

過疎地域の搬送時間短縮を目的としたドクターヘリ RP 最適配置モデルの構築

1X10C081-9 徳田一貴
指導教員 大野高裕

1. 研究目的

近年の救命救急活動において、ドクターヘリ¹の利用に注目が集まっている。ドクターヘリとは救急医療用機器や医薬品を搭載した救急医療専用ヘリコプターのことであり、救急医及び看護師が搭乗しているためドクターヘリが患者の下に到着すると同時に治療を開始できる。ドクターヘリは1999年、過疎地域に対して迅速に医療を提供することなどを目的に導入され、年間出動件数は導入当初の392件から現在約13,000件まで伸びている。

ドクターヘリの特徴の一つに出動形態が挙げられる。救急車と異なり、ドクターヘリは救急現場に離着陸できるとは限らないため、患者の下へ直接向かうことができない。このため、ドクターヘリが離着陸できる特定の場所(ランデブーポイント, 以下 RP)が必要となる。すなわちドクターヘリは、救急車が救急現場から RP まで患者を搬送し、その救急車とドクターヘリが RP に到着した後、患者がドクターヘリによって搬送先の病院へ搬送されるという出動形態をとる。そのため効率的なドクターヘリの運用には、ドクターヘリを配備する病院のみならず RP の配置場所も重要な要素となる。

古田ら [1] では、治療を開始するまでの時間に着目し、RP 最適配置モデルを構築している。しかし、全救急現場において救急車とドクターヘリの搬送時間を比較し、最小値をその救急現場の搬送時間としているため、必要以上に都市地域の搬送時間を短縮している一方で、ドクターヘリを必要としている過疎地域の搬送時間が短縮できていない。

そこで本研究では、過疎地域の搬送時間短縮を目的とした RP 最適配置モデルを構築する。これにより地方自治体が RP を整備する際に有用な情報の提供を可能にする。

2. 従来研究

2.1. 古田ら [1]

古田ら [1] では、RP 最適配置モデルを整数計画問題として定式化し、平均搬送時間の最小化を目的とした RP 配置と平均救命率の最大化を目的とした RP 配置のそれぞれを考えている。このとき搬送時間の定義を、救急車が患者を乗せてから医師の下に到着するまでの時間としている。つまり救急現場 i を (x_i, y_i) 、救急現場 i の最寄り RP を (x_{ir}, y_{ir}) 、搬送先病院を (x_e, y_e) 、ドクターヘリ基地病院を (x_d, y_d) 、またドクターヘリ速度を v 、救急車速度を w とした時、ドクターヘリを利用した場合の搬送時間 T_D は式 (1)、救急車を利用して直接病院まで搬送した場合の搬送時間 T_A は式 (2) によって導出される。

搬送のアルゴリズムを次に示す。まず救急現場 i において、

T_D と T_A を比較し、最小値を当該救急現場の搬送時間 T_i とする。次に、 T_i に当該救急現場の需要量 w_i をかける。これを全救急現場において繰り返し、 $\sum_i T_i w_i$ を算出する。そして、この値が最小になった RP の組合せが最適 RP 配置となる。なお、需要量 w_i は人口に比例して重み付けをしている。

$$T_D = \max \left\{ \frac{\sqrt{(x_{ir}-x_i)^2 + (y_{ir}-y_i)^2}}{w}, \frac{\sqrt{(x_{ir}-x_d)^2 + (y_{ir}-y_d)^2}}{v} \right\} \quad (1)$$

$$T_A = \frac{\sqrt{(x_e - x_i)^2 + (y_e - y_i)^2}}{w} \quad (2)$$

2.2. 従来研究の問題点

ドクターヘリを導入する目的の一つは、救急車が行きにくい過疎地域に対して迅速に医療を提供することである。しかし古田ら [1] では、全救急現場において救急車による搬送時間 T_A とドクターヘリによる搬送時間 T_D の最小値を搬送時間としているため、救急車で搬送時間が十分短い地域に対して更に搬送時間を短縮されることとなる。その結果、ドクターヘリが必要な過疎地域に対して迅速に医療が提供できず、ドクターヘリの導入目的に沿わない配置になってしまう。

3. 本研究の提案

3.1. 本研究の問題設定

ドクターヘリ基地病院、搬送先病院、救急現場、救急車速度、ドクターヘリ速度を設定する。搬送先病院とは、ドクターヘリで搬送する患者を想定しているため、高度な治療ができる三次救急医療機関を指す。また救急現場は同時に RP 候補地点であり、本研究では国土交通省が作成した地域基準メッシュ(1km × 1km に分割)を使用する。従来研究では千葉県の人口・地理データを用いて評価実験を行なっているため、比較できるように本研究においても千葉県にて行なう。

3.2. 提案アルゴリズム

本研究では古田ら [1] に基づき、救急車によって M 分以下で搬送できる救急現場では、ドクターヘリを使わずに救急車で搬送するというアルゴリズムを提案する。本研究では、その M を救急車優先時間という言葉で定義する。つまり救急現場 i における搬送時間 T_i は式 (3) によって導出される。

$$T_i = \begin{cases} T_A & (\text{if } T_A < M), \\ \min \{T_A, T_D\} & (\text{if } T_A \geq M), \end{cases} \quad (3)$$

なお、膨大な RP 候補地点から最適な p 個を見つけるために全通り探索するのは非常に困難である。そこで本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いて解の探索を行なう。

¹法律上の正式名称は救急医療用ヘリコプターという。

表 1: 従来研究及び本研究 ($M = 15$) の分析結果

		従来研究	本研究 ($M = 15$)
平均搬送時間 (分)	全体	8.79	9.14
	過疎地域	16.26	13.02
	都市地域	8.07	8.77
標準偏差	全体	6.38	4.76
平均死亡率 (%)	全体	0.43	0.45
	過疎地域	0.71	0.62
	都市地域	0.40	0.43

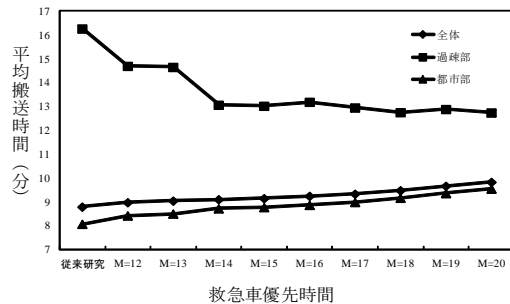


図 1: CASE1 の結果

4. 評価実験

千葉県における評価実験の設定を下記に示す。

- ドクターヘリ基地病院は 2 病院、搬送先病院はドクターヘリ基地病院を含む 9 病院とする。
- 救急現場および RP 候補地点は基準地域メッシュを基に作成するため 5,268 個存在する。
- 救急車速度を 40km/h、ドクターヘリ速度を 200km/h とする。
- 遺伝的アルゴリズムにおける親生成数は 6,000 個、世代数は 200,000 世代、また突然変異確率は 25% とする。
- 本研究における過疎地域とは、61,000 人以下の市町村と定義する。これは千葉県の市町村別人口において中央値が 61,000 人であったため、上記のように定義した。
- RP の個数 p は、 $p = 10$ 付近において目的関数値の変化が非常に小さくなっているため、本研究では $p = 10$ の場合の RP 配置モデルを詳細に分析する。

また感度分析として、CASE1,2,3 の 3 種類の実験を行なう。CASE1 では救急車優先時間 M を 12 分から 20 分まで 1 分ずつ増やす。CASE2 では需要量の重み付け方法を人口分布、高齢者分布、ドクターヘリ出動履歴に変更し、過疎地域の平均搬送時間で比較する。CASE3 では RP 個数 p を 2 個から 20 個まで 2 個ずつ増やす。

5. 結果と考察

表 1 は従来研究及び本研究 ($M = 15$) の分析結果である。全体の搬送時間を維持しつつ、過疎地域の搬送時間を大幅に短縮し、また標準偏差を小さくすることができた。つまりドクターヘリによって、過疎地域に対して迅速に医療を提供

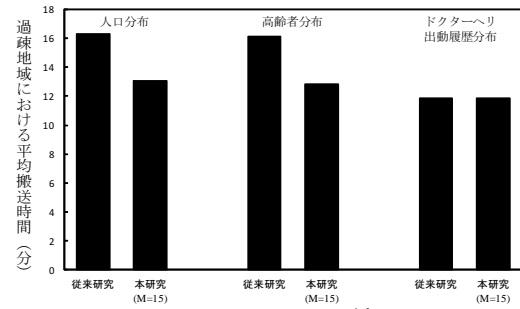


図 2: CASE2 の結果

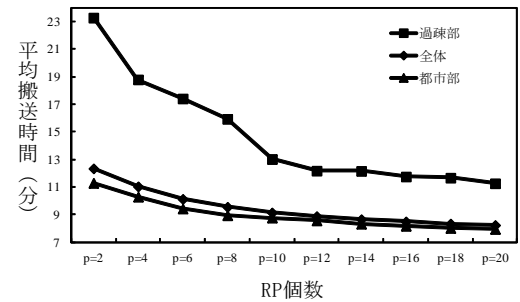


図 3: CASE3 の結果

でき、また地域による救命医療の偏りを小さくすることができた。図 1 は CASE1 の結果である。救急車優先時間の増加に伴い、救急車で搬送しなければならない地域が増えるため、全体および都市地域の搬送時間は増加する。一方でその分 RP を過疎地域に設置することができるため、過疎地域の搬送時間は大幅に短縮できる。図 2 は CASE2 の結果である。重み付けをドクターヘリ出動履歴によって行なうと本研究の提案アルゴリズムの効果がなくなる。ドクターヘリの出動履歴を見ると、過疎地域における搬送が多くみられる。結果過疎地域の重要度が増すため、救急車優先時間を設定しなくても過疎地域の搬送時間を短縮するような RP 配置になる。図 3 は CASE3 の結果である。RP 個数の増加に伴い、平均搬送時間が減少し、その減少幅も小さくなる。また、RP の個数が多いほど過疎地域の搬送時間が小さくなっている。これは救急車優先時間を設定することで過疎地域を優先して RP を設置していくためだと考えられる。

6. 結論と今後の課題

本研究の提案アルゴリズムによって、全体の搬送時間を維持しつつ過疎地域の搬送時間を大幅に短縮することができた。また感度分析の結果を示すことで、地方自治体が RP を整備する際に有効なデータとして提供できるようになった。今後の課題として、校庭や河川敷などの既存の離着陸可能な場所の利用や道路状況を考慮した総合的な配置および評価モデルの構築が挙げられる。

参考文献

- [1] 古田壮宏，田中健一：“ドクターヘリシステムのための平均救命率最大化型最適配置モデル”，都市計画論文集，Vol.46, No.3, pp.823–828 (2011)