

AED タクシーのカバー圏域を考慮した際の救命ドローンの有効性に関する研究 ー千葉市を事例としてー

日大生産工 (院) ○松下 優希
日大生産工 岩田 伸一郎

1. はじめに

現在、設置型 AED からモビリティを用いて AED を直接必要とする地点に届ける仕組みが考案・導入されている。その中で、人口の多い市街地では AED を搭載したタクシー（以下、AED タクシー）を、人口の少ない郊外では AED を搭載したドローン（以下、救命ドローン）を用いて AED を必要とする地点（以下、需要地点）まで届ける仕組みが考案されている。

先行研究では、千葉市を事例に中川¹⁾（以下、先行研究 1）が救命ドローンの有効性について検証を行い、井上²⁾（以下、先行研究 2）は AED タクシーの導入効果の検証を行った。先行研究 1 では、本来であれば AED タクシーがカバーすることができないエリアを対象とする必要があるが、AED タクシーのカバー圏域が不明であったことから、人口密集地を除外したエリアを対象とし検証を行った。また、ドローンポートの配置候補地点として設定した飛行経路網の交点は人が常駐することを想定していないため、救命ドローンの維持管理において懸念がある。

本稿では、先行研究の結果を基に、AED タクシーがカバーできていないエリアを対象（以下、対象エリア）とし、GIS を用いてシミュレーションを行い、救命ドローンの「対象エリアの選定」「ドローンポートの設置地点」「効果的にカバーする方法」を評価指標として、救命ドローンと AED タクシーを併用した際に最も効率良くカバーできる設定条件を考察する。

2. 研究の方法

2.1 救命ドローンの飛行条件

救命ドローンの飛行条件は先行研究 1 と同様の設定とした。救命ドローンの飛行条件の設定を以下に示す。

- ①ドローンポートを出発した救命ドローンは需要地点へ直接向かう設定とする。
- ②救命ドローンの速度は時速 70km で飛行し、時間と天候の影響は受けしないものとする。

- ③ドローンポート 1 つにつき救命ドローン 1 機を配備し、需要地点に最も近い救命ドローンが向かうものとする。

- ④救命ドローン到着目標時間は 3 分とする³⁾。

本稿では、人口を効率的にカバーする場合（以下、人口カバー最適化）と面積を効率的にカバーする場合（以下、面積カバー最適化）の 2 パターンでシミュレーションを行なっていく。

2.2 対象エリアの選定

救命ドローンの対象エリアは AED タクシーのカバー圏域を除外した千葉市全域とする。そのため、先行研究 2 の AED タクシーのシミュレーション結果を用いて対象エリアの選定を行う。

AED タクシーのカバー圏域を図 1 に示す。救命ドローンの到達目標時間と同様の 3 分以内に到達することができる AED タクシーのカバー圏域を除外したエリア（以下、AED タクシー 3 分圏域除外エリア）と人口の多い市街地を広くカバーできる AED タクシーの 4 分以内のカバー圏域を除外したエリア（以下、AED タクシー 4 分圏域除外エリア）を対象エリアとし、それぞれシミュレーションを行う。

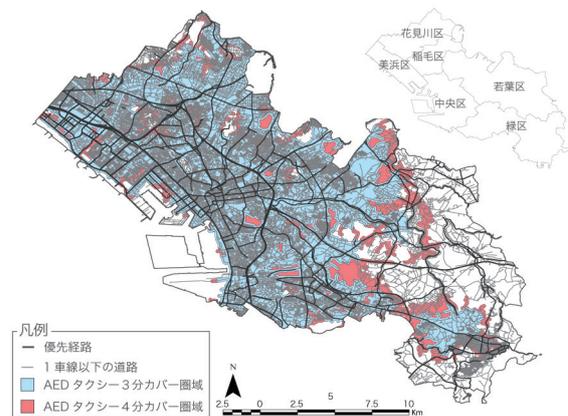


図 1 AED タクシーのカバー圏域

2.3 飛行経路の選定

先行研究 1 と同様に飛行経路はネットワーク上に広がる道路と河川の上空とし、飛行経路の中で、2 車線以上の道路と河川の上空（以下、優先道路）を優先的に選択して飛行する設定とする。飛行経

A study on the effectiveness of lifesaving drones when considering the coverage area of AED cabs.

ー Chiba City as a Case Study ー

Yuki MATSUSHITA and Shinichiro IWATA

路のデータは ArcGIS GeoSuite 道路網 2021 を基に道路網のネットワークデータセットを構築する。また、AED タクシーのカバー圏域は救命ドローンの対象エリア外だが、より多くの需要地点をカバーすることを考慮し、AED タクシーのカバー圏域内も飛行可能とする。

2.4 ドローンポート設置地点選定

救命ドローンの出発地点となるドローンポートは、優先道路の交点付近に設置する場合と、人が常駐する公益的な施設（以下、公益施設）に設置する場合の2パターンをドローンポート設置候補地点（以下、候補地点）とする。

2.4.1 交差点のドローンポート候補地点

救命ドローンの出発地点であるドローンポートでは、360° 全方向へ進み始めることが可能なドローンの機動力を活かすため、千葉市内全ての優先道路の交点付近にドローンポート（以下、交差点ドローンポート）を配置する。したがって、候補地点数は760地点となる。

2.4.2 公益施設のドローンポート候補地点

対象とする公益施設は行政が運用することを想定し、市役所や警察署、消防署などの公共施設と、AEDの扱いに長けている医療従事者の存在を考慮し、病院や診療所などの医療機関に候補地点を配置する。公共施設は千葉市の公共施設位置情報データ⁴⁾から、医療機関は国土数値情報ダウンロードサービスの千葉県医療機関データ⁵⁾から得られた座標に基づきGIS上に配置する。したがって、公共施設の候補地点は422地点^{注1)}となり、医療機関の候補地点数は1,273地点^{注2)}となる。上記の公共施設と医療機関を合わせた公益施設のドローンポートの候補地点（以下、公益施設ドローンポート）数は1,695地点となる。

上記の各パターンの候補地点及び飛行ルートを図2に示す。図2のaのような人口が密集している地域では、公益施設ドローンポート候補地点が多く、bのような人口の少ない郊外では交差点ドローンポート候補地点の方が多く分布している。

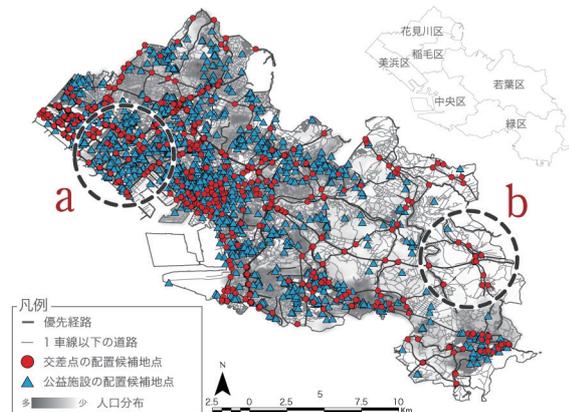


図2 各パターンの候補地点と飛行ルートと人口分布

2.5 需要地点の分布

2.5.1 人口カバー最適化の需要地点

2015年度の国勢調査の人口のデータを使用して、千葉市の人口は978,704人であり、人口分のポイントを町村ごとにそのエリアにランダムに配置し、需要地点とした。本稿では、AED タクシー3分圏域除外エリアとAED タクシー4分圏域除外エリアの2つの対象エリアでそれぞれシミュレーションを行うため、需要地点も2パターン配置する。そのため、AED タクシー3分圏域除外エリアは195,324箇所、AED タクシー4分圏域除外エリアは85,463箇所となった。

2.5.2 面積カバー最適化の需要地点

先行研究1と同様に、対象エリアを一辺100mの正方形グリッドで分割し、その重心にポイントを設置し、需要地点とする。需要地点の個数はAED タクシー3分圏域除外エリアは13,998箇所、AED タクシー4分圏域除外エリアは10,027箇所となった。

2.6 評価方法

本稿では、ドローンポート設置地点（以下、設置地点）の数を1地点から人口カバー最適化では人口をカバーしている割合（以下、人口カバー率）が最大になる設置地点数まで、面積カバー最適化では面積をカバーしている割合（以下、面積カバー率）が最大になる設置地点数まで設置地点を選び続ける。両カバー率の推移から最適な設置地点数と設置地点を求めていく。また、人口カバー最適化は人口カバー率の変化率が1%を下回る直前の設置地点数の時、面積カバー最適化は面積カバー率の変化率が1%を下回る直前の設置地点数の時において考察を行う。

2.7 シミュレーションの手順

設置地点と人口カバー率と面積カバー率を求めるシミュレーションの手順を以下に示す。

①人口カバー最適化では人口カバー率とその設置地点を、面積カバー最適化では面積カバー率とその設置地点を求めるために、候補地点から需要地点を最も効率的にカバーする設置地点を求めることができるGISのNetwork analystのロケーション-アロケーション解析を行う。

②-1 人口カバー最適化では面積カバー率を求めるために、①で求められた設置地点を用いて到達圏解析を行う。到達圏解析によって求められた到達圏の面積を対象エリアの面積で除したものを面積カバー率とする。

②-2 面積カバー最適化では人口カバー率を求めるために、①で求められた設置地点を用いて到達圏解析を行う。到達圏解析によって求められた到達圏内に存在する人口の需要地点を対象エリア内の人口の需要地点で除したものを人口カバー率とする。

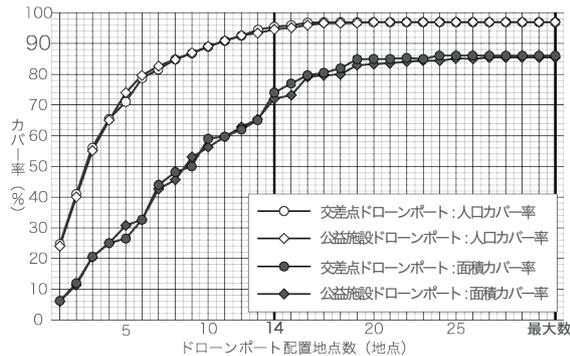


図3 人口カバー最適化/AED タクシー3分圏域除外エリアの両カバー率

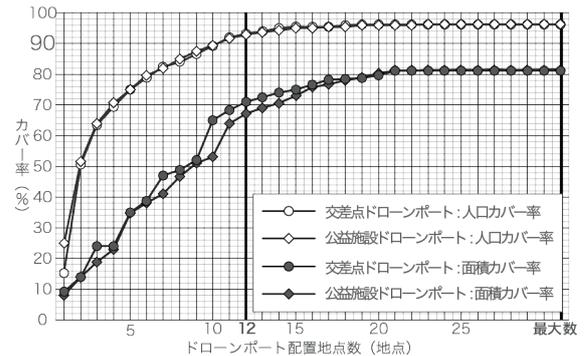


図5 人口カバー最適化/AED タクシー4分圏域除外エリアの両カバー率

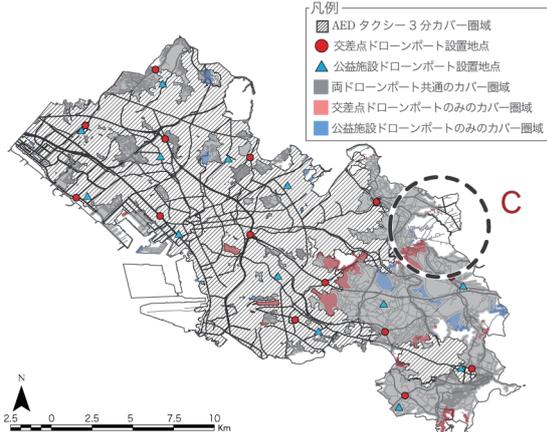


図4 人口カバー最適化/AED タクシー3分圏域除外エリアの比較
3 シミュレーションの結果と考察

3.1 人口カバー最適化

3.1.1 AED タクシー3分圏域除外エリアの場合

人口カバー最適化のAED タクシー3分圏域除外エリアの人口カバー率と面積カバー率の結果を図3に、その時の比較の地図を図4に示す。AED タクシー3分圏域除外エリアでは交差点ドローンポートの場合、設置地点数が14地点の時、人口カバー率が94.71%、面積カバー率が73.81%となった。公益施設ドローンポートの場合、設置地点数が14地点の時、人口カバー率が94.47%、面積カバー率が72.15%となった。

交差点及び公益施設のドローンポートは、共に同じ設置地点数でカバー率も近い値となった。設置地点が多少ずれたことにより、カバー圏域にばらつきが生まれた。また、図4のcのようなエリアは人口が少ない郊外のため、人口カバー最適化ではカバーする優先度が低くなり、面積カバー率が低くなったと考えられる。

3.1.2 AED タクシー4分圏域除外エリアの場合

人口カバー最適化のAED タクシー4分圏域除外エリアの人口カバー率と面積カバー率の結果を図5に、その時の比較の地図を図6に示す。AED タクシー4分圏域除外エリアでは交差点ドローンポートの場合、設置地点数が12地点の時、人口カバー率が93.32%、面積カバー率が70.88%となった。公益施設ドローンポートの場合、設置地点数が19地点の時、面積カバー率が92.43%、人口カバー率が93.1%となった。

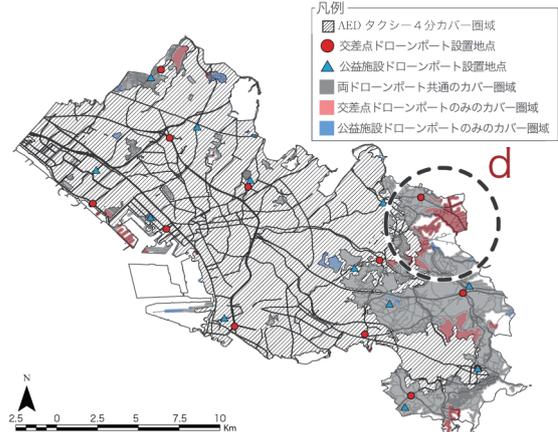


図6 人口カバー最適化/AED タクシー4分圏域除外エリアの比較
が12地点の時、人口カバー率が92.78%、面積カバー率が66.95%となった。

AED タクシー4分圏域除外エリアはAED タクシー3分圏域除外エリアよりも対象エリアが狭いことから、人口の多い市街地をカバーする必要がないため、図6のdのような郊外をカバーすることができたと考えられる。また、このエリアは交差点ドローンポートのみカバーすることができた。これは、対象エリアの郊外にも多く候補地点のある交差点ドローンポートが公益施設ドローンポートよりもAED タクシーのカバー圏域から離れた候補地点が選ばれたためだと考える。

3.2 面積カバー最適化

3.2.1 AED タクシー3分圏域除外エリアの場合

面積カバー最適化のAED タクシー3分圏域除外エリアの面積カバー率と人口カバー率の結果を図7に、その時の比較の地図を図8に示す。AED タクシー3分圏域除外エリアでは交差点ドローンポートの場合、設置地点数が18地点の時、面積カバー率が93.1%、人口カバー率が94.14%となった。公益施設ドローンポートの場合、設置地点数が19地点の時、面積カバー率が92.43%、人口カバー率が93.1%となった。

以上より、面積カバー率よりも人口カバー率の方が高い結果となった。これは、人口が密集しているエリアについては、小さいカバー圏域で多くの人口をカバーできたからだと推測できる。

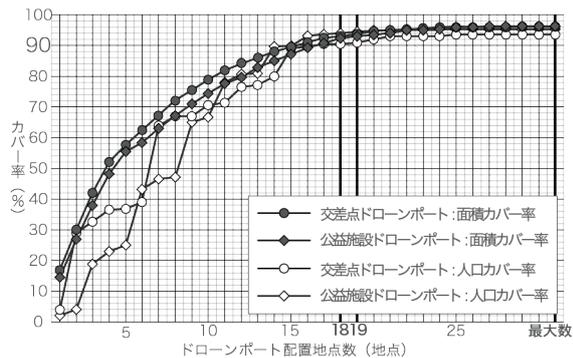


図7 面積カバー最適化/AED タクシー3分圏域除外エリアの両カバー率

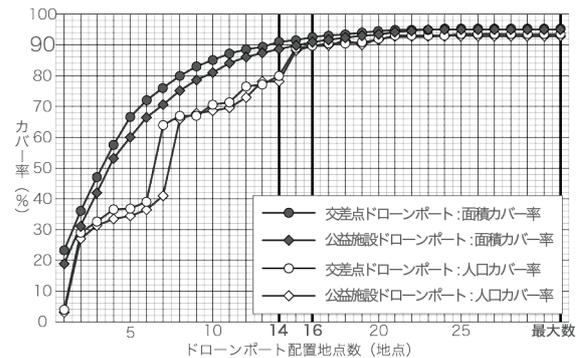


図9 面積カバー最適化/AED タクシー4分圏域除外エリアの両カバー率

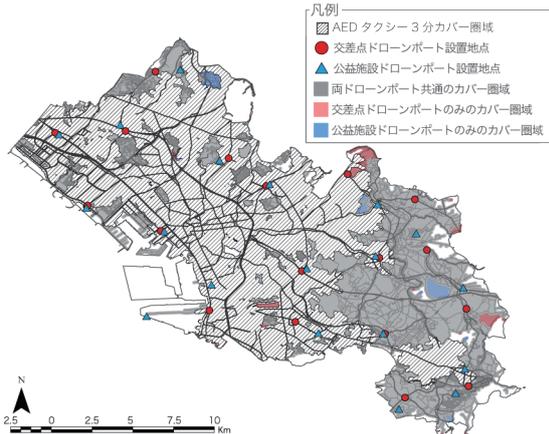


図8 面積カバー最適化/AED タクシー3分圏域除外エリアの比較

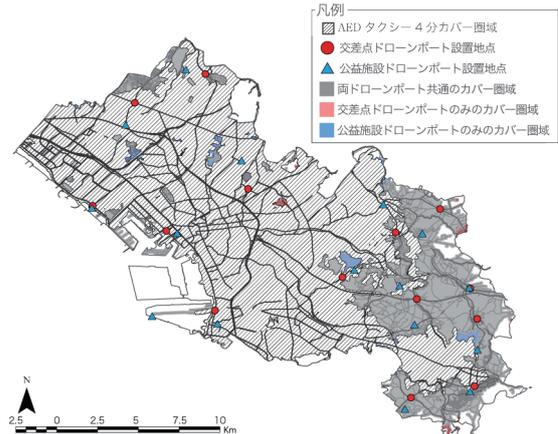


図10 面積カバー最適化/AED タクシー4分圏域除外エリアの比較

3.2.2 AED タクシー4分圏域除外エリアの場合

面積カバー最適化のAED タクシー4分圏域除外エリアの面積カバー率と人口カバー率の結果を図9に、その時の比較の地図を図10に示す。AED タクシー4分圏域除外エリアでは交差点ドローンポートの場合、設置地点数が14地点の時、面積カバー率が90.86%、人口カバー率が80.33%である。公益施設ドローンポートの場合、設置地点数が16地点の時、面積カバー率が91.09%、人口カバー率が89.98%である。

面積カバー最適化では交差点ドローンポートの方が公益施設ドローンポートよりも少ない設置地点数でカバーできることがわかった。これは、人口の少ない郊外にも多く候補地点が分布しているため、公益施設ドローンポートよりも効率的にカバーできる配置ができたためだと考える。

4. まとめ

面積カバー最適化は人口カバー最適化に比べ、交差点ドローンポートと公益施設ドローンポートどちらも人口カバー率と面積カバー率で高い値となった。そのため、公益施設にドローンポートを設置し面積カバー最適化に基づいた救命ドローンの運用が両カバー率を維持でき維持管理の観点からも有効な策だと考える。また、対象エリアの変化から設置地点数やカバー率が大きく変化しなかったことから、AED タクシー3分圏

域除外エリアはAED タクシー4分圏域除外エリアよりも、救命ドローンのカバー圏域を最大化できると考える。

今後はカバーできなかった対象エリアの他のAEDの整備方法として24時間営業しているコンビニなどにAEDを設置した場合を検証し考察する。また、AED タクシーと救命ドローンの重複したカバー圏域をどちらのカバー圏域とするのかについても検証していく。

謝辞

本研究はJSPS 科研費JP21K04423の助成を受けたものです。

注釈

- 注1) 公共施設は敷地に屋外が多く防護ネットを敷地全体に設置することが困難であり、ドローンが落下した際の二次リスクが高いため、教育施設と公園を除く。
- 注2) 医療機関は診療科の種類や施設規模に関わらず千葉市内全ての医療機関を候補地点とする。

参考文献

- 1) 中川晃都, 千葉市郊外における救命ドローンの有効性に関する研究, 日本大学大学院生産工学研究科修士論文, (2023)
- 2) 井上了太, 千葉市におけるAED タクシーの導入効果の検証, 日本大学大学院生産工学研究科 修士論文, (2023)
- 3) 公益財団法人日本AED財団, AED の知識, <https://aed-zaidan.jp/knowledge/index.html> (参照 2023-3-20)
- 4) 千葉市ホームページ, ビックデータ・オープンデータ, 地図サービスの位置情報をオープンデータとして公開しています, https://www.city.chiba.jp/shimin/shimin/kohokocho/map_opendata.html (参照 2023-3-20)
- 5) 国土交通省 GIS ホームページ, 医療期間データ, https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-P04-v2_1.html#prefecture12 (参照 2023-3-20)