

救急医療システムにおける救急車両と医療施設との連携より捉えた適正配置について —救急車両の出動記録を考慮した施設の配置—

日大生産工(院)	○木村 弘
日大生産工	黒岩 孝
日大生産工	大内 宏友
日大生産工	松原 三人

1. はじめに

近年、少子高齢化の影響で、救急車で搬送される人の数が年々増加すると共に、重篤な症状を示す患者の割合が約50[%]を占めている。一方、カーラーの救命曲線によれば、心臓停止状態のような重篤な症状の場合、応急処置を受けるまでの時間が約3分経過すると、死亡率が50[%]程度に上昇することが知られている。このため、救急医療において患者の生存率を改善するには、できるだけ短時間で、救急救助を要請する現場(以下救急現場)から患者を医療施設に搬送し、適切な治療を受けさせることが求められている。これを実現するためには、救急現場あるいは搬送途中での、医療行為を行えるドクターカーの導入が考えられる。ドクターカーは現状では、医療施設に配備されている。そこで、本研究では、千葉県船橋市を解析の対象に選び、救急現場への出動記録を考慮した場合の、ドクターカーの適正配置について検討を行う。

2. 解析法

2.1 施設点及び需要点

解析に用いる施設点及び需要点とは、それぞれドクターカーを配備した救急医療施設と、救急現場の位置を示す。ここでは自治体を各町丁に分割した場合、それぞれの区画における重心を需要点(救急現場)とする。図1に、千葉県船橋市における施設点及び需要点を示す。同図中の■は施設点であり、現在、ドクターカーが配備されている地点(船橋市立医療センター)を示す。また、同図中の区画は市内の各町丁を示し、区画内の(・)は需要点を示す。

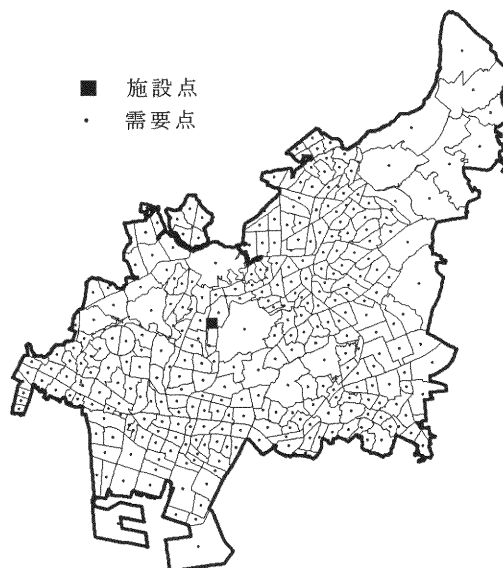


図1 船橋市における施設点と需要点の分布

2.2 座標系の定義

ここでは、座標系として平面直角座標系を用いる。経度を x 軸、緯度を y 軸に取り、 xy 座標系の原点 $(0, 0)$ は、国土交通省の国土地理院で決められている日本経緯度原点(東京都港区麻布台2-18-1: 東経約139度50分、北緯約36度)とする。

2.3 解析の手順

まず、施設点を1ヶ所配置する場合の手順を示す。需要点数を n 、各需要点の座標を (x_i, y_i) ($i = 1, 2, \dots, n$)、各需要点の重みを w_i 、施設点の座標を (X, Y) とする。施設の立地可能点が連続平面空間内にあり、施設点と各需要点を結ぶ道路は直線とした。重み付きの総移動距離 L は、

$$L = \sum_{i=1}^n w_i \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2} \dots\dots(1)$$

と表せる。ここでは、連続平面空間内において、重みづけした総移動距離が、最小になるような施設点を求め、その位置を最適な位置とする。総移動距離が最小となる施設点の座標(X, Y)の求め方は、以下のような手順^[2]で行う。まず、適当な施設点の座標($X^{(k)}, Y^{(k)}$) ($k=1, 2, \dots, N$)を与える。この施設点と各需要点までの距離 $d_i^{(k)}$ を求める。

$$d_i^{(k)} = \sqrt{(x_i - X^{(k)})^2 + (y_i - Y^{(k)})^2} \dots\dots(2)$$

次にこの $d_i^{(k)}$ を用いて、施設点の座標を修正する。

$$X^{(k+1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{w_i x_i}{d_i^{(k)}}}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{d_i^{(k)}}} \dots\dots(3)$$

$$Y^{(k+1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{w_i y_i}{d_i^{(k)}}}{\sum_{i=1}^n \frac{w_i}{d_i^{(k)}}} \dots\dots(4)$$

繰り返し計算により($X^{(n)}, Y^{(n)}$) \doteq ($X^{(n+1)}, Y^{(n+1)}$)となる場合、(X, Y) = ($X^{(n)}, Y^{(n)}$)とする。それ以外の場合、もう一度施設点と各需要点までの距離を求め、施設点の座標の修正をするものとし、以後、施設点の座標が決定するまで上記を繰り返す。

次に、施設点を複数ヶ所配置する場合の解析は、L.Cooperの方法^[3]を用いた。即ち、配置する施設点の数を m とし、各需要点は、最も近い施設点を一つだけ選び、選んだ施設点にあるドクターカーが、その需要点に向かうものとする。このようにして、 n 個の需要点を、 m 個の施設点それぞれに割り当て、 m 個のグループを作る。全てのグループの組み合わせについて施設点を求めることで、総移動距離が最小になる、施設点の座標を求めることができる^[2]。以下に、具体的な解析法^[3]を示す。まず、需要点の中から最も距離が近い2点を選択し、それぞれについて、各需要点までの距離の総和から総移動距離を求める。求めた2つの総移動距離を比較し、総移動距離が短い方の点を仮の施設点とし、この2点を除外した後、再び需要点の中から最も距離が近い2点を選び、総移動距離を比較する(これを m 回繰り返す)。次に、各需要点を、最も近い仮の施設点に割り当て、 m 個の

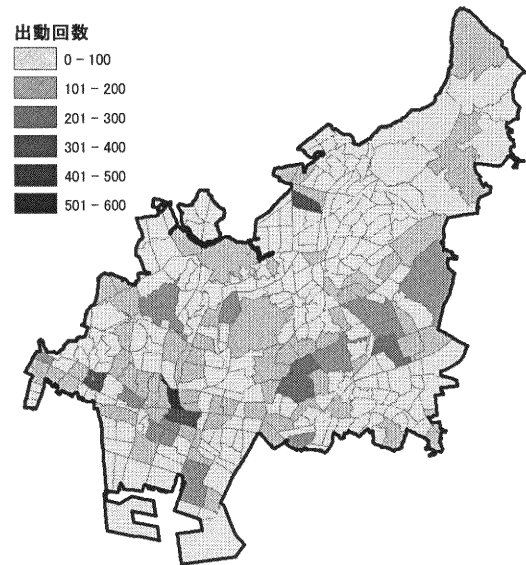


図2 救急車両の出動回数の分布

グループを作る。それぞれのグループの中で、前述の手順を用いて、1点の施設点の座標を求める。そして、再び各需要点を最も近い施設点に割り当ててグループを作る。各需要点を割り当てられる施設点が、全て一致していれば、その時の施設点の座標が求める座標である。そうでない場合は、割り当てたグループの中で施設点を求め、各需要点の割り当てを変更する。そして、各需要点の割り当てが変わらなくなるまで上記を繰り返す。

2.4 重みについて

ここでは、救急車両の出動回数(船橋市消防局の協力より得られた平成21年度の救急出動に関する記録)を重み w_i とし、以下の検討を行った。船橋市では、平成21年の1月1日から12月31日までの1年間に、救急車両は26473回の出動の記録がある。図2に、市内の救急車両の出動回数の分布を示す。船橋市内においては、出動回数の多い町丁が地図上の下部分に多くあることがわかる。

3. 結果

ここでは、施設点を1ヶ所から15ヶ所まで増設し、施設の最適立地点を求める。ただし、船橋市内の需要点の数 n は318点である。

3.1 施設点が1ヶ所の場合

図3に、結果を示す。同図より、本解析から求めた施設点と、現在、ドクターカーが配備さ



図3 施設点の配置(1ヶ所)

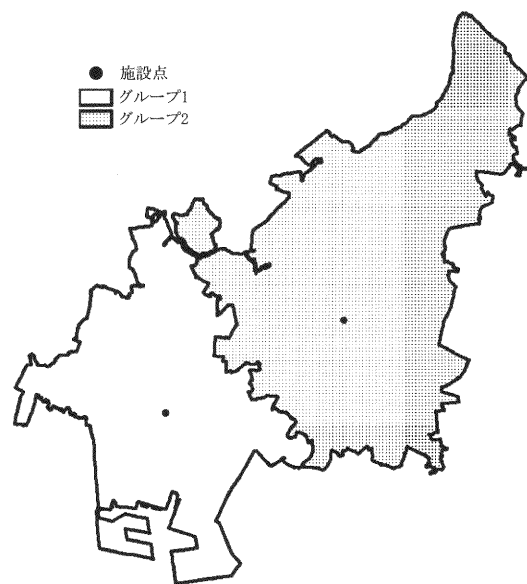


図4 施設点の配置(2ヶ所)

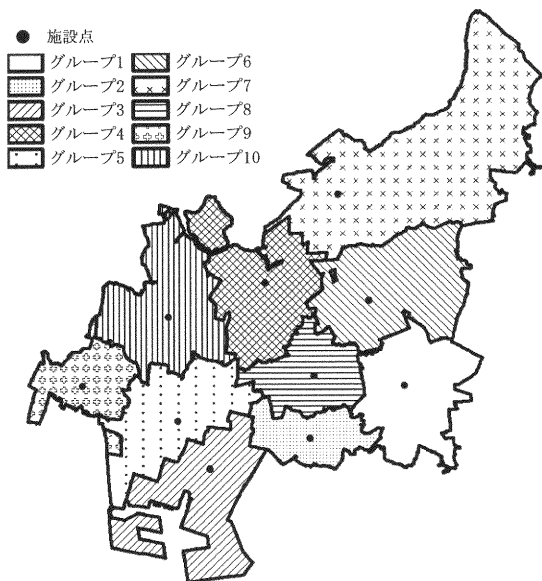


図5 施設点の配置(10ヶ所)

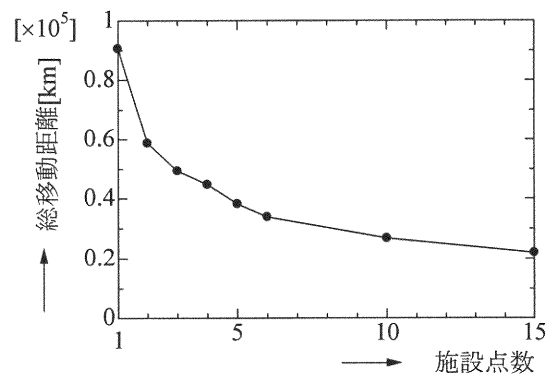


図6 施設点と総移動距離の関係

れている救急医療施設(船橋市立医療センター)との間の距離は約1.1[km]であることがわかる。また、解析から求めた施設点の位置は、出勤回数の多い町丁に近いことがわかる。一方、本解析から求めた施設点及び船橋医療センターを施設点とし、各需要点との間の距離の和より算出した、総移動距離をそれぞれ求め比較した所、その差は小さく、しかもこの2点がかかなり接近していることから、現在、設置されている救急医療施設の立地点は妥当な位置であると考えられる。

3.2 施設点が複数ヶ所の場合

図4, 図5は、施設点を2ヶ所及び10ヶ所に増設した場合の結果である。施設点が10ヶ所の場合、各々の施設点がカバーする範囲が狭くなっていることがわかる。図6に、施設点の数と総移動距離の関係を示す。同図より、施設点の数が増加すると、総移動距離は減少することがわかる。また、施設点の数が2から5程度までは、総移動距離の変化は大きい、施設点数が5以上では、総移動距離の急激な減少は見られない。従って、施設点数が5以上では、救急医療サービスの急激な向上は、望めないと思われる。

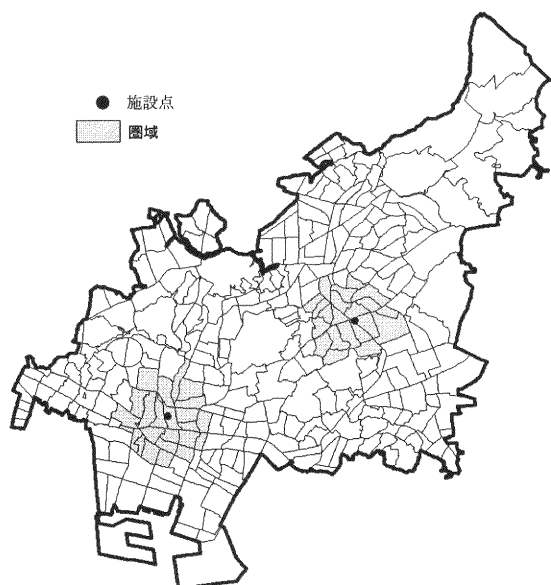


図7 施設点2ヶ所の場合の圏域

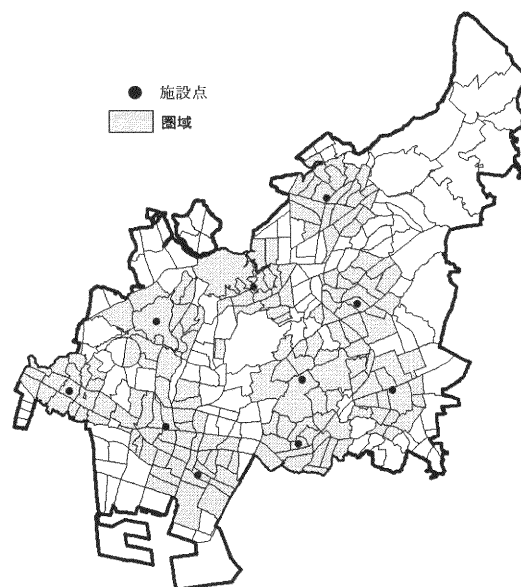


図8 施設点10ヶ所の場合の圏域

3.3 出動圏域の検討

カーラーの救命曲線によれば、心臓停止状態から応急処置を受けるまでの時間が、3分経過すると死亡率は50[%]、呼吸停止状態の場合は、10分経過すると死亡率が50[%]になる。総務省消防庁では、救急現場到着所要時間を、「3分未満」、「3分以上5分未満」という時間帯に分け、それらを指標として示している。一方、[文献 4]では、船橋市内に於ける救急車の平均移動速度は13.8[km/h]であることが示されている。例えば、この平均移動速度を用いて、現場に5分以内で到着できる距離を求めると、1.15[km]までの範囲内であることがわかる。これを用いて、ここでは、5分以内の圏域を求めるとする。

図7、図8に、施設点を2ヶ所及び10ヶ所に増設した場合の、5分以内の圏域を示す。施設点の数を増設することで、圏域がカバーする領域は広がる。また、施設数が10ヶ所の場合、船橋市の全領域の約1/2の領域を5分以内の圏域でカバーできることがわかる。

結果として、船橋市の場合、施設点を5～6ヶ所配置することによって、総移動距離を、施設点1ヶ所の場合の1/2以下にできることがわかった。また、0分～5分以内に到着できる圏域を求めたところ、施設数が10程度のとき、船橋市の約1/2の領域をカバーできるので、救命率の向上が期待できると考えられる。

4. まとめ

千葉県船橋市を解析の対象地域とし、ドクターカーを運用する救急医療施設の配置について検討した。施設点が1ヶ所の場合、現状の救急医療施設(船橋市立医療センター)の配置は妥当であることがわかった。また、施設点の数を増設する場合は、5～6ヶ所程度の配置で、最も大きな効果が得られることもわかった。

道路交通網を考慮した検討に関しては、今後の課題である。

参考文献

- [1] 田島, 菊池, 大内: "救急医療システムにおける地域空間情報を用いた施設の適正配置について - GIS・GPSを用いた人口分布にもとづく圏域的指標の構築-", 日本建築学会計画系論文集, 第631号, pp.1929-1937 (2008)
- [2] Weiszfeld, E.: "Sur le point pour lequel la somme des distances de n points donnees est minimum", Tohoku Mathematics Journal, 43, pp.355-86 (1937)
- [3] Cooper, L.: "Solutions of Generalized Locational Equilibrium Models", Journal of Regional Science, 7, 1, pp.1-18 (1967)
- [4] 岡田, 宇野, 工藤, 大内: "船橋市の総合消防情報システムの運用によるドクターカーシステムについて", 日本大学生産工学部第43回学術講演会 (2010)
- [5] 谷村, 梶, 池田, 腰塚: 都市計画数理, 朝倉書店 (1986)