

## ドクターカー・システム導入による救急搬送時間の短縮可能性評価

01205430 筑波大学 \*鈴木 勉 SUZUKI Tsutomu

## 1. はじめに

わが国は高齢化の急速な進展に直面しており、安心して健康に暮らせる社会づくりが求められているが、救急医療体制の整備については、現在の整備水準は先進国の中で決して高いとは言えない。高齢化に伴い、在宅高齢者の急病のための救急車出場件数はさらに増えることが予想されるため、都市生活のリスク管理上、救急医療水準の高度化は重要な課題である。

本研究は、救急患者の救命率の向上を目指して、救急車両と医療施設の配置および救急車の運用方法をモデル化し、救急関連施設の適正配置方策と搬送時間の短縮効果を明らかにすることを目的とする。

## 2. 救急車両および救急病院の配置最適化問題

図1に示したような一辺 1 の長さの正方形内にランダムに配置している 20 箇所の救急需要を考え、救急車両や病院の配置候補場所もこの 20 箇所のいずれかであると仮定する。図1の円は、その面積が救急需要を表すものとする。需要の分布は意図的に右側(東側)が大きく、左側(西側)が小さいように設定してある。

この領域内に、病院を固定して救急車両の配置を最適化する場合(PA)、救急車両を固定して病院の配置を最適化する場合(PH)、救急車両の配置と病院の配置を同時に最適化する場合(PAH)の3ケースを想定し、搬送時間が距離に比例するものとした上で搬送距離の総和  $T$  を最小化する配置最適化問題を解き、通常方式(N)と2種のドクターカー・システム(図2)、すなわちランデブー方式(R)、ドッキング方式(D)の各方式の違いによる配置特性や搬送距離の優劣の分析を行う。救急車両および病院の設置数は、(i)救急車両数  $p_A=2$ 、病院数  $p_H=4$ 、(ii)救急車両数  $p_A=3$ 、病院数  $p_H=3$ 、(iii)救急車両数  $p_A=4$ 、病院数  $p_H=2$  の3ケースについて検討する。

病院を固定して救急車両の配置を最適化する問題は、通常方式では、

$$[\text{PA-N}] \min_{x_A, x_H, y_A} T_N = \sum_i w_i (\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H) \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_j x_{ij}^A = 1 \quad (2)$$

$$x_{ij}^A \leq y_j^A \quad (3)$$

$$\sum_k x_{ik}^H = 1 \quad (4)$$

$$x_{ik}^H \leq y_k^H \quad (5)$$

$$\sum_j y_j^A = p_A \quad (6)$$

と表すことができる。但し、

$$x_{ij}^A \in \{0,1\} : \text{需要 } i \text{ の救急車両 } j \text{ への配分}$$

$$x_{ik}^H \in \{0,1\} : \text{需要 } i \text{ の病院 } k \text{ への配分}$$

$y_j^A \in \{0,1\}$  :  $j$  における救急車両の存在

$w_i$  :  $i$  における需要量

$d_{ij}$  :  $i$  から  $j$  までの距離

$p_A$  : 配置されるべき救急車両数

である。ランデブー方式では、

$$[\text{PA-R}] \min_{x_A, x_H, y_A} T_R = \sum_i w_i (\sum_j \sum_k d_{jk} x_{ij}^A x_{ik}^H + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H) \quad (7)$$

subject to (2), (3), (4), (5), and (6)

と表せるが、これは以下の線形混合 0-1 計画問題に置き換え可能である。

$$[\text{PA-R}'] \min_{x_{ij}^A, x_{ik}^H, z_{ij}} T_R = \sum_i w_i (\sum_j z_{ij} + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H) \quad (8)$$

subject to (2), (3), (4), (5), (6), and

$$0 \leq z_{ij} \leq x_{ij}^A \sum_k d_{jk} \quad (9)$$

$$0 \leq \sum_k d_{jk} x_{ik}^H - z_{ij} \leq (1 - x_{ij}^A) \sum_k d_{jk} \quad (10)$$

同様に、病院を固定して救急車両の配置を最適化する問題は、通常方式の場合、

$$[\text{PH-N}] \min_{x_A, x_H, y_H} T_N = \sum_i w_i (\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H) \quad (11)$$

subject to (2), (3), (4), (5), and

$$\sum_k y_k^H = p_H \quad (12)$$

と表せる。但し、

$y_k^H \in \{0,1\}$  :  $k$  における病院の存在

$p_H$  : 配置されるべき病院数

である。ランデブー方式は、

$$[\text{PH-R}] \min_{x_A, x_H, y_H} T_R = \sum_i w_i (\sum_j \sum_k d_{jk} x_{ij}^A x_{ik}^H + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H) \quad (13)$$

subject to (2), (3), (4), (5), and (12)

これも[PA-R]同様の手法で線形混合 0-1 計画問題に置き換えることができる。

また、救急車両の配置と病院の配置を同時に最適化する問題は、通常方式の場合、

$$[\text{PAH}] \min_{x_A, x_H, y_A, y_H} T_N = \sum_i w_i (\sum_j d_{ij} x_{ij}^A + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H) \quad (14)$$

subject to (2), (3), (4), (5), (6), and (12)

と表すことができる。ランデブー方式は、

$$[\text{PAH-R}] \min_{x_A, x_H, y_A, y_H} T_R = \sum_i w_i (\sum_j \sum_k d_{jk} x_{ij}^A x_{ik}^H + \sum_k d_{ik} x_{ik}^H) \quad (15)$$

subject to (2), (3), (4), (5), (6), and (12)

と表すことができ、[PA-R]同様に、線形混合 0-1 計画問題に置き換えることができる。

ドッキング方式[PA-D][PH-D][PAH-D]の目的関数は、それぞれの問題について、通常方式の目的関数の第2項に 1/2 を乗じたものである。

各問題の最適配置を方式・ケース別に図3に示す。

通常方式・ドッキング方式の場合は、目的関数の第1項と第2項が分離でき、それぞれ救急車両と病院についての  $p$ -メディアン問題となるため、解は明らかに互いに独立に決定される救急車両と病院の最適配置の重ね合わせになる。一方、ランデブー方式の場合、救急車両数が病院数よりも少ないときは救急車両のある場所には必ず病院が配置され、救急車両数の方が多いときは病院のある場所には必ず救急車両が配置される。

目的関数値は紙面の都合上割愛するが、この例では、ドクターカー・システムの採用によって搬送距離のおよそ2~3割の短縮が可能である。ランデブー方式は通常方式に比べて、救急車両と病院を組合せて配置するこ

とによって搬送距離の大幅な短縮を図ることが可能となる。また、救急病院数が少ない地域では、多い地域に比べて、ドッキング方式も同程度に優位になる。

### 3. おわりに

救急車両や病院の適正配置はドクターカー導入の効果を高めることができることが明らかとなった。なお、本研究は(財)医療科学研究所第11回研究助成による成果の一部である。

#### 参考文献

- [1] 鈴木 勉 (2003) 搬送時間短縮のための救急車両と医療施設の配置計画に関する研究, (財)医療科学研究所 第11回(平成13年度)研究助成報告書。

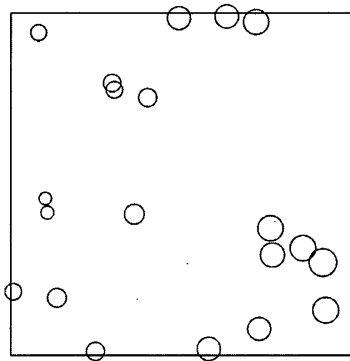


図1 仮想都市と需要分布

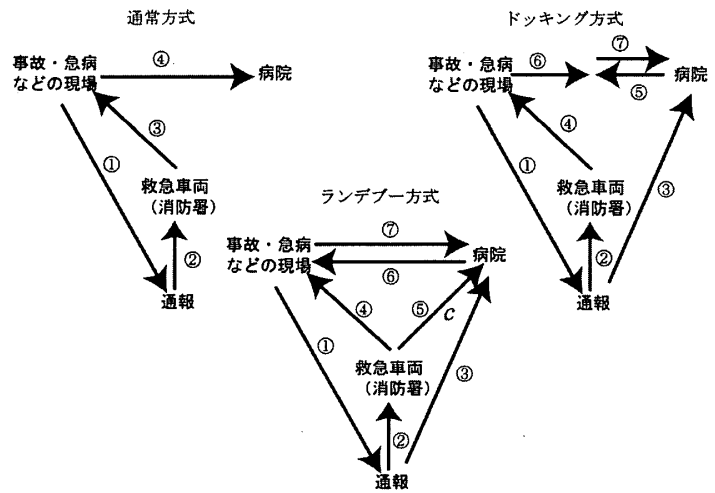


図2 救急システムの類型

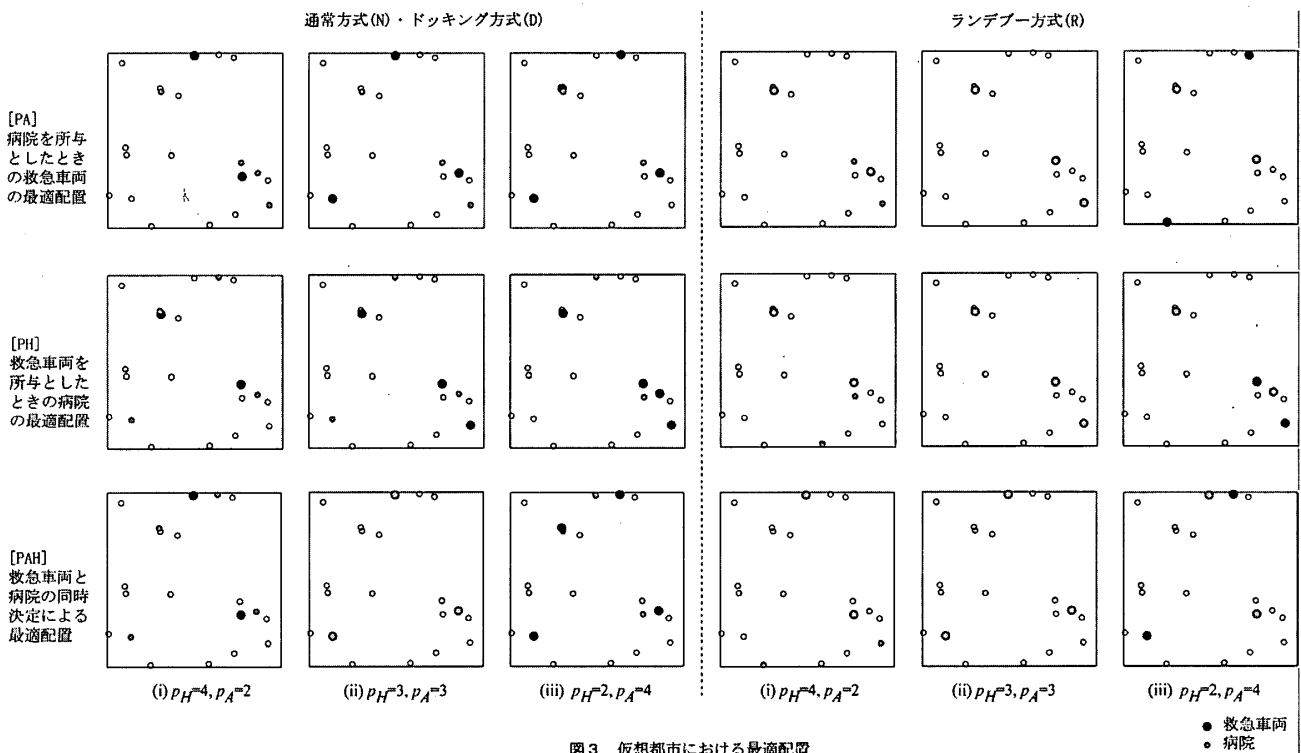


図3 仮想都市における最適配置

● 救急車両  
○ 病院