできないなど、トレーニングで想定しなかったトラブルには現場で対処できなかった(5.2節)。こうしたマイナートラブルへの対応力は、トレーニングで知識として学ぶよりも、今後、町内の様々な場所でドローンの運航経験を積むことによって、次第に培われるものと思われる。

6.3 社会的受容性の変化

ある地域においてドローンを飛行させるためには、自治振興会やそれを構成する班といった地域の最小構成単位とその組織構造、およびその中での情報連絡体制、つまりローカルガバナンスの単位とシステムを明らかにした上で、それに適合した方法で説明会などを開催すること、および飛行前の周知を徹底し、活動状況を開示する必要があった(5.4節)。こうした地域の意思決定や伝達の仕組みは、町外の組織には知りえないものであり、町民・自治振興会・役場と一体的に実施したことで実現できたものである。ここから、地域住民との合意形成の進め方は、個々の地域に応じた方法で行うことが重要と考えられる。

社会受容性の変化に注目すると、ドローンそのものに対する社会的受容性が向上したというよりも、事前に話の筋を通し、毎回の飛行前周知の徹底を行うことで、ドローンを使用した活動に対する理解の獲得と維持が達成できたという見方もできる。これは、地域のつながりが維持されている地域において有効な進め方といえる。隣人住人とのつながりのない都市部では、また別のアプローチが必要と思われる。

将来的な社会受容性の向上と新技術の紹介のた

め、地元の高校生に講習を行った。ドローンの実社会への応用に関する講義と、事業用機体を実際に扱う体験が行われた。高校生は、ドローン技術や IT に関する理解・吸収が速かった(5.1 節)。高校生個人に対するこれらの体験の効果は、今後の進路等に注目しながら、長期的に評価する必要があるだろう。

7. 課題

7.1 社会的課題

(1) 私有地上空の飛行と事前のコンセンサスの構築

ドローンの飛行全体に関わる問題として、民法においてまだ明確な結論に達していない、私有地上空の飛行の問題が挙げられる。現時点では、ドローンを災害初動で活用する場合は、自治体から自治振興会に対して、平時のうちに災害時の飛行許可を取り付けたうえで、ドローンの活用を町の防災スキームへ組み込めなど、住民とのコンセンサスを得る努力が必要になるだろう。

(2) 担い手の負担

担い手の育成により、専門家が不在でもドローンの運航を行うことができた。一方、平日昼間に実施したトレーニングが、担い手の生業への負担となったことは否めない。これは、担い手の増員を行う際の課題にもなる。また今後、担い手だけで災害初動時にドローン運航を行うとすれば、災害地での活動に関する保険の加入など、町としての実施体制の構築が必要だろう。こうした問題への対応として、また、危険地での活動経験や装備と組織力、そして常備消防との連携において、消防団が担い手の機能を持つことも有効と思われる。ただし、消防団とその活動内容には独自の文化や伝統があり、ドローンの機能的な有効性のみが、必ずしも消防団におけるドローン普及の根拠として機能するとは限らない。

(3) 航空法の制限

物資配送では、離陸地点から目視外となる地点への飛行を行った。航空法に対処するため、実証実験では荷下ろし地点に操縦者を配置したが、実際の災害では荷下ろし地点に操縦者を配置したり、飛行経路を見渡せる位置に補助者を配置したりすることができるとは限らない。自然災害や事故等に際して、航空法第 132 条の 3 の適用を受け、定められた機関および目的により無人航空機を飛行させる場合は、航空法で定められた飛行のルール等の規定が適用さ

れない特例がある。しかしあくまで特例であり、適用可能な期間や状況は限定される。さらに、平時の訓練で実施したことのない目視外飛行を、荷下ろし先の状況もわからない中で、特例を適用して本番で初めて実行することは、安全確保の観点からも、また、災害対応の選択肢としても推奨されるべきものではない。航空法第 132 条の 3 の適用を前提としたドローン活用は、持続可能な活用のあり方とはいえない。

物資配送は、無人に近い運用体制が構築されることで、災害時の物資配送はもとより、配送ネットワークの補完や山間地配送の低コスト化などの社会課題において、その効果が期待される(3.2 節)。しかし、後述の電波途絶環境での運航と合わせて、現状の航空法では無人化に向けた現実的な対処が困難な場合が多い。また、災害時、通常時にかかわらず、物資配送では、特定の拠点からエリア内に点在する複数の目的地への飛行が求められる。この問題に正面から対処しようとすれば、配送の要が生じうるあらゆる地点間の飛行経路に対し、複数の操縦者と広域への補助者の配置を行う必要が生じる。もしくは、飛行経路と交差する公道の該当地点には、ドローンが飛行する注意喚起の看板を設置するなどの対処が求められる。飛行の安全の確保は重要だが、第三者の密集度によっては、条件を緩和可能な地域もあると思われる。規制のサンドボックスのような制度を積極的に適用するなど、現実に近いユースケースの実証実験や社会実装の道筋が立てやすい社会環境づくりが求められる。

(4) 運営管理にかかる人的コスト

町内でのドローンの持続的な活用を考えた場合、自治体職員ないしは担い手による運営管理が必要になる。一方で、こうした運営管理のような、必ずしも難易度が高いとはいえない業務には、特定のリソースを割くことが難しい面もある。ただし、その業務量は多く多岐にわたるうえ、運営管理なくしてはドローンの運航が成り立たないことも事実である(5.4 節)。こうしたことから、運営管理のシンプル化やシステム化も今後の課題である。

7.2 技術的課題

(1) 急峻な地形による電波途絶

同町は標高差が大きく、また樹林帯を有する地域のため、目視と電波の見通し外となりやすい。さら

に、携帯電話の不感地帯も身近に広がっている。このように、操縦装置と機体との直接通信、および携帯電話網を介した間接通信ともに、電波通信を確保できない空間が広く存在する。本プロジェクトの物資配送では、電波中継機を使用することにより常時通信を確保したが、そのために、物資配送チームに加えて、電波中継機ドローンの操縦者が必要となり、運航コストが増大した。

通信インフラの整備において、今後、普及が進むと考えられる 5G (第 5 世代移動通信システム) は、現在の 4G (第 4 世代移動通信システム) よりも通信に使用する周波数帯が高く、基地局のカバレッジ (通信可能範囲) は狭くなる。このため、広範囲を網羅するには、高密度に多数の基地局を設置する必要が生じる。当面、5G は建物が多い都市部での通信システムとして普及が進むだろう。中山間地の広大な山地斜面での 5G の適用は、電波通信の技術的に容易ではないことが想定される。

ここまで挙げたように、電波途絶環境におけるドローン運航の課題は多い。これは、目視外補助者なし飛行の許可・承認基準に関する要件をまとめた「無人航空機の目視外飛行に関する要件」(国土交通省, 2018) のうち、「自機の監視」に関する議論といえることができる。この課題に対し、仮に地上施設インフラで対応するとしたら、例えば、有人航空機の映像中継システムであるヘリテレシステムのように、あらかじめ地上中継局を設置する方法が挙げられる。山地上空でのドローンの飛行経路を事前に規定しておき、それを電波伝搬的にカバーできる地上中継局を設置する。この方法では、地上中継局のカバレッジ内であれば、長距離であっても安定して通信を行うことができる。ただし、地上中継局の設置・維持コスト、そして、飛行経路が地上中継局のカバレッジ内に限定されることがデメリットとなる。これとは別の方法として、法規と運用による対応も考えられる。例えば、短時間であれば電波が途絶した状態での飛行を認めることも対処法のアイデアの 1 つであろう。仮に秒速 10 m で飛行するドローンの場合、60 秒あれば 600 m を飛行できる。それだけの距離があれば、山間地で分断された携帯電話基地局のカバレッジ間を移動できるケースもあるだろう。この実現には、電波途絶中に生じうる機体の不具合に対する安全確保、およびドローンの機械的故障に対す

る信頼性の統計的な裏付けが求められるだろう。いずれにせよ、インフラ、技術、関連法規、運用の複合による電波途絶環境の克服は、ドローンの普及における 1 つのキーワードとなる。

(2) 機体安全性の定量的評価

電波途絶の課題とも重複するが、ドローンの飛行安全性について、定量的なリスク評価が行われていないことが大きな課題である。機体の飛行リスクが不明であるために、第三者上空の飛行が法的に制限される (許可されない) と考えることができる。有人航空機のように出発回あたりの事故率が数値で示されれば (Boeing, 2018 など)、第三者上空の飛行リスクの受容は、ドローンで享受できるメリットとのバランスの議論で決まる。この解消には、有人航空機と同様に、工学的アプローチによる機体の飛行安全性のリスク評価が求められる。しかし現状では、それに必要な事故実績の網羅的収集をはじめとして、ドローンの運航状況の統計的な把握は十分とはいえない。

8. 今後の展開

本研究は、担い手によるドローンの運航と、それによる災害初動での状況把握および自治体との現場情報の共有までをスコープに実施し (5 章)、その成果を整理した (6 章)。さらに、本研究の方向性をより高度に社会展開する際の課題も提示した (7 章)。今後は、本研究で得られた知見が、災害時に実際に適用されることが望まれる。普段使っていないものは、災害時にも使えないことは論を待たない。このために、ドローンの日常化 (内山, 2019c) に向けた、運航体制作りが求められる。これに対して、担い手がドローン運用訓練を兼ねて、町内各地で災害前のオルソ画像を作成することを町に提案した。比較アプリでは、災害前後のオルソ画像を見比べる機能 (5.2 節) を実装したが、地理院地図のオルソ画像は、ドローン撮影写真に比べると分解能が低く、災害前の詳細な様子が読み取りにくい。

今後、町内の防災訓練でのオルソ画像の作成や、町役場との情報共有など、担い手が積極的にドローンの運航を実践できるよう、自治体側がバックアップすることが期待される。また、社会受容性の向上のため、ドローン運航を町の防災スキームに組み込むなど、町民に対するドローンの防災活用のアピー

ルも必要であろう。ドローンの日常化への方策には、例えば町の運動会などのイベントや、観光地の紹介映像の撮影など、防災以外の日常の活動への活用も考えられる。

このほか、現在の担い手の技能向上、担い手の増員、町内外の他地域への横展開、そして、ドローンを活用した民間事業の展開など、本研究を通じて、多くの可能性の芽が生じた。これらの芽を絶やさない努力が求められる。

9. まとめ

広島県の神石高原町において、地産地防プロジェクトを実施した。地元町民の担い手による自律的なドローン運航を目指した実証実験として、災害直後の状況把握および物資配送に関するトレーニングを行った。状況把握では、オルソ画像を自動作成するクラウドサービス DroneDeploy、および独自に開発した比較アプリへのオルソ画像のアップロードにより、災害前後のオルソ画像の作成と災害前後の比較、および災害現場から役場への情報共有を実現し、災害情報の三角形において、ドローンが情報収集インフラとして機能する可能性を示した。物資配送は、急峻な地形による電波途絶環境で実施した。2 チームの操縦者と電波中継ドローンとを利用することで、目視外・電波通信範囲外の 2 地点間で物資配送を行った。今後の展開として、ドローンの日常化に向けた活動を町に提案した。防災訓練でのドローン運航の実践や、担い手による状況把握を町の防災スキームへ組み込むなど、町と担い手が連携して、実用的なドローン活用体制を作っていく必要がある。

謝辞

神石高原町の担い手、佐藤仁史氏、田邊清正氏、福原忠大氏、前原等氏、宮池研吉氏の 5 名には、多忙な中、実証実験を成し遂げていただいた。感謝を申し上げるとともに、今後の活動の発展を祈念する。油木協働支援センターには、実証実験の実施に係る各種調整をいただいた。同町仙養自治振興会には、実証実験のフィールドとしてご協力をいただいた。また、匿名の査読者のコメントにより、本稿の質が向上した。本研究は、総務省による令和元年度過疎地域等自立活性化推進交付金「過疎地域等集落ネットワーク圏形成支援事業」により実施した。ま

た、科研費基盤研究(B) 課題番号 JP17H02031 の成果の一部を使用した。記して感謝を申し上げる。

参考文献

- 1) 内閣府(2019)：令和元年版防災白書。
- 2) 中央防災会議(1963–2019)：防災基本計画。
- 3) 一般財団法人気象業務支援センター・気象庁気象研究所(2017)：平成 29 年 10 月 26 日報道発表資料(地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧(台風)の頻度が日本の南海上で高まる)。
(http://www.jmbsec.or.jp/tougou/outreach/file/press_release.pdf, 2020.1.30)
- 4) 地震調査研究推進本部(2018)：長期評価による地震発生確率値の更新について。
(https://www.static.jishin.go.jp/resource/evaluation/long_term_evaluation/updates/prob2018.pdf, 2020.1.30)
- 5) 中央防災会議首都直下地震対策検討ワーキンググループ(2013)：首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告)。
- 6) 中央防災会議(2019)：防災基本計画(令和元年 5 月)。
- 7) 内山庄一郎(2019a)：災害対応の初期フェイズにおける無人航空機の活用－平成 30 年 7 月豪雨における広島県での捜索支援地図の作成事例－。防災科学技術研究所主要災害調査報告, No.53, 175–189。
- 8) 伊勢正(2019)：災害発生時の情報共有の課題－自治体の多様性と標準化－。危機管理レビュー, Vol.10, 13–21。
- 9) 内山庄一郎(2018a)：必携ドローン活用ガイドー安全かつ効果的な活用を目指してー。1–86, 東京法令出版。
- 10) 内山庄一郎・井上公・後藤秀昭・中田高・井田康之・梅田篤(2014)：平成 26 年 8 月豪雨による広島土石流災害における空撮写真を用いた捜索支援地図の作成。CSIS DAYS 2014, 16p。
- 11) 村上圭・松上倫也(2016)：土砂災害時における災害対応の標準化。都市政策, No.164, 63–68。
- 12) 内山庄一郎(2018b)：災害におけるドローンの活用。月刊消防, 40-11, 1–7。
- 13) 小野自主防災会(2019)：2018 年 7 月豪雨災害小野自主防災会の取り組み。2019 年 5 月 31 日神

石高原町防災研修会.

- 14) 内山庄一郎(2019b)：災害対応へのドローンの活用．ドローン活用ブレスト会議，広島県神石郡神石高原町，36pp.
- 15) 国土交通省総合政策局物流政策課(2014)：過疎地等における物流サービスの現状分析及び検討にあたっての問題意識について．
- 16) 国土交通省航空局(2018)：無人航空機の目視外飛行に関する要件．

17) Boeing (2017): Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. 1959–2017.

- 18) 内山庄一郎(2019c)：ドローン活用の可能性と課題．令和元年度第1回「地方公共団体の危機管理に関する研究会」，1–36.

(2020年2月28日原稿受付，
2020年3月3日改稿受付，
2020年3月13日原稿受理)

要 旨

広島県の神石高原町において、地産地防プロジェクトを実施した。地元町民の担い手による自律的なドローン運航を目指した実証実験として、災害直後の状況把握および物資配送に関するトレーニングを行った。状況把握では、オルソ画像を自動作成するクラウドサービス DroneDeploy、および独自に開発した比較アプリへのオルソ画像のアップロードにより、災害前後のオルソ画像の比較、および災害現場から役場への情報共有を実現した。物資配送は、急峻な地形による電波途絶環境で実施した。2 チームの操縦者と電波中継ドローンとを利用することで、目視外・電波通信範囲外の 2 地点間で物資配送を行った。今後の展開として、ドローンの日常化に向けた活動を提案した。防災訓練でのドローン運航の実践や、担い手による状況把握を町の防災スキームへ組み込むなど、町と担い手が連携して、実用的なドローン活用体制を作っていく必要がある。

キーワード：ドローン，町民の担い手，災害初動体制，災害状況把握，物資配送