効率と公平を考慮した救急車配置計画案評価モデル

佐々木　良　一

1. はじめに

救急輸送需要は，昭和48年において，全国で人口100人に対し約1.2件の割合で発生しており，昭和38年の5.6倍の伸びを示している．この増加傾向は，(1) 生命，健康に関する住民の関心の増大，(2)公共サービスに対する住民の権利意識の増大，(3) 医師と住民の間でインフォーマルに行なわれていた夜間・休日診療の近代化，都市化にともなう減少などにより，今後しばらく続くことが予想されている．この傾向に対処するため，地方公共団体では救急車の増車を行なっており，その配置を合理的に行なう方法の確立が必要とされている．

本研究は，地方行政システム研究所の委託により，広島市をモデル都市とした「都市経営システムの研究」の一環として，上記の目的のため昭和47年に行なったものである．

本報告では，救急車の配置計画案の評価に用いるため開発したモデルの構造と，構造を決定するにいたった検討過程を述べる．

2. モデルのもつべき機能

救急車配置計画案の評価に用いるモデルを開発するために，広島市の救急担当者との討議などにより，対象の分析を行なった．その結果，次の3つの機能をモデルはもたなければならないことが明らかになった．

(1) 最終的評価は意思決定者が行なうのである．したがってモデルは，その評価に必要な情報(評価指標値)を出力しなければならない．

(2) 配置計画案の現実の評価には評価の基準として，市全体の効率性とともに，地区間の公平性を考慮している．したがって，モデルは，これらの基準をあらわす評価指標の計算を行なわなければならない．それぞれの評価指標を次のように決定した．

(a) 効率性をあらわす評価指標；全市平均現場到着時間……救急車が事故現場へ到着するに要する時間の全市平均値．救急車活動状況の効率性をあらわす最も一般的な指標である．

(b) 公平性をあらわす評価指標；最大現場到着時間……最も時間がかかる地区の事故現場に到着するのに要する時間．各地区の事故現場への到着時間の分野なども考慮したが，公平性をあらわす指標としては，これが最適と考えた．

(3) 評価指標値は，新しく配置された救急車を含めた，全救急車の地区分担の方法によって異なってくる．したがって評価指標値の計算を行な

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

うため，モデルは，救急車の地区分担の最適化計算が行なえなければならない．

3. 地区分担最適化法の検討

救急車の地区分担の最適化を行なう方法の4つの代替案を選出し，効率性と公平性を考慮した配置計画案の評価に用いるうえで，どの方法が適切であるかを以下のように検討した．検討結果を示す前に，まず以下で用いる記号の意味を記述しておく．

t_{ij}；i 地区にある救急出張所から，j 地区の事故現場までの到着時間．出動準備時間，出動重複による待ち時間，走行時間の総和である

a_j；j 地区の救急輸送需要発生数

b_i；i 地区の救急出張所の救急車の1日あたり可能出動回数

X_{ij}；i 地区の救急出張所の救急車による，j 地区への出動回数

$x_{ij}=X_{ij}/a_j$

(1) 総走行時間最小化法〔$\mathrm{Min}\sum_i\sum_j t_{ij}\cdot X_{ij}$〕

全市平均現場到着時間を最小にするように，地区分担の最適化を行ない得る．しかし，最大現場到着時間を制御できないので，救急輸送需要の少ない地区を無視した地区分担になりがちである．

(2) 最大値最小化法〔$\mathrm{Min}_i\,\mathrm{Max}_j\sum_i t_{ij}\cdot x_{ij}$〕

最大現場到着時間を最小にするように，地区分担の最適化を行ない得る．しかし，全市平均現場到着時間を制御できないので，救急輸送需要のほとんどない地区を過重視した分担となりがちである．

(3) コスト関数修正法〔$\mathrm{Min}\sum_i\sum_j t'_{ij}\cdot X_{ij}$ ここに，$t'_{ij}=f(t_{ij})$ （例）$t'_{ij}=t^2_{ij}$〕

いろいろな最大現場到着時間の場合の，全市平均現場到着時間を最小にするような地区分担を決定し得る．しかしコスト関数をどのように修正すれば，最大現場到着時間がどのような値になるかの見通しをつけることが困難である．

(4) 上限値設置法〔if $t_{ij}>U$, then $X_{ij}=0$, $\mathrm{Min}\sum_i\sum_j t_{ij}\cdot X_{ij}$ ここに U は指定した現場到着時間の上限値〕

(3) の方法と同様に，いろいろな最大現場到着時間の場合の，全市平均現場到着時間を最小にするような，地区分担を決定し得る．さらに，意思決定者が指定する上限値と最大現場到着時間の間の関係の見通しは，比較的容易につけられるので，(3) の方法よりも，モデルに組み込んだ場合に扱いやすい．

以上の検討により，上限値設置法を用いて，地区分担の決定を行なうことにした．

4. モデルの概要

モデルは，図1に示すように，救急車の配置計画案および，現場到着時間を入力とし，全市平均

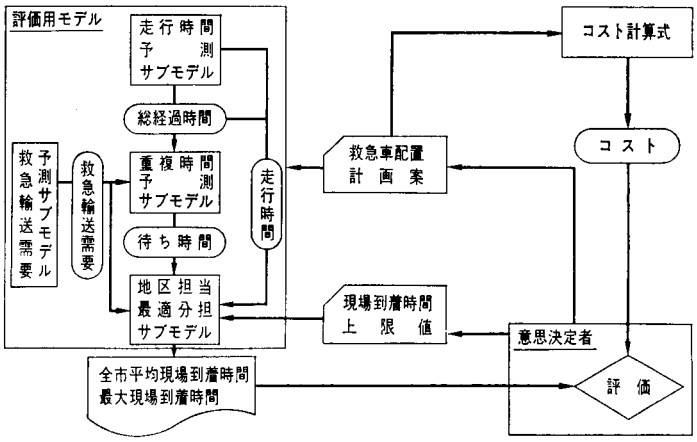

図 1 評価の方法とモデルの概要

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

現場到着時間および，最大現場到着時間の予測値を出力としている．またモデルは，4つのサブモデルから構成されており，このうち中心的役割をになうのが，地区担当最適分担サブモデルである．以下4つのサブモデルについて，その概要を記述する．

(1) 救急輸送需要予測サブモデル

トレンド法で求めた，全市平均の救急輸送需要発生確率予測値に，地区の需要特性をあらわす係数を掛けて，地区別需要発生確率を求める．次に地区別人口予測値を掛けて，その地区の救急輸送需要発生量の予測値(a_j)を求める構造にこのサブモデルはなっている．

(2) 重複時間予測サブモデル

すでに救急車が，出動中の救急出張所へ，別の出動要請があった場合に，患者が特別に待たなければならない時間の予測を行なう．(a)窓口の数；救急車数 (b)サービス時間；1件あたりの出動時間 (c)到着間隔；救急輸送需要発生間隔と対応させることにより，「待ち行列の理論」を用いて計算を行なう構造にこのサブモデルはなっている．

(3) 走行時間予測サブモデル

広島都市交通研究会(ＨＡＴＳ)が，交通計画を作成する際に求めた，昭和42年における一般車のゾーンペア別の平均走行速度 (G_{ij}) と，消防局の記録により求めた同じ昭和42年における，救急車の対応するゾーンペア別の平均走行速度 (E_{ij}) により回帰式を求めた．($E=0.782G+3.695$ 単位 m/s，相関係数 0.406) このサブモデルはＨＡＴＳ作成のモデルによって予測した，ゾーンペア別の $\hat{G}_{ij}$ を上式に代入し，計算することにより，$\hat{E}_{ij}$ を求め，さらにこの値に，ゾーンペア間の距離を掛けることにより，ゾーンペア間の走行時間を求める構造になっている．

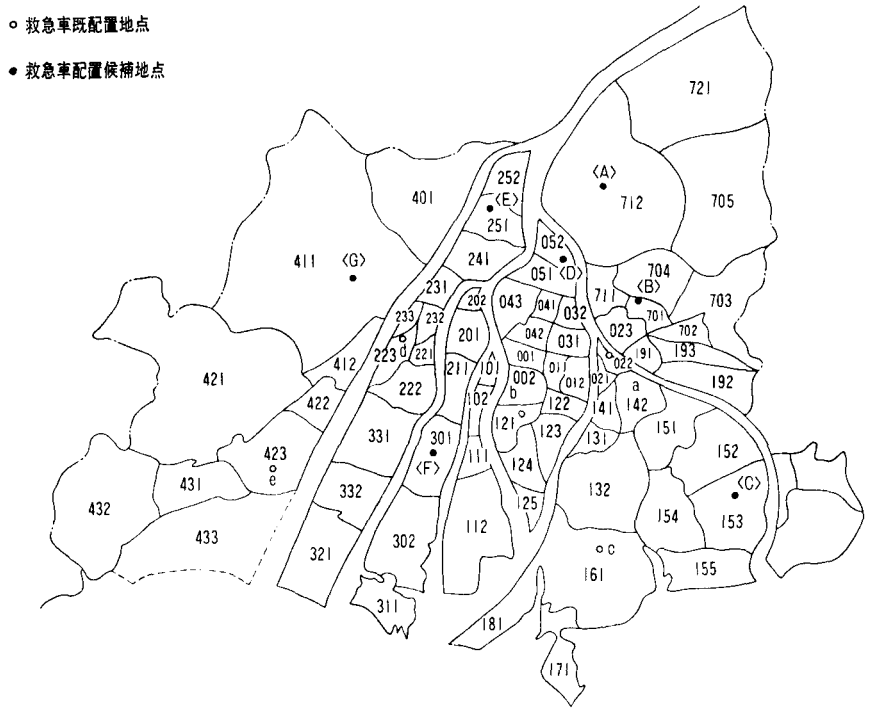

図 2 救急車配置計画案を示した広島市の地図

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．

) 地区担当最適分担サブモデル

このサブモデルの構造は以下のとおりである.

$$\sum_i X_{ij}=a_j \qquad \cdots(\mathrm{i})$$

$$\sum_j X_{ij}\leqq b_i \qquad \cdots(\mathrm{ii})$$

$$\text{if } t_{ij}>U,\ \text{then } X_{ij}=0 \qquad \cdots(\mathrm{iii})$$

$$X_{ij}\geqq 0 \qquad \cdots(\mathrm{iv})$$

$$\mathrm{Min}\ Z=\sum_i\sum_j t_{ij}\ X_{ij} \qquad \cdots(\mathrm{v})$$

(i)～(iv)の制約下で，(v)の最小化を行ない，この時の Z および，X_{ij} を利用して，次のように評価モデルの出力を計算する.

全市平均現場到着時間；$t_A=Z/\sum_j a_j$

最大現場到着時間；$t_M=\mathrm{Max}\ t_{ij}(\text{for } X_{ij}\neq 0)$

ここに，最小化はネットワーク理論でいう，最小費用流法のプライマル・デュアル解法を用いて行なうようになっている.

5. シミュレーション

このモデルの有効性を検証するために，実データを用いて，シミュレーションを用い，広島市の救急担当者とその結果を検討した.

シミュレーションは，以下の条件で行なった.

表 1 シミュレーションのケース

出場制限 ＼ 増車数 ＼ 上限値	$U=\infty$		$U=10$	
	$N=1$	$N=2$	$N=1$	$N=2$
$b_i=5$	ケース1	ケース2	ケース5	ケース6
$b_i=4$	ケース3	ケース4		

(1) 対象地区：広島市旧市内

(2) 対象年度：昭和50年

(3) 救急車既配置地点：(a), (b), (c), (d), (e)〔図2参照〕

(4) 現場到着時間の上限値(U)：

(a) 制限なし($U=\infty$)　(b) 10分以内($U=10$)

(5) 一救急分隊の出動制限件数(b_i)：

(a) 5件／日($b_i=5$)　(b) 4件／日($b_i=4$)

(6) 救急車配置計画案(救急車配置候補地点)：

(A), (B), (C), (C), (E), (F), (G)〔図2参照〕

なお，増車台数(N)が2台の場合には，候補地点の全組合せを配置計画案とした.

表1に示した6とおりのケースについて，計画案を実施した場合の，全市平均現場到着時間と最大現場到着時間の計算を行なった.

表 2 シミュレーションの結果

ケース	平均現場到着時間に着目した優先度順位						
	第1位			第2位		第3位	
	配置候補地点	平均現場到着時間	最大現場到着時間	配置候補地点	平均現場到着時間	配置候補地点	平均現場到着時間
1	D (052)	4′20″	11′53″	E (251)	4′28″	B (701)	4′37″
2	B (701) D (052)	3′54″	10′56″	C (153) D (052)	3′58″	B (701) E (251)	3′59″
3	D (052)	4′30″	11′57″	B (701)	4′37″	E (251)	4′39″
4	B (701) D (052)	4′10″	11′57″	B (701) E (251)	4′14″	C (153) D (052)	4′23″
5	(Infeasible)						
6	A (721) F (301)	4′35″	9′6″				

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会. 無断複写・複製・転載を禁ず.

6. 結果の検討

シミュレーションにより，表2に示す結果を得た．この結果の検討により，以下のことが明らかになった．

ケース2とケース6において，条件を満足する代替案のうち，最も平均現場到着時間の小さいものを比較すると，平均現場到着時間は，それぞれ3分54秒と4分35秒で，ケース6のほうが大きく，最大現場到着時間では，10分56秒と9分6秒で，ケース2のほうが大きい．市全体の効率性の面から見れば，ケース2の組合せのほうがすぐれており公平性の面から見れば，ケース6の組合せのほうがすぐれているといえる．この結果効率性と公平性を考慮して，救急車配置計画案の評価を行なううえで，このモデルの出力は満足いくものであるという確認を，広島市の救急担当者から得ることができた．なお，現場到着時間の上限値(U)をパラメトリックに変化させることにより，さらに多くの情報を与えうる．

また，このシミュレーションの結果を，1台増車する場合と，2台増車する場合の効果の比較や1救急分隊あたりの出動可能回数が大きくなった場合の効果の算定に用いることも可能である．

最後に，本研究にご協力くださった多くの方々に深く感謝申し上げる．

参考文献

1) E. S. Savas : Simulation and Cost-Effectiveness Analysis of New York's Emergency Ambulances : Management Science 15, 12, B608～B627 (Aug. 1969)

2) R. Sasaki : An Evaluation Model on the Optimal Allocation of Emergency Ambulances in Hiroshima City : IFORS' 75, National Contribution Papar of ORSJ

3) M. Iri : Network Flow, Transportation and Scheduling Theory and Algorithms: Academic Press 1969

執筆者紹介

ささき・りょういち　1947年生　日立製作所システム開発研究所

専攻：保健学

略歴：東京大学　保健学科卒業後　日立製作所に入社，主として環境問題，健康現象に関する評価の研究に従事

書評者を募集します

学会宛に書評依頼の書物が送られてきています．編集委員会では，これらの書物に対し書評を執筆してくださる方を公募しております．執筆希望者はお申し出ください．

ご執筆に対する原稿料は差し上げられませんが当該書を進呈させていただきます．

1) Ralee von Randow : Introduction to the theory of matroids, Lectures Notes in Economics and Math. Systems, Springer Verlag

2) B. Roy : Combinatorial Programming : Methods and Applications. D. Reidel Publication Co.
Proceeding of NATO Advanced Study Institute '74.

3) Sven Dan : Linear Programming in industry. 4 th. Springer Verlag

4) K. Rowe : Management Techniques for Civil Engineering Construction, Applied Science Publishers

5) 森村・大前：応用待ち行列理論(日科技連)

なお，North-Holland 社の出版物は希望すれば，書物を提供してくれるそうです．

© 日本オペレーションズ・リサーチ学会．無断複写・複製・転載を禁ず．