

交通事故に着目した救急医療サービスの評価に関する基礎的研究*

A Study on Evaluation of Emergency Medical Service considering Traffic Accidents*

二神 透**, 大野訓***, 柏谷増男***

by Tohru FUTAGAMI, Jun OONO, Masuo KASHIWADAN

1. はじめに

近年、自動車交通の増加に伴い交通事故件数も増加の傾向をたどってきている。その結果、交通事故による死亡者の数も増加の傾向にあり社会的な問題となっている。この問題に対して、日本でも救急救命士制度の導入が1991年に始まっている。しかし、その後の学会の調査によると導入後も呼吸や心臓が停止した患者の蘇生率は向上していない事が明らかになった。一般に、救急医療のサービス指標は、救急指定病院までの搬送時間が用いられる。本研究では、多量出血患者の治療時間と死亡率の関係より15分をサービス指標として用いる¹⁾。ドイツではいかに早く患者の手当を行うか、救急医療の目的はその一点に注がれている。そのために、ヘリコプターの導入がなされ、交通事故死者数1971年の指数を100とすれば1987年時点で40%弱まで減少している²⁾。しかし、日本の地方都市レベルにおいて、現実的にヘリコプターを導入することは、過密市街地でのヘリポートの設備や財政面等など問題が多い。そこで地方都市においては、適切に救急告示病院を指定するとともに、救急車両をいかにスムーズに運行させ、サービス時間の短縮化を図っていくかが当面の課題であろう。

本研究では上述した問題に着目し、はじめに、松山市域の交通事故を対象に救急医療サービスについての現状分析を行う。具体的には、ネットワークモ

デルを用いて、救急車両が走行するリンクと消防署・救急告示病院施設をノードで与える。つぎに、交通事故は交差点付近で多発すると仮定し、救急車両は交通事故発生ノードに対して最短時間の消防署から出動して、最短時間の救急告示病院へ搬送するとしてモデル化を行う。そして、現在、曜日単位のグループで指定されている³⁾救急告示病院のサービス水準(15分以内に搬送可能な交差点のカバー率)、平均搬送時間、搬送分担比率についての分析を行う。ここで、各グループの平均搬送時間を算定する際に、救急車両の出動頻度を考慮するために、松山市の交通事故発生場所データを用いて、近似的ではあるが交差点に交通事故確率を与えている。

以上の分析を基礎に救急告示病院(18個)について、1グループを3病院のユニットとして、MCLP(Maximal Covering Location Problem)⁴⁾を用いて最適施設配置についての検討を行う。さらに、市域全体のサービスの公平性を確保するために、消防施設をも含めたLSCP(Location Set Covering Problem)⁴⁾について検討する。最後に、救急車の道路走行性の改善とサービス水準の関係について、若干の考察と今後の課題を整理する。

2. 松山市の救急医療の現状分析

(1) 救急車両の出動状況とネットワークデータ

松山市は、1999年において人口46万人の地方中核都市である。図1は、松山市の道路ネットワークと、消防施設、救急医療施設の配置を表している。図中右上については、波線の円で囲まれている中心市街地の拡大図を表している。また、図中の数値は、救急告示病院のノード番号を表している。松山市の道路網の特徴は、中心市街地でグリッド状、郊外に向けて放射状となっており、近年、環状道路が整備されつつある。図1より、消防施設は、管轄おきに

*キーワード：地域計画，救急医療サービス

**正会員 学博 愛媛大学講師 工学部環境建設工学科
(松山市文京町3番, TEL089-927-9837, FAX089-927-9837)

***学生員 愛媛大学大学院理工学研究科土木海洋工学専攻
(同上)

****フェロー 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科
(松山市文京町3番, TEL089-927-9825, FAX089-927-9843)

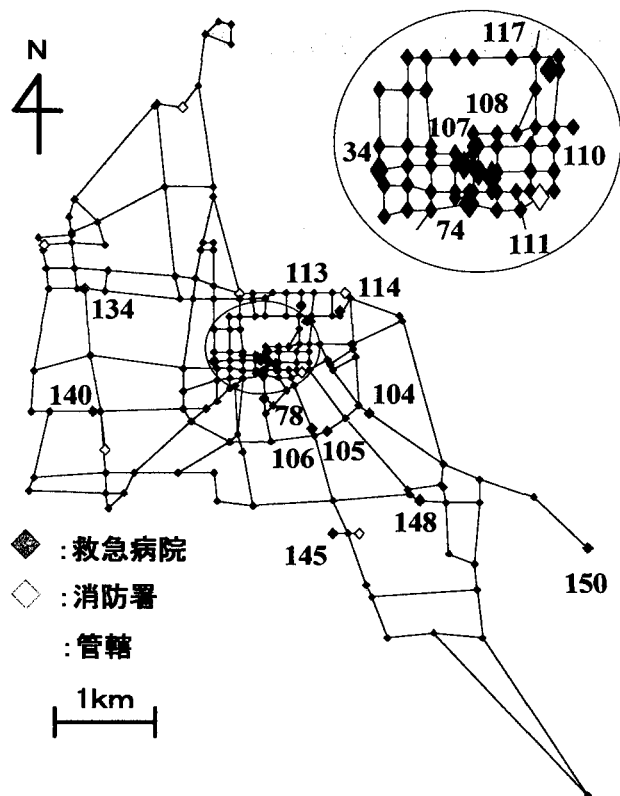


図1 松山市の救急医療体制

比較的分散して配置されているのに対して、救急告示病院は中心市街地に集中していることが分かる。ちなみに、市内には、7つの消防施設があり7台の救急車（内2台は高規格救急車）と2台の救急予備車が装備されている。平成9年の松山市消防年報³⁾によると、年間の出動件数は、約12,000件強である。一日当たりの、平均出動回数は、34件である。ここで、交通事故に着目すると、年間3,300件弱で、全体の28%を占めている。

図2は、愛媛県警察本部 交通部交通企画課 事故分析・統計課より頂いた平成10年4月から平成11年8月までの約4000件の時間帯別交通事故発生件数を表している。この図より、交通事故のピークは通勤時の午前8～9時と、午後5～6時であることが分かる。当然、この時間帯は交通量も多く、道路によっては交通混雑のため救急車の走行に支障を来すことが予想される。つぎに、前述した約4,000件の事故発生現場のデータをGIS上にプロットしたものを図3に示す。図上では、構成した幹線道路で囲まれた住宅地の細街路等に多くの事故現場が存在するように見える。しかし、リンク上で発生した交通事故が多く、地点で重なっているため、図1のネットワーク上以外の発生件数は、全体の20%弱となって

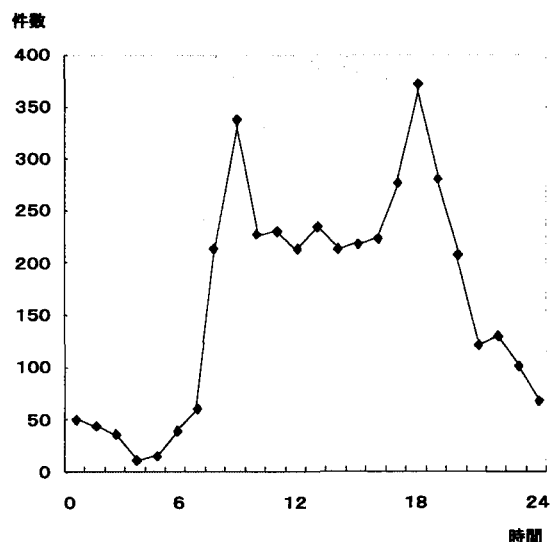


図2 時間帯別交通事故発生件数

いる。これらの現場は、GIS上で位置座標、住所、日時の項目をデータベース化しているため、クエリをかけることにより、曜日別の事故の分布や、時間帯ごとの事故の分布などを瞬時に地図上に表示することが可能である。紙面の制約上割愛するが、曜日別の空間分布に着目すると、日曜日・休日の事故数は平日に比べ、約65%程度の頻度となっている。一方、平日では、事故発生の場所・頻度に大きな差異はないことが分かった。

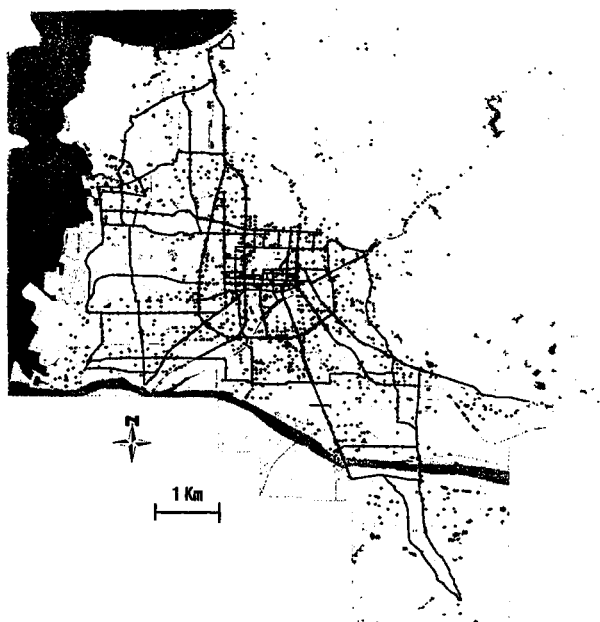


図3 松山市の交通事故発生現場の分布

ここで、問題となるのが救急車両の実走時間の想定と交通事故の発生頻度の取り扱いである。前者について、著者らは十分なデータ及び知見を得ていない。そこで、本研究では、1998年の松山市交通セン

サスデータを用いて時間帯別の車両速度を各リンクに与えた。そして、交通事故患者の搬送は特に緊急性を要するため、サービス水準の評価に用いる救急車両の速度は、逆に最も救急車両の速度が遅くなると推測される混雑時の時間帯（午後5時）の車両速度を与えることにする。また、前述したように交通事故は、用いたネットワーク上の80%強で発生している。しかも、比較的交差点付近に集中する傾向が見られるため、それらを最も近接するノードへ集約した。ネットワーク上以外で発生した交通事故についても同様の処理を行った。これらの値を用いて、近似的ではあるが、各交差点における交通事故確率と定義する。

(2) 救急告示病院の指定とサービス水準

松山市は、図1に示した18の救急告示病院を、表1に示すように、曜日毎に7つのグループで運用している。本節では、(1)で想定した道路の走行速度の基で、現在のグループ毎のサービス水準について、以下の3点から評価を行う。

表1 救急告示病院の運用体制

グループ	救急病院
A	74,105,114
B	78,108
C	107,134,148
D	113,140
E	106,111,150
F	34,110
G	104,117,145

- 1) 15分内搬送カバー領域
- 2) 平均搬送時間
- 3) 告示病院の搬送比率

ただし、ここでの搬送条件は、事故現場から最も近い消防署より救急車が出発し、最も近い告示病院へ搬送する直近法によるものである。

はじめに、搬送時間の目安となる15分（現場駆けつけ時間＋処置時間＋病院までの搬送時間）を制約条件として、各グループについてカバー率（全ノード数に占めるカバーノード数）の算定を行った。ちなみに、処置時間とは松山市の交通事故の平均現場

到着時間、平均収容所要時間等の実データより得られた平均処置時間（5分）を意味している。表2にそれらの算定結果を示す。その結果、最もカバー率が高いグループは、Cグループの70.2%、最も低いグループはGグループで46.6%となり、グループ間でサービス水準の格差が大きいことが分かる。ここで、表1のCグループ、Gグループの配置パターンとカバーノードの空間特性の比較を行うために、図4、5にカバー領域を太線で示す。図4より、Cグループの場合、救急告示病院が、中心部に1つ、北西部、南東部にそれぞれ1つ配置され、特に北西部の施設によるカバー率が高いことが分かる。一方、Gグループの場合、2つの施設が市街地中心部に、1つの施設が南部に配置されているため、北西部のカバー率が低く、全体的にもカバーされていない状況が容易に理解できる。

表2 各グループのカバー率（15分以内）

グループ	順位	カバー率(%)
A	2	57.1
B	6	48.7
C	1	70.2
D	2	57.1
E	5	50.3
F	4	54.5
G	7	46.6

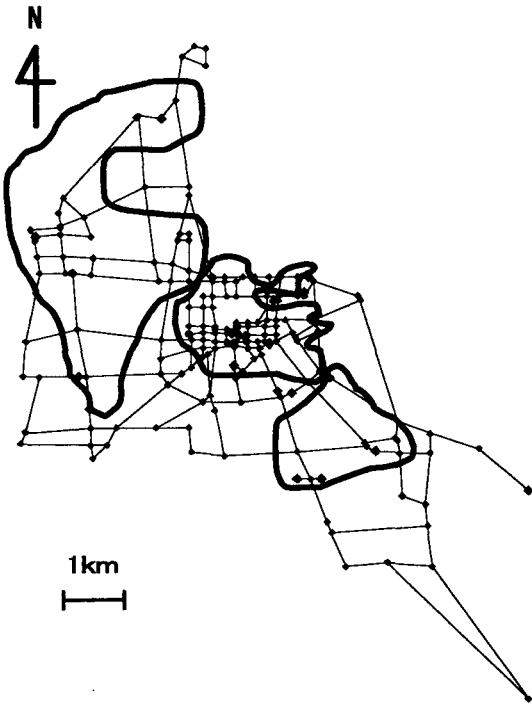


図4 グループCによるカバー領域

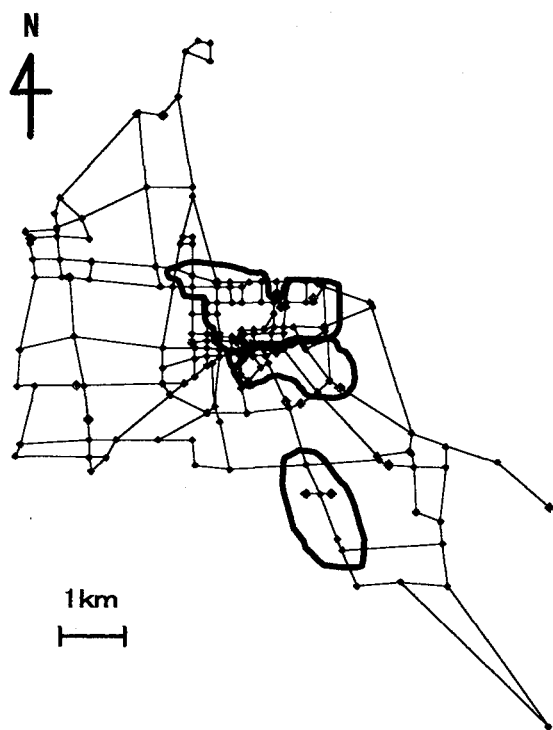


図5 グループGによるカバー領域

つぎに、交差点での事故確率が一定の場合と、2. の(1)で述べた事故確率を与えた場合の各グループの平均搬送時間をそれぞれ算定した。それらの結果を表2、表3に示す。これらの結果より、事故確率を考慮しない場合は、最も搬送時間の速いグループはCであり、最も遅いグループはGとなり、それらの間には2分30秒の格差が生じている。そして、Cグループの搬送時間は、その他のグループと比較しても卓越して小さいことが分かる。つぎに、事故確率を与えた場合、最も搬送時間の速いグループはやはりCであるが、前者より1分半ほど遅くなっている。一方、最も遅いグループはDとなり、それらの時間差は約2分となり、前者より30秒短縮している。しかし、等確率よりも実確率を用いると、すべてのグループにおいて前者より30秒以上遅れる結果になっている。この理由は、現況の消防施設および18の救急告示病院から離れた地点で交通事故が集中的に発生していることによると考えられる。

つぎに、全てのグループについて、各交差点で発生した交通事故に対する各搬送時間を算定した。それらのうち、C、Gグループの算定結果を図6、7にそれぞれ示す。図6より、Cグループは、10分、13分に頻度のピークがあること、また35分も時間

表3 平均搬送時間（等確率）

グループ	順位	平均搬送時間(分)
A	2	15.5
B	6	15.9
C	1	13.5
D	5	15.8
E	2	15.5
F	4	15.7
G	7	16.0

表4 平均搬送時間（実確率）

グループ	順位	平均搬送時間(分)
A	2	16.1
B	6	16.9
C	1	15.0
D	7	17.1
E	2	16.1
F	5	16.8
G	4	16.7

を要する交差点が存在していることが分かる。一方、Gグループでは、12分、14分、そして19分にもピークがあり、また、25分以上の時間を要する交差点が13個存在している。

最後に、搬入施設である救急告示病院の分担公平性に着目し、各グループについて、救急告示病院への搬送分担率の算定を行った。その結果、図8に示すように、Cグループでは、搬送分担率が比較的分散しているのに対して、E、Gグループでは、特定の告示病院に集中することが分かる。特に、Eグループでは、3つの救急告示病院の1つに84.3%集中している。図1で、Eグループの配置パターンを確認すると、市街地中心部に1つ、南部に1つ、南東部末端に1つとなり、中心部に位置する施設のみが北側の地域のほとんどを分担しなければならないことが分かる。

以上より、上述した3つの視点から松山市の救急医療の問題点を整理すると、救急告示病院の配置パターンによって平均搬送時間に格差があり、長時間の搬送時間を要する交差点が存在する。また、各グループで時間内カバー率の格差や、告示病院間での分担割合の格差が大きいことが明らかになった。

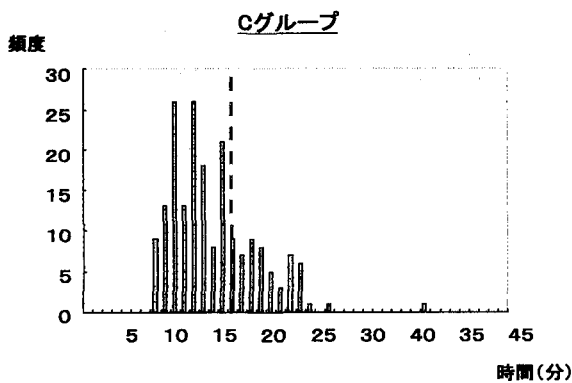


図6 搬送時間の分布（Cグループ）

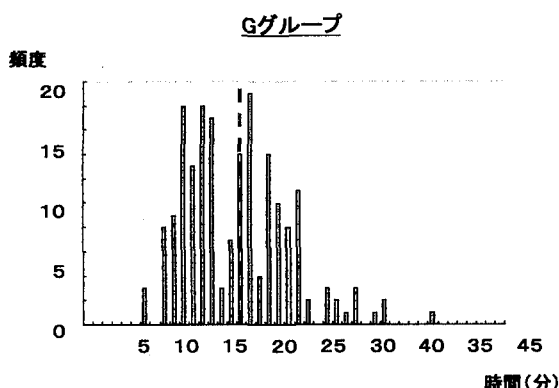


図7 搬送時間の分布（Gグループ）

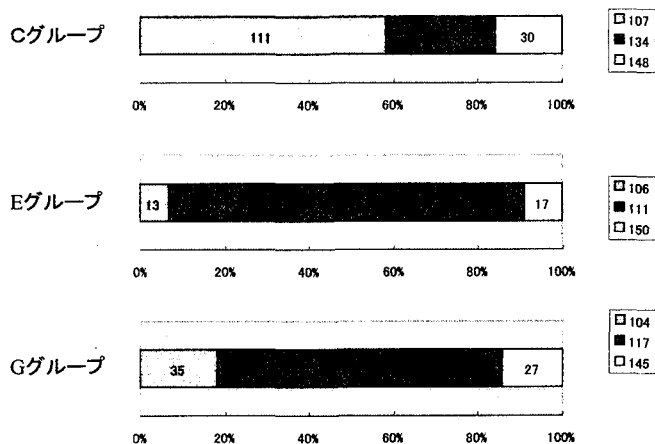


図8 救急告示病院の分担率

3. 施設配置によるサービス水準の確保

(1) 既存救急告示病院の最適配置

松山市の場合、現在の運用体制のもとでは、市内全域の交差点に対して、15分以内の搬送を確保することは困難であることが明らかになった。現状のグループの体制下では、カバー率の最大値は70.2%にすぎない。そこで、本節では、既存の18の救急告示

病院について、カバー率を最大とする病院の再配置についてMCLPからのアプローチを試みる。

はじめに、現在の消防施設を固定し18の救急病院の候補地から、最適な3つの病院の再配置を考える。この問題は、施設数を固定（3個）、移動時間を制約（15分）としたMCLPとして定式化される。算定の結果、この最適解は施設番号108, 134, 148救急告示病院となった。ちなみに、これらの組み合わせは、Cグループの配置パターンに近く、中心市街地の救急告示病院(107)が隣接する(108)に代わっている。これらのカバー率は、71.2%となりCグループより1%カバー率が向上しているに過ぎない。

(2) 施設の追加配置によるサービス水準の確保

既存の救急告示病院の最適配置を考えても、71.2%の地域をカバーしているにすぎない。また、最適配置の場合でも、消防署から交差点に駆けつけるまでの時間が15分以上の交差点が3箇所あることが分かった。そこで、消防署の追加配置と現在の告示病院以外に新たな病院を追加配置することを考える。ここで消防施設から現場到着時間の制約を考える場合、処置時間に5分要することを考慮すれば、少なくとも10分以内に駆けつけなくてはならない。そこで、制約時間Sを7～10分として、LSCPとして定式化し消防施設の配置問題を解いた。その結果を表5に示す。これより、現在の消防施設数7に対して、1～3の施設の追加が必要となる。つぎに、各追加配置施設の基で、搬送制約時間を15分としてLSCPを用いて、C、Gグループについて救急告示病院の追加配置を算定した。その結果を、表6に示す。これらより、救急告示病院側でも10～14の施設の追加配置が必要となる結果となった。

表5 消防署の配置数

所要時間(分)	新たに立地した消防署数(個)
10分以内	1
9分以内	2
8分以内	3
7分以内	3

表6 救急告示病院の配置数

消防署数(個)	救急病院 数(個)	
	Cグループ	Gグループ
8(+1)	14	13
9(+2)	11	12
10(+3)	11	11
10(+3)	10	10

4. 走行性向上によるサービス水準の確保

3. では、施設配置の視点から、救急医療サービスの確保について検討を試みた。しかし、市域全体の救急医療サービスの水準を確保するためには、消防署を含めた多くの救急医療施設を配置しなければならないことが明らかになった。しかし、現実的に、それだけの施設を配置することは不可能であろう。そこで、救急車をスムーズに走行可能な施策（救急車両通過掲示板の設置や、交差点信号の連動制御）を行い、救急車の走行パフォーマンスを確保した場合のサービス水準について検討を試みる。

(a) 消防施設近傍のボトルネックとなるリンクの走行性の改善（16本のリンクの現状値から40km/h)

(b) ネットワーク全体の走行性の改善
(現状値の20%up)

まず(a)のケースについては、平均搬送時間に対する影響はほとんど見られない結果となった。消防施設近傍のリンクの走行パフォーマンスをあげるだけでは、地域全体のサービス水準を確保できないことがわかった。つぎに、(b)のケースの算定結果を表7に示す。表より、救急車の走行速度が20%向上すると、Cグループでは1分24秒、Gグループでは1分48秒平均搬送時間が短縮される結果となった。カバー率をみても、Cグループでは9%up(79%)、Gグループでは11%up(58%)となった。この結果より、走行パフォーマンスの確保と施設の配置の両方からの改善が重要であると言えよう。

表7 走行性向上によるサービスの変化

グループ	平均搬送時間(分)		カバー率 の変化
	変更前	変更後	
C	13.5	12.1	9%
G	16.0	14.2	11%

5. 既存救急病院の追加指定とサービス水準の評価

4. の算定事例より、救急車の走行時間を渋滞時の車両実走時間で与えた場合、市内全域において15分のサービス水準を確保するためには、新たな消防署と既存救急病院以外の施設の配置が必要となる可能性があることが分かった。しかし、現実的にそのような配置を行うことは、財政的にも困難である。そこで、既存救急病院の最適配置（指定頻度を変化させる）によるサービス水準の向上について考察する。まず、現在の既存救急病院を1グループ当たり、2から5に変化させた場合の最適施設配置と平均搬送時間について算定を行った。その結果を図9に示す。既存施設において、3施設以上を指定すれば平均搬送時間は大幅に低減している。施設配置場所については、2個の場合、市内中心部と、北東方面に、3個の場合、南西方面に追加され、4個の場合、同じく南西方面に追加、5個の場合西方面に追加という結果となった。しかし、既存の指定病院を効率よく運用し、サービス水準を確保するためには、現在以上の回数の指定を行い、1週間のグループにおける最適配置を考えなければならない。

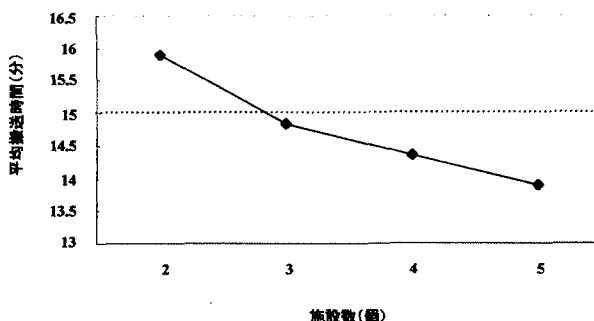


図9 既存救急病院の最適配置による平均搬送時間変化

6. おわりに

本研究では、松山市内を対象として15分以内に救急告示病院への搬送を確保することを救急医療サービス水準と定義し、現状の運行体制と問題点を指摘した。その結果、グループ単位で運用される救急告示病院の配置とサービス水準に大きな較差があることが明らかになった。最もサービス水準が高いグル

〈参考文献〉

ープでは、70%の交差点をカバーするが、逆に最もサービス水準が低いグループでは 47%のカバー率に過ぎないことが明らかになった。つぎに、松山市の事故発生場所を GIS 上に表示した結果、80%強の事故が想定したネットワーク上で発生しており、かつ比較的交差点付近に位置するため、それらを交差点へ集約し各交差点に事故確率を与えた。これらの値を用いて、サービス水準の評価を行った結果、カバー率の最も高いグループの平均搬送時間が 15.0 分となり、最もサービス水準が高い結果となった。しかし、15 分以内の搬送時間を全域で確保する制約下で LSCP を用いて施設配置問題を解いた結果、消防署施設も含めて、13~15 もの新たな施設の配置が必要となることを示した。また、救急車両の走行パフォーマンスを確保すれば、現状の施設数でも市域全体の救急医療サービスの水準を高めることを定量的に示した。

今後の課題として、1つは、想定したネットワークの再検討が上げられる。これは、松山市の事故発生場所の空間分布に着目すると、ネットワーク以外の細街路に集中する地域が見られることと、環状線外域のリンク長が内部と比較すると長いため、交差点に交通事故を集約すると、詳細な分析には不都合である。そこで、事故発生場所のデータを追加し、事故発生の空間分布を詳細に分析し、ネットワークを精緻化するとともに、リンク長を細分化する必要がある。2つは、救急車両の走行に関する知見の整理である。著者らは、救急車両の速度を、渋滞時の車両速度として与えたが、救急車両の走行実態調査を行い、時間帯や道路の形状（車線数、分離帯の有無）など実走速度に影響を与える要因の分析と、走行誘導型のシステム導入に伴う問題点の検討を試みたいと考えている。また、救急告示病院のグループについて、公平な分担のもとでグループ全体の最適サービス水準を確保する配置についての検討も行う必要がある。そして、上述した救急告示病院の最適配置と、誘導型搬送システムを連動することにより、より高いサービス水準の確保が保証されよう。

- 1) 大山達雄監訳：公共政策ORハンドブック，朝倉書店，1998.
- 2) NHK スペシャル「死者半減 西ドイツはこうして成功したー第二次交通戦争への処方せんー」，NHK 出版，1989.
- 3) 松山市消防局：消防年報（平成9年度版），1998.
- 4) 日本建築学会編：建築・都市計画のためのモデル分析の手法，井上書院，1992.
- 5) 二神透，大野訓，柏谷増男，荒川昌子：松山市の交通事故における救急医療サービスの評価と施設配置計画，土木学会四国支部第5回究技術研究発表会講演概要集，pp. 240-241，1999.
- 6) Paul J. Densham, Gerard Rushton: A MORE EFFICIENT HEURISTIC FOR SOLVING LARGE P-MEDIAN PROBLEMS, PAPERS IN REGIONAL SCIENCE, pp. 307-329, 1992.

交通事故に着目した救急医療サービスの評価に関する基礎的研究

二神 透, 大野 訓, 柏谷 増男

本研究では、松山市域の交通事故を対象に、救急医療サービスについての現状分析を行った。その結果、曜日単位のユニットで指定されている救急告示病院のサービス水準には大きな差異があることや、搬送時間の公平性を確保するためには消防施設の新たな配置を考慮しなければならないことを示唆することができた。さらに、交通事故データをもとに、GIS を用いて事故の時空間分布を明示するとともに、事故確率を考慮した救急医療施設配置について言及した。最後に、救急車の道路走行性の改善とサービス水準の関係について、若干の考察を行った。

A Study on Evaluation of Emergency Medical Service considering Traffic Accidents

Tohru FUTAGAMI, Jun OONO, Masuo KASHIWADANI

In this paper, we try to analyze the state of emergency service, especially considering traffic accidents in Matsuyama City. Because, it is indispensable for a victim who was seriously injured, must be conveyed more rapidly to an emergency hospital. Firstly, we analyze the service level of daily unit of emergency hospitals by Maximal Covering Location Problem. In the result, we make clear differences of their service levels, and some new fire stations are required to secure carrying time in the city. Secondly, we utilize GIS to grasp the spatial distribution of these accidental frequency, and analyze the emergency hospital location problem considering the probability of traffic accidents. Lastly, we refer to the relationship between the improvement of traveling performance of the ambulances on the current road network and the service level.
