

ドローンによる空撮画像を活用した 屋根被害把握と被災者支援への利用 － 2019年山形沖地震における村上市の対応－

井ノ口 宗成¹・田村 圭子²・濱本 両太³・堀江 啓⁴

¹正会員 富山大学准教授 都市デザイン学部 都市・交通デザイン学科
(〒930-8555 富山県富山市五福3190)
E-mail:inoguchi@sus.u-toyama.ac.jp

²正会員 新潟大学教授 危機管理本部 危機管理室 (〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐二の町8050)
E-mail:tamura@gs.niigata-u.ac.jp

³非会員 ESRIジャパン株式会社 コンサルティングサービスグループ
(〒102-0093 東京都千代田区平河町2-7-1)
E-mail:ryota_hamamoto@esrij.com

⁴正会員 MS&ADインターリスク総研株式会社 総合企画部 リスク計量評価グループ
(〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町2-105)
E-mail:kei.horie@ms-ad-hd.com

近年、ドローンの性能向上と普及が加速化し、災害発生時の被害状況把握において利用が進んでいる。この背景を踏まえ、2019年6月に発生した山形沖地震において、著者らは被災地である村上市と協働し、被害発生集中地域であった4地区を対象に、ドローンによる空撮を実施し、オルソ化した画像をクラウドGIS上で参照可能とすることで、家屋の被災程度を判定する調査において活用した。これは、地上から確認が難しい屋根被害の判定において、判定の確実性・正確性を向上させた。一方で、フロントヤードとバックヤードを連携させた体制を構築し、短時間での撮影および処理実施を実現した。あわせて、被災者が空撮画像を確認できる環境を整備した。これにより、被災者の生活再建の一步となる屋根の補修において、その必要性を被災者自身が判断でき、具体的な対応に結びついた。本発表では、これらの成果を報告する。

Key Words : UAV, disaster response, roof damage detection, life reconstruction,

1. はじめに

近年、わが国では地震災害や風水害が多く発生している。ひとたび災害が発生すると、戦略的な災害対応を実現するために被害状況把握を実施し、また対応を通して、まちと被災者の生活を再建することが求められる。

一方で、無人航空機としてドローンが社会に普及し、様々な曲面での活用が進みつつある。災害対応の現場でも、発災直後からドローンによる被害状況把握に関する取り組みが進められている。たとえば、平成29年7月九州北部豪雨に対して、国土地理院はヘリ画像に加えてUAV画像を公開している。この取り組みは、被害の全容を把握することが目的であり、基礎自治体である市町村における家屋1棟単位での被害状況把握の目的に必ずしも合致するものではない。

ドローンが社会に普及したことにより、コストダウン

と飛行操作性の向上、自動飛行のプログラム化などが進み、比較的容易にドローンを操縦し、空撮画像を入手することが可能となっている。ドローン画像の有効利用の方策が見いだせれば、災害時の自治体が独自にドローンを活用し、今後の災害対応に役立たせることが期待できる。

そこで、本研究では、発災直後において被災自治体とともにドローン撮影の計画策定から撮影実施、オルソ画像構築を通して、被災状況把握を推進するとともに、ドローン撮影画像の強みを把握し、生活再建支援に利活用できるかについて実証した。

2. 2019年山形沖地震と村上市

2019年6月18日22時22分、山形県沖の深さ14kmを震源

としたマグニチュード6.7の山形県沖地震が発生したり。新潟県村上市では震度6強、山形県鶴岡市では震度6弱を観測し、地震発生から2分後には山形県、新潟県上中下越、佐渡、石川県能登地域に対して津波注意報が発表された。本地震により、重傷者9名、軽傷者34名の人的被害にくわえて、半壊36棟、一部損壊1,245棟の住家被害が発生した²⁾。本災害では、基準を満たす住家滅失が発生せず、災害救助法の適用ならびに激甚災害指定がなされなかった。しかしながら被災自治体では、それぞれに迅速かつ効果的な対応が求められるとともに、被災者自身の生活再建に対しても支援が必要となった。

最大震度を観測した新潟県村上市では、災害救助法ならびに被災者生活再建支援法は適用されなかったにもかかわらず、被災家屋が確認されたことから、被災者の生活に対して何かしらの影響が出ていることを鑑みて、生活再建支援を実施することを決定した。そこで、内閣府が示す指針に基づいた住家被害認定調査³⁾を実施するとともに、罹災証明書を発行することで被災者の特定と実態を把握し、必要となる支援策を検討することとした。

3. 生活再建支援に向けた住家被害認定調査

被災者生活再建支援を実施するにあたり、被災者および被災家屋の被災程度を確定する必要がある。そのためには、内閣府が示す指針に従い、住家被害認定調査を実施するとともに、罹災証明書の発行が必要となる。

著者らは、既往研究において、効果的な住家被害認定調査手法の開発⁴⁾、調査結果の効率的なデジタルデータ化技術の開発⁵⁾、被災者からの高い納得を得るための罹災証明発行システムの開発⁶⁾、一元的な被災者台帳の構築⁷⁾などを推進してきた。過去の地震災害の事例では、被害発生範囲の特定が困難なことから、悉皆調査を基本としてきた。しかし、山形沖地震における村上市の被害は、山形県との県境である府屋地区を中心に被害が発生していたことから、府屋、岩崎、中浜、伊呉野の4地区を対象とした住家被害認定調査を実施することとした。

住家被害認定調査の件数が限定的であることや、電気および通信が機能していたことから、2018年9月の北海道胆振東部地震における安平町での事例⁸⁾に基づき、モバイル端末を利用した調査を実施することとした。これにより、調査結果は調査実施時にリアルタイムでクラウド基盤に送信され、データの一元管理が実現されたとともに、調査のモニタリングが実施された。その後、村上市では、これらの調査結果に基づき、罹災証明発行を実施することとした。住家被害認定調査は、新潟県下の市町村から20名の応援を動員し、村上市職員10名を加えた計30名の10班体制で、644件の住家に対して6月23日から

3日間で調査が完了した(表-1)⁹⁾。また、罹災証明発行については、調査時点でデジタルデータ化がなされていたことから、調査完了の翌日である6月26日から実施された。村上市の報告によれば、2019年8月16日時点で331件の罹災証明書が発行されている。

表-1 新潟県下市町村の応援による調査実績⁹⁾

調査日	調査戸数	区分				
		全壊	大規模半壊	半壊	一部損壊	無被害
6月23日(日)	166	0	0	4	142	20
6月24日(月)	262	0	0	6	220	36
6月25日(火)	216	0	3	10	191	12
計	644	0	3	20	553	68

4. ドローンを活用した屋根被害調査

前述のとおり、村上市では短期間で確実な住家被害認定調査を実施し、早期に罹災証明発行に着手した。初期の被害の概況把握の中で、多くの木造家屋で屋根に被害が発生している可能性が示唆された。しかしながら、住家被害認定調査は地上から外観調査を実施することから、屋根の被害状況を確実に把握することは困難であった。なぜならば、道路幅が小さければ、家屋に近づいた状態から見上げるために屋根の一部しか確認できない、また3階建て以上の建物では地上から確認できる範囲が極めて小さいという状況が発生したためである。

著者らは2018年7月にドローンによる被害状況把握を想定した防災訓練を新潟県燕市で実施した経験がある¹⁰⁾。この経験から、村上市は著者らに対してドローン空撮による屋根被害の状況確認を要請した。著者らは、村上市の許可を得た上で、被害が集中したと推察された府屋・岩崎・中浜・伊呉野の4地区を対象として、ドローンによる空撮計画を立て、6月21日より空撮を開始した。

著者らが用いたドローンは、DJI社のMAVIC 2 Proである。本機は、4K(5472×3648pix)の撮影が可能であるとともに、最大飛行時間は約30分のスペックを有する¹¹⁾。屋根被害の様子として、瓦のズレまでを把握する上で、4K画像であれば飛行許可が不要である150m未満の高度内で、より高い位置から撮影することが可能であると考えられた。そこで、140mを飛行高度に設定し、撮影画像間のオーバーラップ率を80~85%に設定し(図-1)、前述の4地区に対して、地区割と飛行ルート決定、発着点の設定を実施し、計5時間程度のフライトにより、当該地域の撮影を終えた。一部、雨天の影響を受けたものの、限られた時間で迅速な撮影が実現された。

撮影画像を取得した後、esi社が販売するDrone2Map for ArcGIS¹²⁾を用いて、オルソ画像の構築を進めた。この際、画像間で重なる特徴を同定し、画像をつなぎあわせて行くことから、空間内で歪みが発生する。これを除去するために、GCP (Ground Control Point) を設定し、歪みを極小化した。オルソ画像の構築には、1地区で約4時間程度を有しており、複数台のマシンで並列的に処理を実施することで、全体的な時間コストの削減を図った。

構築されたオルソ画像はクラウド型GISにて、閲覧権限を村上市の税務課職員に限定し、共有した(図-2)。また、オルソ画像化においては、画質の低下やわずかな歪みが発生することから、ドローンによる撮影位置と、その地点での撮影画像についても共有した(図-3)。これにより、村上市職員は、オルソ画像から屋根被害の様相を把握しながら、ドローンで撮影された原写真から、より詳細な屋根被害を把握した。本仕組みを援用することで、現地における住家被害認定調査で屋根被害の把握が困難であるケースに対して、上空からの屋根被害の状況を確認し、その結果を調査の判定に活用した。

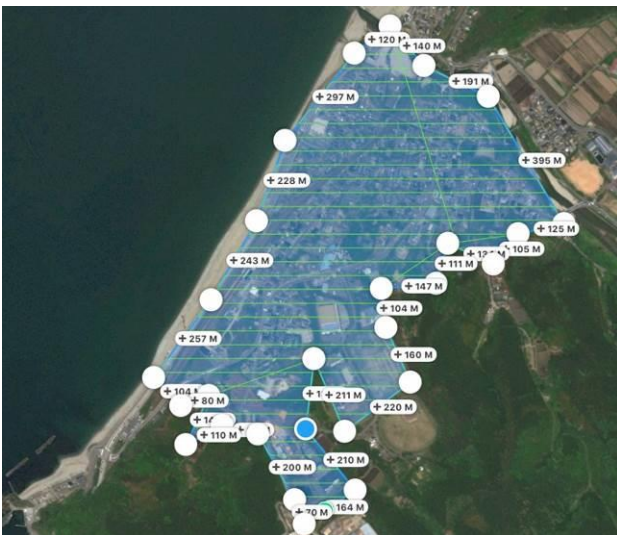


図-1 ドローン空撮の飛行計画の例 (府屋地区)



図-2 クラウド型GIS上でのオルソ画像共有



図-3 クラウドGIS上での撮影ポイントと原画像の共有

5. ドローンの空撮画像を活用した被災者支援

ドローンによる空撮画像は、主に住家被害認定調査における補助的役割を担っていた。一方で、罹災証明発行時には、被災者から屋根被害の確認に対する問い合わせが発生した。被災者は、被災家屋の修繕に向けて、屋根被害の発生の有無や、その被害程度について把握したいという要望があった。そこで、本研究で整備したクラウド型GIS上のオルソ画像および空撮の原画像を被災者に提示することとした。具体的には、被災者の住所を聞き取り、その場所を特定した後、拡大したオルソ画像ならびに、当該地域を撮影した原画像を被災者に提示した。この際、可能な限り、近隣の屋根被害の様子が依頼者から確認ができないように配慮した。

また、村上市では屋根被害が多数に及んでいることを把握したことから、被災者の生活再建の一助とするために、屋根被害に対するリフォーム補助を、市独自の支援策として確立した¹³⁾。これは、村上市が屋根被害の実状を把握したことから、被災者からのニーズ発生の可能性を想定したことで、打ち出された支援策であった。この観点から、本研究による空撮画像からの屋根被害把握は、新たな被災者生活再建支援の施策立案に対して貢献できたと評価できる。

6. ドローンの空撮画像の利用展開の可能性

ドローンの空撮画像は、前述のように被災者生活再建支援の基礎となる被害認定調査の屋根被害把握および被災者への屋根被害状況の説明のために使われた。このデータを、より発展的に利活用することを目的として、以下の2点について、新たに取り組んだ。

(1) AIを活用したブルーシート特定

図-4に示すように、目視確認により、ブルーシートの場所を矩形で囲み、その場所と数を特定した。このデータを教師データとして、深層学習によるAIの画像処理モデルを構築し、物体検出の技術を適用し、ブルーシートの特定の自動化に取り組んだ。単純な画像処理ではなく深層学習を取り入れたことにより、ブルーシートの周りを含めた特徴を学習することから、青色の屋根とブルーシートや、田畑にかかるブルーシートと屋根にかかるブルーシートを的確に判別することを期待した。

一般的な深層学習では、事前に教師データを準備し、学習させておき、新たな画像に対して判定を実施する。これに対して本研究では、発災後に被災地域で撮影された画像に対して、即時的にブルーシートを人の目視によって特定し、それを学習データとして活用することに取り組んだ。なぜならば、ブルーシートの周りに存在する屋根は地域特性を有していることが想定されたためである。そこで、Human-in-the-Loopの考え方に基づいて、人による目視確認と、その結果の利活用としてAIへの学習を実践した。本取り組みでは、過半数はブルーシートを検出できた(図-5)ものの、誤検出(図-6)や未検出(図-7)も発生しており、被災地において確実なブルーシート量の特定から屋根が被災した家屋の特定には、学習量とモデルの不十分さが確認されている。今後、大規模被災時には、クラウドソーシングの技術を援用し、多くの学習データを迅速に収集した上で、より広範囲に適用することに挑戦する必要があると考えている。

(2) ブルーシートから見た復興のモニタリング

ドローンによる空撮は、事前に飛行計画を指定しておけば、同じ地域を継続的に飛行することが可能である。また、山形沖地震における村上市の被災エリアを空撮するには、最短で1日以内に撮影が完了することが、一次撮影によって明らかとなっていた。この状況を踏まえて、著者らは4つの被災地域に対して、継続的に空撮を実施することとした。

6月下旬に一次撮影を終えた後、発災から約2ヶ月が経過した8月31日に同じ地域を再撮影した。この撮影で得られた画像をオルソ画像化し、クラウド型GIS上で発災直後のオルソ画像と比較できるよう整備した。この結果、図-8に示すように、ブルーシート量の変化が確認された。概ね、ブルーシートは減少傾向にあるものの、一部ではブルーシートが増加している箇所も確認された。この変化は、住家被害に対して修繕を実施した結果を表しており、1つの住宅再建の進捗として捉えることができる。



図-4 目視確認によるブルーシートの特定 (桃色部分)



図-5 AIによる適切なブルーシート判定の例

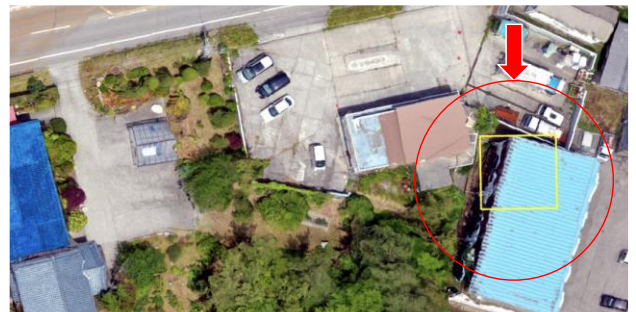


図-6 AIによる誤検出の例



図-7 AIによるブルーシート未検出の例

2019年6月21日撮影



2019年8月31日撮影



図-8 同地点のオルソ化画像比較によるブルーシート量の変化の追跡

すなわち、ドローン撮影画像からブルーシートの変化量を追跡することは、一局面ではあるが、復興のモニタリングとして位置づけることができ、ドローン撮影画像の新たな利用可能性が見いだされたといえる。

7. おわりに

本研究では、無人航空機の1つであるドローンが、近年社会普及している状況を踏まえ、災害対応の現場におけるドローンによる空撮画像の利活用の可能性を探索することを目的とした。多くの空撮画像は、早期の被害の全容把握を目的としており、詳細な1棟単位での家屋の被害状況を把握することを、必ずしも目的としていない。そこで、著者らは2019年6月に発生した山形沖地震の被災地である村上市を事例として、ドローンによる空撮を実施し、オルソ画像化し、クラウド型GIS上にて閲覧範囲を限定した上で共有した。特に、村上市では、地震によって家屋の屋根に被害が多数発生しており、その状況は地上からの外観調査では十分に把握できない課題を有していた。この課題に対して、オルソ化された画像を確認することで、容易に屋根の被害状況を把握することができた。

また、被災者自身も家屋の修繕の必要性を把握するために、屋根の被害状況を確認したいという要望が発生した。これに対して、近隣の被災状況が閲覧できないように配慮しながら、同様の仕組みを通して、被災者に対して各家屋の屋根の被害状況を提示することで、被災者の要望の応えることができた。被災者生活再建支援の観点からは、村上市において屋根の被害実態が把握できたことから、屋根被害に対するリフォーム補助としての新しい支援策が発表された。この支援策の確立においても、本研究で構築したドローン撮影画像からのオルソ化画像

が貢献した。これは、被災実態に即した効果的な支援策であり、総じて被災者生活再建支援に寄与したといえる。

一方で、ドローンの空撮画像の利用展開の可能性について、2点を言及した。1点目はAIを活用したブルーシート特定である。Human-in-the-Loopの考え方にに基づき、人による目視確認を実施した後、その結果を教師データとして活用し、深層学習を実施することでブルーシートの物体検出のモデルを構築した。これを被災地域に再適用し、有用性を検証した。過半数は適切に特定されたものの、一部では誤検出および未検出が確認された。2点目は、ブルーシートの量の変化を追跡することが、復興のモニタリングの1つの方法となり得ることである。発災から約2カ月が経過した後、同地域を再撮影し、発災直後のオルソ化画像と比較することで、ブルーシートの量の変化を確認した。全体的には減少傾向にあるものの、一部では増加も見られた。しかし、確実にブルーシートが減少することは想定されることから、継続的に実施することで、復興の進捗状況のモニタリングが可能になることが示唆された。

本研究では、試行的な実施に留まっている。今後の大規模災害を想定すれば、課題特定と解決策の検討を重ねて、確実な成果を上げる必要があると考えている。また、広域災害時には、ドローン撮影にも限界があることから、航空機やヘリによる空撮画像や衛星画像の活用も視野に入れ、包括的かつ詳細な屋根被害の状況把握のための技術および手法確立を目指したい。

謝辞：本研究の一部は「① 防災科学技術研究所受託研究：首都圏を中心としたレジリエンス総合力向上プロジェクト」、 「② JST, CREST (#JPJMCR16E3)」の支援を受けて実施されました。本研究における社会実装の環境、現場の実知見を提供いただいた村上市税務課の皆様、研究推進に関わった全ての方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁：令和元年 6 月 1 8 日 2 2 時 2 2 分頃の山形県沖の地震について，<https://www.jma.go.jp/jma/press/1906/19a/201906190030.html>, 2019.6. (2019 年 9 月 30 日アクセス)
- 2) 内閣府：山形県沖を震源とする地震に係る被害状況等について（令和元年 7 月 31 日 12 時 00 分時点），http://www.bousai.go.jp/updates/r1jishin/pdf/r10619_jishin_yamagata7.pdf, 2019.7. (2019 年 9 月 30 日アクセス)
- 3) 内閣府：災害に係る住家の被害認定基準運用指針，http://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/h3003shishin_all.pdf, 2018.3. (2019 年 9 月 30 日アクセス)
- 4) 堀江啓，他：新潟県中越地震における被害認定調査・訓練システムの実践的検証ー小千谷市のり災証明書発行業務への適用ー，地域安全学会論文集，No. 7, pp. 123-132, 2005.11.
- 5) Mitsuhiro Higashida, et.al. : QR Coded Field Data Acquisition, Journal of Disaster Research, Fuji Technology Press Ltd., Vol.5, No.1, pp.66-73, 2010.2.
- 6) Katsuyuki Matsuoka, et.al. : GIS-Based Damage Certification Support System Based on Recent Earthquake Experience, Journal of Disaster Research, Fuji Technology Press Ltd., Vol.5, No.1, pp.82-89, 2010.2.
- 7) Munenari Inoguchi, Keiko Tamura and Haruo Hayashi : Realization of Effective Disaster Victim Support Through Development of Victim Master Database with Geo-Reference -A Case Study of 2007 Niigataken Chuetsu-Oki Earthquake-, Journal of Disaster Research, Fuji Technology Press Ltd., Vol.5, No.1, pp.12-21, 2010.2.
- 8) Munenari Inoguchi, Keiko Tamura, Kei Horie, Ryota Hamamoto and Haruo Hayashi : Development of Effective Integrated System for Building Damage Inspection under Harmonious Collaboration between Human and ICT - A Case Study of 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake -, IEEE Big Data 2018, pp.3503-3508, 2018.12.
- 9) 新潟県防災局：「チームにいがた」による村上市の被害状況調査の状況をお知らせします（6 月 25 日 18 時現在【速報値】），http://www.bousai.pref.niigata.jp/contents/information24/team_niigata_190625.pdf, 2019.6. (2019 年 9 月 30 日アクセス)
- 10) 井ノ口 宗成：全国初のサイバーフィジカル防災訓練 2018 年 7 月新潟県燕市において，平成 30 年度版 地域防災データ総覧，一般財団法人 消防防災科学センター，pp.17-26, 2019.3.
- 11) DJI : MAVIC2 スペック，<https://www.dji.com/jp/mavic-2/info#specs>, 2018.8. (2019 年 9 月 30 日アクセス)
- 12) ESRI ジャパン株式会社：Drone2Map for ArcGIS, <https://www.esri.com/products/drone2map/>. (2019 年 9 月 30 日アクセス)
- 13) 村上市：山形県沖を震源とする地震による村上市被災住宅リフォーム事業補助金，<http://www.city.murakami.lg.jp/site/618jishin/hisaijutakureform.html>, 2019.7. (2019 年 8 月 31 日アクセス)

(2019. 10. 4 受付)

Utilization of Aerial Photos Taken by Drone
for Capturing Roof Damage and Survivors Support
- A Case Study of Response in Murakami City at 2019 Yamagata-oki Earthquake -

Munenari INOBUCHI, Keiko TAMURA, Ryota HAMAMOTO and Kei HORIE

Recently, drone as UAV (Unmanned Aerial Vehicle) has become common, and it is utilized to grab the whole picture of damage situation after disaster occurrence by creating orthophoto mosaic from images taken by it. However, we cannot utilize those orthophoto mosaic to inspect the damage degree of each building. Against this issue, we tried to utilize drones for detecting roof damage of each building in the case study of Murakami city which was affected by 2019 Yamagata-oki earthquake.

At this disaster, 4 areas, which are Fuya, Iwasaki, Nakahama and Igurenno, were mainly affected. Then, we design the flight plan of drones to take images of each building. We utilize MAVIC 2 Pro, which is one of drones sold by DJI and can take 4K picture. We operated it from June 21st, 2019, took images, and create orthophoto mosaic over the 4 affected areas. Then, we shared the orthophoto mosaic in cloud-based GIS platform with city officers in Murakami city.

By utilizing this platform, they check the roof damage of each building, which they couldnot judge the degree of roof damage from ground. Survivors watched this orthophoto mosaic in order to judge whether they should ask building contractors to repair their roofs or not. Furthermore, Murakami city undertood the situation that roof damage were spread over the affected area, and they decided to establish new support program for repairing damaged roofs.

Now, we struggle with 2 new challenges. One is to detect bluesheet volume utilizing deep-learning, the other is to monitor the progress of life reconstruction by tracking transition of bluesheet volume. We are promising to get good result of these challenges for realization of prompt life reconstruction in the near future.