

大規模災害時のドローンを用いた情報通信ネットワークの構築 Construction of an Information Communication Network Using a Drone in a Large-Scale Disaster

原 晋介*

1. はじめに

我が国は、世界の国土面積全体のわずか0.25%しか占めていないにもかかわらず、災害被害額の世界全体に占める割合が18.3%であることからわかるとおり、その位置、地形、地質や気象等の自然的条件から、台風、豪雨、豪雪、洪水、土砂災害、地震、津波や火山噴火等による災害が発生しやすい国土となっている¹⁾。近年は、巨大地震が発生する確率が特に高く、南海トラフ地震と首都直下地震の30年以内の発生確率は現在70%に達している。発生後20年間での経済被害は、前者で約1,410兆円、一方、後方で778兆円にのぼると試算されている²⁾。大規模災害が起こると、家屋、道路、水道、電気、ガスや情報通信を含むすべてのインフラやライフラインは壊滅的な被害を受け、その結果、多くの人命が失われ、また、多くの住民が避難場所での長期の生活を余儀なくされることになる。

一方、我が国では、小型無人機は「空の産業革命」と位置付けられており、内閣府がその利活用と技術開発のロードマップを2016年に策定し毎年更新している。その最新版によると、小型無人機の飛行は、2018年末に目視外・無人地帯(レベル3)で可能になったが、さらに、2022年頃には目視外・有人地帯(レベル4)で可能になる見込みである³⁾。小型無人機は、物流、災害対応、農林水産業、インフラ維持管理、測量、警備やエンターテイメント等の分野での利活用が大いに期待されている。

大規模災害時のライフラインの復旧は発生後に迅速かつ着実に行なう必要があり、そのための小型無人機の利活用が検討されている。小型無人機の中で回転翼を持つものをドローンと呼ぶとすると、ドローンは垂直上昇と垂直下降が可能のため、離着陸のために大きなスペースを必要しない。従って、例えば、被災状況の把握や被災者の安否確認のためにドローンを災害対策本部から飛行させ、分断された情報通信インフラの代わりになる臨時の情報通信ネットワークを構築することが大いに期待されている⁴⁾。

本稿では、大規模災害時のドローンを用いた情報通信ネットワークの臨時構築における問題点を考えてみたい。

2. 大規模災害時の復旧シナリオ

2.1 インフラの被災確認

大規模災害発生直後には、被災地域と災害を免れた地域間の情報ネットワークに分断が起こる。災害対策本部では、被災地域での家屋の倒壊状況や道路の寸断状況および電気、水、ガスや情報ネットワークの障害状況を把握できない。従って、災害対策本部では、被災地域におけるインフラの被害状況を早急に調査し、それが把握できるような、各インフラ別の2次元(平面)の被災マップを作成することが必要となる。

2.2 生存者の確認および避難者の情報把握

災害発生直後には、倒壊した建物から生存者を救出するための作業指示や人員派遣を災害対策本部からは指示できない。これに関しては、その場に居合わせた周りの人々の助けを借りる他はない。

全国の各市区町村では、避難場所等の地図情報を防災マップの中で収容人数と共にウェブで公開している。住民は「もしも」のことを考えて、近隣の避難場所を普段から把握しておく必要がある。災害発生直後には、情報ネットワークがダウンしているので、被災者はこのマップの記憶を頼りに近隣の避難場所に避難することになる。

災害対策本部は、自分の受け持ち地域の中の各避難場所に何名の避難者がいるかという、避難者の 2 次元分布マップを早急に作成する必要がある。また、倒壊を免れた家屋や自家用車に留まっている住人もいる。従って、避難者の 2 次元分布マップには、そのような情報も含む必要がある。

2. 3 医療救護

生死を分けるタイムリミットは 72 時間であるため、生存者の救出を最優先させるべきである。生存者の救護は、災害発生直後は、その地域の医療機関のスタッフがあたり、その後、ある程度大きな自治体であれば、医師、看護師、救急救命士やその他のコメディカルや事務員等で構成される DMAT (Disaster Medical Assistance Team) が派遣されてくるので、彼らの助けを借りることになる。

2. 4 安否確認のためのメッセージ集配信

避難者にとって、離散した家族の安否は最も重要で真っ先に知りたい情報である。有線の情報通信ネットワークを復旧させるには時間を要するので、無線を使った情報通信ネットワークを臨時に構築することが必要となる。音声会話通信のような双方向性かつリアルタイム性を要求する通信手段を短期間に確立することは難しいので、遅延を許容できるメッセージ交換型それもメッセージ長を制限し、なるべく多くの避難者のメッセージを短時間で集配信できる情報通信ネットワークを構築する必要がある。

3. 復旧シナリオにおけるドローンの活用

3. 1 インフラの被災確認

被災地域での家屋の倒壊状況と道路の寸断状況がわかれば、電気、ガス、水道や情報通信のインフラの被災状況はある程度推定できると考えられる。家屋の倒壊状況と道路の寸断状況は画像情報から判断できるので、災害対策本部は、ビデオカメラを搭載したドローンを被災地域に網羅的に飛行させ、収集した画像情報から被害状況を分析できる。最近では、4k 解像度の高品質なビデオカメラを搭載したドローンが比較的安価に購入でき

るようになっている。

ドローンのエネルギー消費の中で圧倒的に支配的なのは飛行動力に必要なエネルギーである。ドローンの飛行時間が現状で 20~30 分程度であることを考慮に入れると、被災地域の広さにもよるが、一台のドローンが一回の飛行で全地域を網羅的に飛行し、詳しい被災状況を撮影できるとは考えにくい。さらに、一度撮影した地域に再び戻り、その中の特定の領域を詳しく撮影し直すことも効率的ではない。従って、ドローンに無線通信機能を搭載し、撮影画像を災害対策本部でモニターしながら、被災マップを作成することがドローンのエネルギー消費の観点からは効率的であると考えられる。

3. 2 生存者の確認および避難者の情報把握

被災地域で網羅的に収集した画像情報だけから、避難者分布マップを作成することは難しい。災害発生直後ならば、個々の住人が持つ携帯電話端末は使える状態にあるので、例えば、携帯電話の基地局を搭載したドローンを被災地域に飛行させれば、携帯電話端末から送信される制御信号をドローンで受信することにより、避難者数の数と位置を推定することは可能であるかもしれない。しかし、残念ながら、現行の法律では、携帯電話基地局は移動しながらの信号の送受信が行えない。

現在、我々のほとんどが携帯電話としてスマートフォンを使っており、そのスマートフォンには WiFi、Bluetooth や BLE (Bluetooth Low Energy) といった無線通信方式が搭載されている。これらの無線通信方式は、免許不要の周波数帯を他の端末やアクセスポイントと共用しながら信号を送受信するので、自端末の存在を他端末に知らせるためと近隣の他端末とアクセスポイントを認識するために絶えず無線信号を送受信している。従って、携帯電話基地局の代わりに WiFi 等のアクセスポイントを搭載したドローンを被災地域に飛行させ、スマートフォンから送信される WiFi 信号をドローンで受信することにより、避難者数の数と位置を推定することは可能であると考えられる。

3. 3 医療救護

被災地域では、災害対策本部、複数の DMAT 活動拠

点と複数の医療機関が医療救護や支援を行なうことになる。効率的な医療救護を行なうためには、医療救護・支援に関する情報の提供、収集と共有を行ないながら、災害対策本部、DMAT 活動拠点と医療機関は連携する必要がある。このような複数の医療拠点間の連携を可能にするには、それらの間に情報通信ネットワークを確立することが必要であり、それにドローンを活用できる。

3. 4 安否確認のためのメッセージ集配信

WiFi のアクセスポイントを搭載したドローンにより被災者の分布マップが作成できることを3.2で述べたが、同様の方法で、被災者の安否確認メッセージ集配信ネットワークが構築できる。ドローンの飛行時間が現状で20~30分程度であり、被災地域全体に複数のメッセージの集配信地点が分散しており、各集配信地点でドローンはホバリングしながらメッセージを集配信する必要があることを考慮に入れると、ドローンは一回の飛行ですべてのメッセージを集配信できない。つまり、ドローンは災害対策本部との間を数回往復することになる。

4. 復旧シナリオにおけるドローンの活用の問題点

4. 1 ドローンの運動性能と消費エネルギー

固定翼機や回転翼機の中でもヘリコプターについては、その運動性能と消費エネルギーの関係が理論的に解明さされており教科書にも詳しく書かれている⁹⁾。しかし、一方、複数の回転翼を持つドローンについては、その運動性能と消費エネルギーの関係はわかっていない。少なくとも、教科書レベルでの解説は見当たらない。ドローンの消費エネルギーは、ドローンの対気速度、重量、表面積、プロペラ回転速度、抵抗係数や空気密度等によって決まる。ドローンの重量は、カメラ、アクセスポイント、救護物資等の搭載物によって大きく異なり、また、対気速度は、その時の被災地域の風速と風向に大きく依存する。つまり、搭載するバッテリー容量を決定しても、運用時のドローンの搭載物と風速と風向によって最大飛行時間が大きく異なることになる。被災地域の撮影、医療機関間情報通信ネットワークと被災者安否確認メッセージ集配信ネットワークでは、ドローンは拠点間を

複数回往復することになるので、与えられた条件の下での、ドローンの最大飛行時間や最大飛行距離等がわかるようになる必要がある。

4. 2 無線通信方式

ドローンを用いた情報通信ネットワークに使用できる無線通信方式の一つは、ドローンの操縦とテレメトリだけの目的に使える無人移動体画像システム⁷⁾であり、このシステムでは、169MHz 帯、2.4GHz 帯および5.7GHz 帯で最大1Wまでの送信電力を用いて5km程度の無線通信を行なうことができる。ここで言う、画像は一般的なものでなく、ロボットの操縦に必要となるテレメトリ画像である。言い換えると、被災情報を把握するための被災地域の撮影画像等の一般的な画像や被災者の安否確認用メッセージは、この無人移動体画像システムでは伝送できない。なお、無人移動体画像システムの使用については、第三級陸上特殊無線技士以上の無線操縦者資格が必要であり、その運用については、複数システムの運用時にシステム間での干渉を起こさないよう事前に運用調整が必要である。

もう一つは、WiFi、Bluetooth や BLE で使っている免許を必用としない周波数帯とその無線通信方式である。典型的なものは、920MHz 帯のテレメータ用、テレコントロール用特定小電力無線局⁸⁾、2.4GHz 帯の小電力データ通信システム⁹⁾および5.6GHz 帯の広帯域移動アクセスシステム¹⁰⁾である。最大送信電力は、920MHz 帯、2.4GHz 帯および5.6GHz 帯でそれぞれ20mW(250mW)、10mW/MHz および200mW と小さいことと周波数帯が比較的高いことより、送受信可能距離が1km程度となる。また、これらの周波数帯では、誰でもが自由に使えるため運用調整は不可能で、他システムからの干渉が問題になる。しかし、被災地域の撮影画像等の一般的な画像や安否確認用メッセージの無線伝送には、これらの周波数帯の無線通信方式を使う他はない。

4. 3 ネットワーキング法

ドローンを用いた安否確認用メッセージ集配信ネットワークにおいて、ドローンが自分の避難場所の上空にやって来た時に、非難者が個々にドローンに搭載されて

いる WiFi アクセスポイントにアクセスすると合計で莫大な時間がかかり、その間ドローンはホバリングを続けなければならない。これは、ドローンのバッテリー容量が厳しく制限されていることを考えると得策ではない。各避難所には普段から WiFi 無線機能が搭載されたサーバを設置しておき、避難者がそのサーバにメッセージを一旦蓄え、ドローンが近づいたらそのサーバが蓄えたメッセージを一括してドローンにアップロード、あるいはドローンからメッセージをダウンロードするようにすべきである。

我々はインターネットを使うことに普段からなれているので、ドローンを用いた被災者の安否確認用メッセージ集配信ネットワークもインターネットと同じ通信プロトコルで構築したいと思うのは自然な発想である。しかし、残念ながら、インターネットとまったく同じ通信プロトコルでメッセージ集配信ネットワークを構築することはできない。その理由は、通常のインターネットは、事前名前解決方式に基づいており、送信元から通信宛先までの物理的な経路が確立していないと、送信元はメッセージをネットワークにいっさい送信できない仕組みになっているからである。ドローンを用いたメッセージ集配信ネットワークでは、避難場所のサーバは通常孤立状態で、ドローンが近づいてきた時だけドローンとの間に物理的な経路が確立する。このような間欠的にしか物理的な経路が確立しないようなネットワークにおいて、仮想的にインターネット上のアプリケーションが動作するように改良されたネットワークに DTN(Delay Tolerant Network: 耐遅延性ネットワーク)がある。従って、災害対策本のサーバ、ドローンに搭載される WiFi アクセスポイント、避難場所に設置しておくサーバおよびその他中継局となりうる移動体の WiFi アクセスポイントには DTN の通信プロトコルを実装しておく必要がある。

5. まとめと今後の課題

本稿では、大規模災害発生直後からインフラが復興されるまでのシナリオの中での、ドローンを用いた情報通信ネットワークの構築について考えた。2020 年度から移動体通信(携帯電話)システム基地局の移動中の送受

信が可能になるという話を聞く。一方で、2022 年から人口密集地でのドローンの操縦が免許制になるという話も聞く。ドローンを取りまく話題にはことかかない。ドローンがより広く活用できるようになることを願う。

参考文献

- 1) 岡垣篤彦, 定光大海: 首都直下地震における DMAT 派遣支援アプリケーションの作成および医療機関の被災予測, 医療情報学, 37 巻, 2 号 (2017).
- 2) 日本経済新聞: 南海トラフ被害, 20 年間で最悪 1410 兆円 土木学会推計, 首都直下地震は 778 兆円, <https://www.nikkei.com/article> (2018).
- 3) 内閣府: 小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ, <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamu-jinki/pdf/shiryou6.pdf> (2018).
- 4) M. Takai, *et al.*: Scenargie as a Network Simulator and Beyond, JIPS Japan, vol.27 (2019).
- 5) 原 晋介: 大規模災害時のドローンを用いた情報通信ネットワークの臨時構築, 電子情報通信学会誌, Vol. 102, No. 6 (2019).
- 6) A. Filippone, Flight Performance of Fixed and Rotary Wing Aircraft. Elsevier (2006).
- 7) 総務省令無線設備規則第 3 条第 15 号.
- 8) 標準規格 ARIB STD-T108 : 920MHz 帯テレメータ用, テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備(2018).
- 9) 標準規格 ARIB STD-T66 3.7 版: 第二世代小電力データ通信システム/ワイヤレス LAN システム(2014).
- 10) 標準規格 ARIB STD-T71 6.2 版: 広帯域移動アクセスシステム (CSMA) (2018).
- 11) 鶴 正人 他, “DTN 技術の現状と展望,” 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, No.16[春号], pp.57-68, 2011.