

# 2023年度 特別研究2 研究状況報告書

高林秀  
三宅研究室 博士前期課程 1 年  
V-CampusID : 23vr008n

January 31, 2024

## Abstract

本稿は本年度特別研究2の研究状況報告を記載するものである。

本稿の構成は、第一章において研究計画の概要、第二章において研究計画が確定した昨年度7月から本年1月までに行った研究活動について、第三章において現在の研究の進捗状況と課題点について、第四章において来年度特別研究3以降の修士論文までの計画を示す。

なお巻末には参考文献と、本稿記載の実験環境を格納したリポジトリのURLを記載する。

## Contents

1	研究計画の概要	1
1.1	研究テーマ	1
1.2	研究背景	1
1.3	本研究の新規性	2
1.4	本研究が目指す目標	2
2	研究活動報告	2
2.1	災害対応における問題点の調査	2
2.1.1	災害時の物資輸送フロー	2
2.1.2	災害時の物資輸送における問題事例調査	3
2.2	ドローンの災害時活用事例調査	4
2.2.1	ドローンの災害時活用事例	5
2.3	ドローンの性能調査と法的制約	6
2.3.1	ドローンの性能と価格	6
2.3.2	ドローン運用の法的制約	6
2.4	実験報告	7
2.4.1	シングルエージェントでの簡単な物資輸送シミュレーション	7
2.4.2	マルチエージェントでの簡単な物資輸送シミュレーション	7
2.4.3	強化学習モデルと実機ドローンの連携を行うための技術調査	7

3	研究の進捗状況と課題点	7
3.1	研究の進捗状況	8
3.2	課題点	8
4	来年度以降の計画	8
5	参考文献/リンク集	8
6	実験環境	8

## 1 研究計画の概要

本章では、昨年の特別研究 1 で提出した研究計画について、研究テーマ、研究背景、本研究が目指す目標について簡単に記載する。詳細は、巻末に添付する特別研究 1 の研究計画書を参照されたい。

### 1.1 研究テーマ

マルチエージェント強化学習を利用した、自律型ドローンによる災害時の援助物資輸送アプローチ  
大規模災害時の被災者救助と物資輸送の効率化を目指す。具体的には、ドローンとマルチエージェント強化学習を組み合わせた新たなアプローチを開発し、その有効性を検証する。

### 1.2 研究背景

自衛隊員の不足 災害大国である我が国において、被災者の搜索、被害状況の把握、救援物資の現地輸送といった対応は、迅速かつ効率的に行われなければならない。しかし近年、そのような災害対応を一任務とする、自衛隊員の人材が不足している、あるいは今後不足する事態が予想されるなど、好ましくない状況が続いている。

陸上自衛隊におけるドローン配備の増強と活用 防衛省は 2020 年に、同年末までに陸上自衛隊のドローン配備数を合計 201 機とすることを発表していた。2018 年末の時点での配備数は計で 13 機であったため、大幅な増強をおこなうこととなった。

このドローン増強の背景として、2018 年 9 月に発生した北海道胆振東部地震がある。人が入り込めない山奥や広いエリアを短時間で撮影できる利点が評価され、導入が進められた。

2019 年の防衛白書では、人員の進入困難な箇所や方向から地上部隊がドローンを飛ばし、救助を待つ人がどこにいるかなどの情報を迅速に提供したと明記され、陸上自衛隊の各基地にドローンを 1,2 機ずつ配備する体制が進んでいた。

また、同年 2 月には、陸上自衛隊東部方面總監部と JUIDA(日本 UAS 産業振興協議会)<sup>1</sup>が大規模災害発生時における相互協力を目的とした協定を締結しており、今後自衛隊の災害派遣においてドローンの利活用がさらに進むことが予想される。

---

1

レベル4飛行の解禁 レベル4飛行とは、有人地帯での目視外飛行のこと。目視で監視できない状態で、有人地帯上空を自律飛行することができる飛行レベルを指す。我が国では2022年12月5日に改正航空法が施行され、レベル4飛行が解禁された。

これにより、現在ドローンの災害対応における有効性に注目が集まっている。

### 1.3 本研究の新規性

### 1.4 本研究が目指す目標

本研究では、災害で孤立した街や都市を再現し、複数のドローンをエージェントとした強化学習によって、被災者の捜索、救援物資の輸送の最適化を模索し、自律型ドローンの災害時における有用性を検証する。また、学習したモデルを用いて、実際のドローンを用いた飛行までの技術開発と飛行実験まで行うことを目標とする。

## 2 研究活動報告

本章では昨年度7月の研究計画の確定から本年1月までに行った研究活動について記載する。

### 2.1 災害対応における問題点の調査

まず、本研究の目標の一つである災害時における物資輸送について、過去の大規模災害時の事例を元に調査を行った。

#### 2.1.1 災害時の物資輸送フロー

まず、災害時の物資輸送フローについて調査を行った。以下は、平成23年に国土交通省が作成した、『救援物資物流システムの基本的な考え方に関するアドバイザリー会議』の報告書から要約し、まとめたものである。この報告書には、災害時における救援物資の基本的な輸送フローについてまとめられており、物資の発送から各避難所への到着までの流れが記載されている。



Figure 1: 救援物資輸送の基本フロー

一次物資集積拠点では、救援物資を荷下ろしし、市町村毎の二次物資集積拠点毎に救援物資を仕分けし、トラック等の輸送手段に積み替え、救援物資は二次物資集積拠点に輸送される。二次物資集積拠点では、一次物資集積拠点から輸送された救援物資を荷下ろしし、今度は避難所毎に救援物資を仕分けし、さらにトラック等の輸送手段に積み替え、救援物資は避難所に輸送され、最終的に被災者の下に救援物資が届けられることになる。発地から直接二次物資集積拠点や避難所まで直接輸送される救援物資もある。

### 2.1.2 災害時の物資輸送における問題事例調査

次に、大規模災害時実際に救援物資輸送に際し、どのような問題が発生したのかを調査した。ここでは、阪神淡路大震災と東日本大震災における事例を示す。

1995 年 阪神淡路大震災 以下は、内閣府防災情報に掲載されている『阪神淡路大震災教訓情報資料集～第 1 期初動対応』からの抜粋である。この資料集には、阪神淡路大震災において、救援物資輸送の際に遭遇した問題点がまとめられている。

道路の寸断、交通集中による渋滞などにより、輸送が滞るという事態が報告されている。

地震発生翌日から、被災地域に急行する緊急物資等輸送車両や救援車両が渋滞のため立ち往生したり、遠方からの緊急物資等輸送車両が指定された目的地がわからず右往左往する状況があり、それに応ずるため、交通機動隊の白パイとパトカーにより救助・救援車両等の先導・誘導活動を実施した。

...

阪神高速道路の倒壊により東西を結ぶ代替道路が激しく渋滞し、物資の輸送には非常に多くの時間がかかった。

...

翌日になっても渋滞は物資の輸送を妨げた。午前 10 時に連絡を受けて、王子陸上競技場に空輸された物資を受け取りにいった車は、5 キロを 2 往復するのに 8 時間かかった

このように、幹線道路の寸断や道路設備破壊による交通の混乱により、救援物資の輸送に時間がかかったという事例が報告されている。現地に集積まではできたとしても、その後の受け取りから配送において多くの時間がかかってしまったという事例だ。

また、空路においても問題が発生している。

ヘリコプターは緊急物資や医師団の輸送に大きな力を発揮した。しかし、ポートアイランドに設けられた肝心のヘリポートが滑走路のひび割れなどで、その機能は低下していた。

...

臨時のヘリポートを開設した。それでも、誘導標識がないなど、設備面はもとより、全体としてヘリポートの量的な不足は否めなかった。

陸路に加えて、空路での輸送も実施はされたが、ヘリポートへの被害や、その数自体が不足するなどの課題も浮彫となった。

2011 年 東日本大震災 被災地域の自治体では、指揮系統の混乱や人員不足、機能不全による救援物資輸送の課題が報告されている。以下は、東北大学が掲載している『南三陸町 東日本大震災 職員初動対応等検証 報告書』からの抜粋である。

物資の避難所への配送には、町職員では人員が足りないことから、運送業者や自衛隊、町民にもお願いをして対応した。

…

第一に、町職員が物資の仕分け・管理・配送をするのは限界があるにもかかわらず、物資管理の専門の宅配業者から支援を受けるのに時間がかかったことである。

…

第二に、燃料は先に調達体制ができたが、受入れ体制が整うまでに時間がかかってしまい、数日程度供給が滞ってしまったことである。

…

第三に、ベイサイドアリーナは、トラックが1台ずつしか通れず、入り口にトランシーバーを持った職員を配置して運用しないといけない構造で、人員が必要でかつ時間がかかったことである。

このように南三陸町の事例では、人手不足による要因と、被災後の行政の機能不全による救援物資輸送の問題点が挙げられていた。

まとめ 以上の事例から、災害時における救援物資輸送において、以下のような問題点があることがわかった。

- 道路の寸断や交通集中による渋滞により、救援物資の輸送に時間がかかる。
- 空路においても、ヘリポート/航空設備の被害や、数の不足により、迅速に救援物資の輸送を行えない。
- 人手不足により、救援物資の輸送体制が脆弱である。
- 行政の機能不全と指揮系統の混乱により、迅速な救援物資の輸送が行えない。

## 2.2 ドローンの災害時活用事例調査

ドローンの災害時における活用、研究事例を調査した。

### 2.2.1 ドローンの災害時活用事例

この章では、過去の我が国における災害時において、実際にドローンが活用された事例を示す。

全国初のドローンによる救援物資の輸送事例 これは、大分県、佐賀県、福岡県において2023年6月末から同年7月16日にかけて降り続いた大雨に関する事例である。この大雨では、6月28日から7月16日までの総降水量が大分県、佐賀県、福岡県で1,200ミリを超え、気象庁は7月10日朝に福岡県と大分県を対象に大雨特別警報を発表する事態にまで発展した。

この大雨で大分県の由布市では、地滑りが発生し、住宅1棟が倒壊、住民2人が孤立するという状況があった。

発生直後、防災ヘリコプターを飛ばせなかったことから、食料や水、救助隊と連絡を取り合う衛星電話などの救援物資を届けるためにドローンを使った全国初の事例である。

大分県によれば、物資を配送する拠点から孤立した住宅まで、徒歩だとおよそ2時間かかるところが3分で輸送できたという。

この事例では、ドローンによる救援物資の輸送が実際に行われ、土砂災害で孤立した地域に対して、ピンポイントかつ迅速に救援物資の輸送ができた事が示された。また、この大雨で発生した土砂崩れや河川の氾濫の被害状況の調査でも活用されたという。

令和6年度 能登半島地震における事例 本年初頭に発生した能登半島地震においても、官民連携でドローンが活用された事例がある。

本年1月8日、石川県輪島市において孤立地域・世帯に対しドローンによる薬の輸送が行われた。700人以上が孤立状態になっている輪島市鶴巣地区に向けて市内の中心部から薬を配送した。ドローン関連の企業などで作る日本UAS産業振興協議会(JUIDA)は能登半島地震の発生後、輪島市から要請を受けてドローンを使った搜索や物資の輸送を行っている。

また、本地震の事例では救援物資の輸送以外にも、被害状況の偵察と物資運搬ルート探索においてドローンが活用された。株式会社SkyDrive<sup>2</sup>は、陸上自衛隊 豊川駐屯地の第十特科連隊からの要請に基づき、本年1月8日から14日まで、石川県輪島市において被害状況の確認および救援物資の輸送のルート探索で、ドローンを活用した。



Figure 2: SkyDrive 社によるドローン支援の様子  
出典: <https://www.skydrive2020.com/news/20210115/>

## 2.3 ドローンの性能調査と法的制約

この章では、ドローンの性能（連続飛行可能時間、最大積載量）と我が国での運用における法的制約について調査した。

### 2.3.1 ドローンの性能と価格

まず災害用ドローンの性能について調査した。以下は、災害用ドローンの性能についてまとめたものである。

### 2.3.2 ドローン運用の法的制約

我が国では、ドローンの運用については航空法により定められている事項がある。以下はその主な制限事項である。

- 飛行禁止空域に関する取り決め
  - 空港周辺での飛行の禁止
  - 人口密集地での飛行の禁止
  - 高度 150m 以上での飛行の禁止
  - 緊急用無空域<sup>3</sup>での飛行の禁止
- 飛行方法に関する取り決め
  - アルコール又は薬物等の影響下で飛行させないこと
  - 航空機又は他の無人航空機との衝突を予防するよう飛行させること
  - 他人に迷惑を及ぼすような方法で飛行させないこと
  - 飛行前に安全確認を行うこと

また、以下の飛行方法に関しては、一等無人航空機操縦士などの資格を有する者が、あらかじめ地方航空局長の承認を受けることが定められている。

- 夜間での飛行
- 目視外での飛行
- 人又は物件との距離を確保できない飛行
- 催し場所上空での飛行
- 危険物の輸送
- 物件の投下

ただし、これらの制限事項は、災害などの緊急時において国や自治体からの要請と承認を受けている場合に限り、適用されないことになっている。以下は、国土交通省が公表している『搜索又は救助のための特例について』からの抜粋である。

飛行禁止空域及び承認が必要となる方法における飛行については、事故や災害時に、国や地方公共団体、また、これらの者の依頼を受けた者が搜索又は救助を行うために無人航空機を飛行させる場合については、適用されないこととなっています。一方、本特例が適用された場合であっても、航空機の航行の安全や地上の人等の安全が損なわれないよう、必要な安全確保を自主的に行う必要があることから、当該安全確保の方法として、以下の運用ガイドラインを当局として定めていますので、特例が適用される機関や者については、本運用ガイドラインを参照しつつ、必要な安全確保を行うようにして下さい。

従って、航空法改正によりレベル4 飛行（有人地帯での目視外飛行）が解禁されたとしても、その飛行には平時、災害時問わず、国や自治体からの要請と承認が必要となることになる。

## 2.4 実験報告

### 2.4.1 シングルエージェントでの簡単な物資輸送シミュレーション

### 2.4.2 マルチエージェントでの簡単な物資輸送シミュレーション

### 2.4.3 強化学習モデルと実機ドローンの連携を行うための技術調査

#### PLATEAU 環境と現実のデバイスとの連携

#### ドローンの遠隔操作方法

## 3 研究の進捗状況と課題点

本章では、昨年の特別研究 1 で示した計画表を元に、本年 2 月現在における研究の進捗状況の開示と、直面している課題点について記載する。

### 3.1 研究の進捗状況

### 3.2 課題点

## 4 来年度以降の計画

## 5 参考文献/リンク集

## 6 実験環境