

名古屋市救急車の最適配置

02005013 南山大学大学院 経営学研究科 *赤澤武雄 AKAZAWA Takeo
01204423 南山大学 鈴木敦夫 SUZUKI Astuo

1. はじめに

現在、名古屋市には66ヶ所の消防機関に32台の救急車が配備されている。名古屋市全体として年間6万件に及ぶ出動依頼が発生している。さらに介護保険制度の導入もあり、今後10年間で7万件にまで出動依頼要請が増加することが見込まれている。こういった状況下で救急車の増強も行われる予定である。

名古屋市における救急車の配備方法は、名古屋市全体を名古屋市消防局による消防出動区域に分割し、その各区域を最短距離(直線距離)を用いた出動範囲の救急車が賄うように定められる。また、各区域へのそれぞれの救急車の出動順位も決まっている。つまり、過去の出動依頼件数の多い地域に救急車が重点的に配備されている。しかし、出動依頼件数の多い地域に単純に救急車を配置することで救急活動に効果をあげるのかは疑問である。

本研究ではこういった状況を過去のデータに基づき、また実状を考慮して数理的に解析し最適な救急車の配備計画を目指す。研究の特徴として、救急車の配置について距離的側面ではなく時間的側面に重点を置く、つまり任意の消防機関の救急車が消防出動区域を規定時間内に到着できるように配置する。さらに一台の救急車が各消防出動区域における平均発生率と平均作業率を考慮した一定の信頼性を満たすようにカバーしなければならないとして定式化した。目的関数は救急車の平均利用率の最大値を最小化することにある。また、各区に存在する消防署には2台まで救急車を配置できるとしている。

2. データについて

名古屋市救急対策室から、1998年度の救急出動依頼状況の実データを入手した。データの種類を以下に記す。

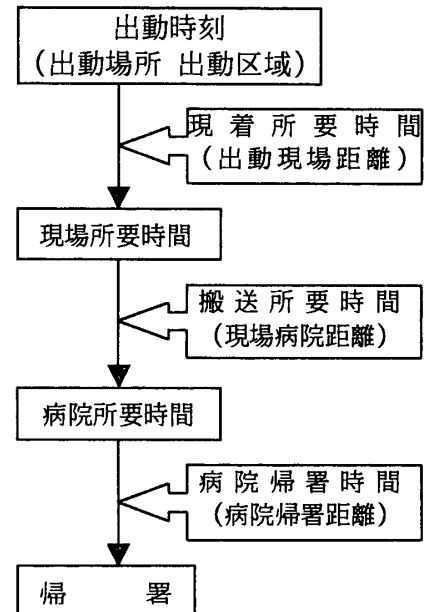


図1. 救急車の出動データ

3. 記号の定義

n : 救急車の台数

x_{ij} : i 町目を j 消防機関がカバーする割合

y_j : j 消防機関に救急車を配置するかどうか

λ_i : i 町目の平均出動依頼発生率

μ_i : i 町目での平均作業率

t_{ij} : j 消防機関から i 町目までの到着時間

α : 各消防機関に配置された救急車が
出動している割合($0 < \alpha < 1$)

β : 各消防機関が賄うべき消防区域の発生率
($0 < \beta < 1$)

γ : 各消防機関から出動できる限界の現着所要時間

I : 消防出動区域を表す添え字集合

J : 消防機関を表す添え字集合

4. 定式化

目的関数：

$$\min_{\forall j \in J} \left[1 - \frac{\sum_{i \in I} \lambda_i x_{ij}}{\sum_{i \in I} \frac{1}{t_{ij} + \frac{1}{\mu_{ij}}} x_{ij}} \right] \rightarrow \text{最大化} \quad (1)$$

制約条件：

$$\sum_{j \in J} y_j = n \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} = 1, \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$(t_{ij} - \gamma)x_{ij} \leq 0, \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$x_{ij} \leq y_j, \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in I, \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$y_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (7)$$

以上の制約式の意味を以下に示す。

- (2) 各消防機関に配置した救急車台数の総和
- (3) j 消防機関に配置された救急車が i 町目をカバーする割合の総和は 1 である
- (4) j 消防機関に配置された救急車が i 町目をカバーする時に一定時間以上費やしてはいけない
- (5) 各町目は必ずどこかの消防機関に賄わなければならない

6. 解法

(1)の目的関数は j 消防機関に配置された救急車が消防機関に在署している時間の割合の最小値を x_{ij} と y_j について最大化することを意味している。ここでは目的関数の第 2 項の j に関する分母の値をできるだけ大きくし、分子の値をできるだけ小さくすることにする。ここで分母、分子についてより詳しく検討する。

- (i) 目的関数の分母に適当な制約値を与える。それにより非線形式を線形式に変形することができる。 j 消防機関がカバーする区域の作業率の平均は α 以上でなければならないとする。

$$\frac{\sum_{i \in I} \frac{1}{t_{ij} + \frac{1}{\mu_{ij}}} x_{ij}}{\sum_{i \in I} x_{ij}} \geq \alpha, \quad \forall j \in J$$

$$\Leftrightarrow \sum_{i \in I} \left(\frac{1}{t_{ij} + \frac{1}{\mu_{ij}}} - \alpha \right) x_{ij} \geq 0, \quad \forall j \in J$$

- (ii) 同様に分子の式に適当な制約値 β を与える。 j 消防機関がカバーする区域の発生率は β 以下でなければならないとする。

$$\sum_{i \in I} \lambda_i x_{ij} \leq \beta, \quad \forall j \in J$$

- (iii) (i)の左辺式はできるだけ大きく、(ii)の左辺式はできるだけ小さくなればよい。目的関数の変形を行うために、(i)の左辺式から(ii)の左辺式を引いた値の最小値を最大化する目的関数を設ける。

$$\min_{\forall j \in J} \left[\sum_{i \in I} \left(\frac{1}{t_{ij} + \frac{1}{\mu_{ij}}} - \alpha - \lambda_i \right) x_{ij} \right] \rightarrow \text{最大化}$$

- (iv) α を徐々に大きく、 β を徐々に小さくして繰返し問題を解く反復法を行う。

7. 実験

人口データによる実験を行った。20ヶ所の町目において5ヶ所の消防機関に4台の救急車を配置する。そのとき、 $\alpha=0.08333$ 、 $\beta=0.08333$ 、 $\gamma=12$ より解が得られた。

参考文献

- [1] 伏見正則, 確率と確率過程, 講談社, 1987.
- [2] 北岡正敏, 確率・統計と待ち行列理論, 産業図書, 1996.
- [3] V. Marianov and C. Revelle, A Probability Fire-Protection Siting Model with Joint Vehicle Reliability Requirements, *Regional Sciences*, Vol.71 No.3, 1992, pp.217-241.
- [4] V. Marianov and C. Revelle, The Queuing Probabilistic Location Set Covering Problem and Some Extensions, *Social-Economy Planning Science*, Vol.28, No.3, 1994, pp.167-178.
- [5] 尾崎俊治, 確率モデル入門, 朝倉書店, 1992.
- [6] C. Revelle and K. Hogan, A Reliability-Constrained Siting Model with Local Estimates of Busy Fractions, *Planning and Design*, Vol.15, 1988, pp.143-152.
- [7] C. Revelle and K. Hogan, The Maximum Reliability Location Problem and α -Reliable p-Center Problem: Derivatives of the Probabilistic Location Set Covering Problem, *Annals of Operations Research*, Vol.18, 1989, pp.155-174.