

道路トポロジーと需要分布を考慮した救急車両配置の提案

佐塚 駿気・中田 雅也・濱津 文哉・濱上 知樹

Proposal of emergency vehicle placement
in consideration of the road topology and demand distribution
Shunki Satsuka, Masaya Nakata, Fumiya Hamatsu, and Tomoki Hamagami

Abstract: As the emergency call increase, the delay of arriving time of ambulance has become a serious issue. With respect to the increase of emergency service demand, it is not easy to increase the supply. To solve this problem, we considered the efficient use way of emergency vehicles, and made the emergency vehicle simulation environment using the digital roadmap and emergency log data, and more. In this paper we show efficient ambulance placement which eliminate arrival time difference of emergency vehicle without changing the emergency resource amount in the simulation, by using clustering and genetic algorithm.

Keywords: シミュレーション (simulation), 救急医療 (emergency dispatch), 施設配置 (facility placement), 道路網 (road network), 需要分布 (demand distribution)

1. はじめに

近年, 日本では救急出場の回数が増加する傾向にあり, 総務省消防庁 (2015) によると平成 27 年中の救急出場件数は過去最多になった. 救急サービスの需要の増加に対して, 救急サービスを提供する側の救急車両や救急隊員, 病院等の救急リソースの量を増やすことは容易ではない. そのため全国的に救急車両の現場到着までの平均出場時間, 病院等収容までの平均所要時間ともに延伸傾向にあり, 救急サービスの質が低下している. さらに横浜市消防局 (2014) によると, 位置ごとに救急車両の出場時間が異なり, 救急サービスの格差が生じている. これらの背景から, 効率的な救急リソース運用が必要とされている.

本研究では地域ごとの救急サービスの格差となる出場時間差を改善するために, 救急車両の待機位置であるデポの配置獲得手法を提案する. 本稿ではクラスタリング手法や遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて, 新たなデポの配置の獲得を行い, 都市規模の救急車両の運用シミュレーションによって地域ごとの救急サービスの格差が改善できることを示した.

2. シミュレーション環境

都市規模の救急車両の運用シミュレーションには筆者ら (佐塚ら (2015)) が作成した都市規模救急車両シミュレータを用いた. 本章に環境の詳細を示す.

2.1 環境構成 実環境に準ずる都市規模のシミュレーション環境として, 横浜市の道路地図情報, 救急ログデータを用いて救急搬送網を再現した.

2.1.1 横浜市の地理的環境構成 救急車両の出動デポと所属する救急車両数のデータは横浜市消防局の横浜市消防力の整備指針 (2014) から, 位置は google マップから緯度・経度情報を取得した. デポ数は 95ヶ所, うち救急車両台数 64 台の割り当てによって使用するデポは 63ヶ所であった. 病院の位置も同様の方法で取得し, 23ヶ所を設定した.

横浜市のデジタル道路地図より道路情報を抽出し, シミュレーションを行うために用いるグラフ構造を取得した. 今回のシミュレーションに使用するデータは主要な道路の情報のみとして, 道路情報に病院, デポのノードを追加し 1392 個のノードを持つグラフ構造を使用した. 使用した環境と同縮尺の横浜市の地図を図 1 に示す.

2.1.2 傷病者の発生情報 傷病者の発生頻度は横浜市消防局の災害統計資料 (2014) より, シミュレーション中の 1 秒間と同等の 1 ステップに 1/181 の確率で発生することとした. 横浜市消防局 (2014) の平成 25 年度の行政区別の救急活動の出動件数から, 全体に対する各行政区の発生確率を計算したものが表 1 である. 各行政区内での傷病者の発生はランダムであり, 行政区ごとの大きさの違いから, 環境中のある位置における傷病者発生確率は図 2 のようになる.

2.2 車両の動作 本シミュレーションにおける救急車両の一連の動作を説明する. 救急要請に対して, 待機中の救急車両の中から, 最も早く到着可能な救急車両が割り当

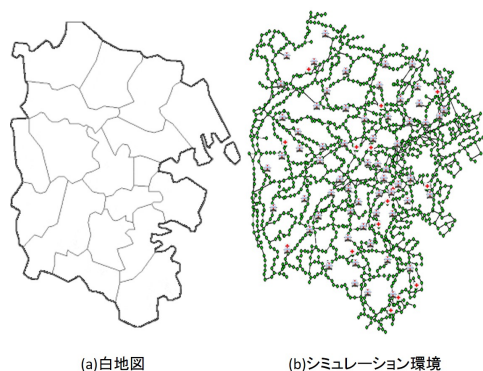


図 1 環境比較

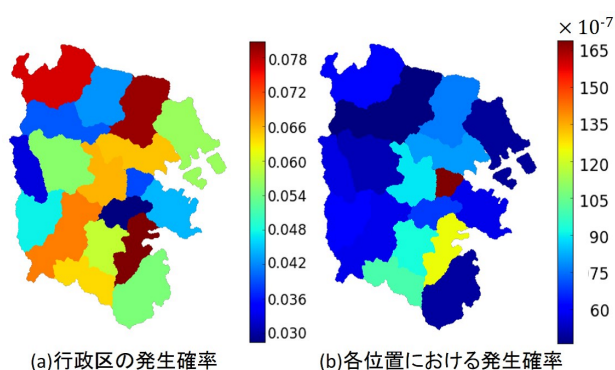


図 2 傷病者発生確率

表 1 行政区別傷病者発生確率

行政区	発生確率	行政区	発生確率	行政区	発生確率
青葉	0.0564	旭	0.0658	南	0.0639
都筑	0.0396	神奈川	0.0651	戸塚	0.0690
緑	0.0425	保土ヶ谷	0.0554	港南	0.0591
港北	0.0793	西	0.0476	磯子	0.0444
鶴見	0.0767	泉	0.0388	栄	0.0284
瀬谷	0.0327	中	0.0807	金沢	0.0546
				合計	1.0000

てられ、要請から出場準備時間を経て傷病者へ向かって出場する。出場から傷病者の位置へ到着するまでの時間を出場時間と呼び、本研究における救急サービスの評価値となる。傷病者の位置へ到着後、現場処置時間を経て、最寄りの病院へ傷病者を搬送する。病院到着後、病院処置時間を経て、救急車両の所属するデポへ帰還する。この間の移動は全て道路網に沿った移動を行っている。

救急車両の移動速度は横浜市消防局 (2014) より救急隊別活動状況の出場時間と搬送時間の情報から 27 km/h と設定した。また、同文献の救急活動状況より救命救急にかかる固定のコストとして次の待機時間を設けた。

- 救急要請から救急車両の出動開始までにかかる時間 (出場準備時間):132 s

- 救急車両の到着から搬送開始までにかかる時間 (現場処置時間):1248 s

病院到着から帰還開始までにかかる時間 (病院処置時間) は参考情報が得られなかったため 180 s とした。

3. 配置の獲得の提案

本稿では横浜市の環境を対象として、地域格差の少ないデポの配置を獲得する手法を提案する。横浜市消防局 (2014) より、同一の地域内でも位置ごとに救急車両の出場時間が異なり、救急サービスの格差が生じていることが確認されている。また、先行研究 (佐塚ら (2015)) においても位置ごとに出場時間の偏りがあることが確認されている。

救急車両の割当方式として、常に待機中の救急車両の中から最も早く到着可能な救急車両を割り当てる方式を想定している。このことから、各ノードとデポ間の距離が出場時間に大きく影響を与える。そこでデータ間の距離によってクラスタを形成できる二種類のクラスタリング手法と、ヒューリスティックな組み合わせ探索手法の GA を用いて新たなデポの配置の獲得を行った。救急車両は道路網に沿って近傍の傷病者に対してサービスを行うことに注目し、それぞれの手法において直線距離であるユークリッド距離空間と、道路トポロジーに沿ったネットワーク距離空間の両方の距離空間を用いて配置の獲得を行った。

3.1 K-means 法 K-means 法はクラスタリング手法の代表的な手法で非階層的クラスタリング手法である。この手法ではクラスタ数 k を初期パラメータとして設定する必要がある。各データは最も距離の短いクラスタ中心のクラスタに属することから、クラスタ同士の大きさが等しくなる特性がある。デポの配置獲得においては配置する車両の台数からクラスタ数が所与であり、デポ同士の距離がそれぞれの距離空間において等間隔に近いほど、均等なサービスを行うことに繋がると考えられることから K-means 法を用いた。

本実験においては配置されているデポ数からクラスタ数 $k = 63$ として、対象領域中のノード 1392 個をそれぞれ 1 つのデータとしてクラスタリングを行った。得られた各クラスタ中心から最も近いノードの位置を、デポの配置とした。また、K-means 法で用いるパラメータとして、初期値依存性を緩和するためのイテレーション回数 $N = 10$ として行った。それぞれの距離空間における配置から、近傍領域別に分割したボロノイ図を図 3 に示す。

3.2 最長距離法 最長距離法は階層的クラスタリングの手法の一種で、各クラスタ中のデータ間の最大距離をクラスタ間距離とする。階層的クラスタリング手法ではクラスタ数を事前に設定する必要がなく、クラスタ間距離の最も近い二つのクラスタを結合し、データが全て同じクラスタになるまで結合を繰り返すことで、階層構造を獲得する。

本実験においては前述の K-means 法と同様に、ノード

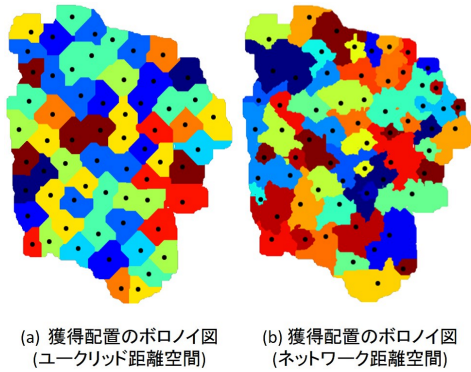


図 3 K-means 法を用いた配置

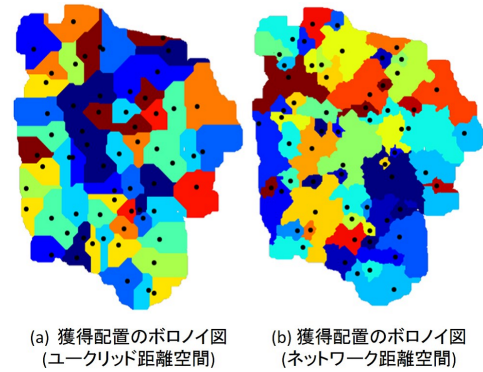


図 5 GA を用いた配置

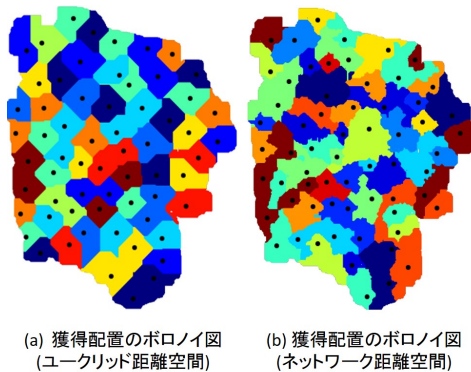


図 4 最長距離法を用いて獲得した配置

1392 個をそれぞれ 1 つのデータとしてクラスタリングを行い、階層構造を表すデンドログラムを得た。得られたデンドログラムからクラスタ数が 63 個になる閾値で区切り、各クラスタのデータの重心に最も近いノードの位置を、デポの配置とした。それぞれの距離空間における配置から、近傍領域別に分割したボロノイ図を図 4 に示す。

3.3 遺伝的アルゴリズム (GA) GA は生物の進化に着想を得て作られたアルゴリズムで、解空間の効率的な探索に有効な手法である。本稿において効率的なデポの配置を求めることは、デポ配置の組み合わせ最適化問題として扱うことができることから GA を用いた。

本稿で用いた手法の詳細とパラメータ設定を示す。各個体はデポの配置を表す遺伝子長 63 の染色体を持ち、それぞれの遺伝子がデポを配置するノードの位置を表す。各遺伝子は選択可能なノード数から 0~1391 の数値で表し、昇順にソートしている。数値に近いほど近くのノードを表すために最長距離法のデンドログラムから、ノード同士の階層的な近接順序を各遺伝子の数値として用いている。交叉は一点交叉、選択にはトーナメント選択を用いた。GA に用いる各パラメータは実験的に表 2 のように設定した。

また、十分な解探索を行うため、突然変異による遺伝子の数値変化を世代数に応じて制限することで、初期の世代

表 2 GA のパラメータ設定

パラメータ	設定値
個体数	100
エリート保存数	5
交叉率	0.8
トーナメントサイズ	4
突然変異率	0.05

では広い解探索が行え、世代が進むにつれて狭い解探索を行えるようにした。各個体の評価値 f の適応度計算には、配置からボロノイ図によって各位置における近傍のデポを求め、次の式 (1) を用いている。式中の \bar{T} は全体の平均出場時間、 T_p は位置 p における近傍デポからの出場時間、 r_p は位置 p における傷病者の発生確率を表す。

$$f = \sum_p |\bar{T} - T_p| \cdot r_p \dots \dots \dots (1)$$

それぞれの距離空間における配置から、近傍領域別に分割したボロノイ図を図 5 に示す。

4. 配置の評価

実際のデータに準ずる配置と、各手法によって距離空間ごと得られた配置の七種類の配置を用いて、救急車両の運用シミュレーションを行い、配置の違いによる救急サービスの比較を行った。それぞれの配置において 2,852,200 step(33 日分) のシミュレーションを行い、初期状態の影響を除外するために 259,200 step(3 日) 以降のデータから救急サービスの評価に用いて、出場時間 T_p を集計した。それぞれの配置による救急サービスの評価値として、各地点の平均出場時間 \bar{T}_p を算出したものを、図 6 に示す。

図 6 から今回獲得したどの配置においても、図 6(a) の現在の配置と比較して、出場時間の格差が少なくなっていることがわかる。特に環境中の中心部では出場時間の悪化が見られるものの、外縁部の出場時間を改善する配置が得られている。

定量評価として各位置における出場時間の格差を、サービス評価値 f_s として評価する。サービス評価値 f_s では GA

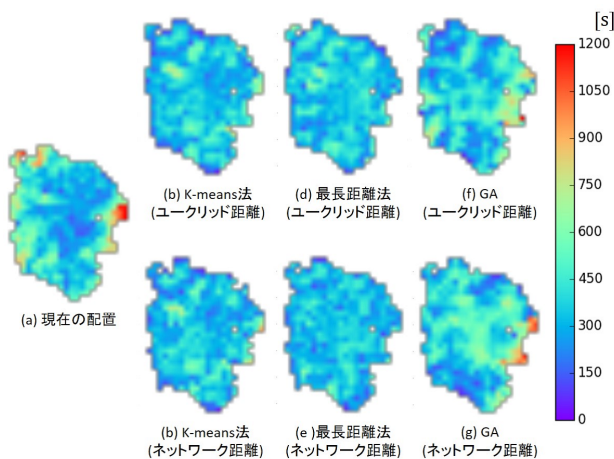


図 6 各配置によるシミュレーションから得た平均出場時間

表 3 サービス評価値と平均出場時間

配置手法	評価値	平均出場時間 [s]
現在の配置	459274	429
K-means(ユークリッド)	286990	348
K-means(ネットワーク)	291754	369
最長距離法(ユークリッド)	243422	354
最長距離法(ネットワーク)	219169	332
GA(ユークリッド)	385081	402
GA(ネットワーク)	389110	428

の適応度計算に用いた式 (1) の T_p を、シミュレーションから得られた位置 p における平均出場時間 \bar{T}_p として、式 (2) を用いた。それぞれのサービス評価値 f_s と平均出場時間を表 3 に示す。

$$f_s = \sum_p |\bar{T} - \bar{T}_p| \cdot r_p \dots \dots \dots (2)$$

表 3 より、獲得したどの配置においても、現在の配置と比べて評価値を改善し、出場時間の格差の小さい配置となった。中でも最長距離法でネットワーク距離を用いた場合に、最も評価値のよい配置を得られた。

5. 考 察

位置ごとのサービスの格差が少なくなった理由として、環境の外縁部の出場時間が改善されたことが考えられる。つまり、中心部の救急リソースが外縁部に振り分けられたことになる。現在の配置は、図 1(b)、図 2(b) より中心部の発生確率が高い位置を中心に多くリソースが割かれていた。しかし、外縁部は道路密度が低く到着までの時間が長くなりやすいことから、サービス格差の改善のためには環境の外縁部へリソースを配置することが有効であると考えられる。

また評価値と平均出場時間、どちらの指標からも階層的クラスタリング手法の最長距離法を用いた配置が最も有効であった。これから、非階層的クラスタリング手法と比べ、効率的な配置の特徴としてデポ間の距離は必ずしも均等で

ある必要はないと考えられる。また GA では、評価値 f を適応度として用いているにも関わらず、他の手法よりも図中右側 (東部) の地域の出場時間が悪化し、配置による救急サービス評価値が改善されなかった。これは GA の適応度 f の計算式が配置の評価としては不十分で、シミュレーション結果による評価値 f_s と乖離してしまっていることが原因と考えられる。

本稿で用いた三種類の手法のうち傷病者の発生確率を考慮して、配置の獲得を行っているものは GA のみであるため、発生確率を考慮した配置獲得の有効性を示すことはできなかった。しかし、図 2(b) からわかるように、傷病者の発生確率は位置によって大きな差があることから、クラスタリング手法にも発生確率による重みづけなどを加える事で、手法の改善が見込めるものとする。

6. おわりに

デポの配置を変更することで、限られた救急リソースを有効活用し、救急サービスの地域格差を少なくすることができるとを示した。サービス格差の少ない配置を求めるために、距離を指標にデポの担当領域を区切る手法が有効であり、階層的クラスタリング手法でネットワークポロジに沿った距離空間を用いて計算する手法によって、よりサービス格差の少ない配置の獲得を行えることを示した。

今後は救急車両の相互協力や発生の偏りを考慮できる手法の改善を行う。さらに複雑な救急車両割当方式にも対応可能な配置の獲得手法や、シミュレーションを用いるメリットを活かして、シミュレーション結果から配置の評価の低い部分を適応的に改善していく手法を考案していく予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、一般財団法人日本デジタル道路地図協会からデジタル道路地図データの支援を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 総務省消防庁 (2015): “平成 27 年度版 救急救助の状況 救急編”。
- 横浜市 消防局 (2014): “平成 25 年 年報 災害統計”，pp84-95。
- 横浜市 消防局 (2014): “横浜市消防力の整備指針”。
- 一般財団法人日本デジタル道路地図協会 (2014): “横浜市デジタル道路地図”。
- Shunki Satsuka, Tomoki Hamagami (2015): “Practical Simulation of the dynamic ambulance dispatch for the call triage”, IEE Japan 2015 Annual Conference of Electronics, Information and Systems Society, pp1678-1679。