

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月25日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760492

研究課題名（和文） 施設容量を考慮した利用者負担を最小化する広域医療計画に関する研究

研究課題名（英文） Study on regional medical plans to minimize the burden on the users considering facility capacity

研究代表者

鵜飼 孝盛（UKAI TKAMORI）

筑波大学・システム情報系・研究員

研究者番号：20453540

研究成果の概要（和文）：限られた予算、人員の制約の下では、多くの資源を集中的に運用することでサービスを効果的に提供することができる。一方で、サービスを楽しむ住民は施設までの移動という負担が増す。このようなサービスの効率と利用者の負担とのトレードオフに注目した上で、限られた資源を適切に配分する指針を得るための基礎的な数理モデルを構築し、計算機上でシミュレーションを行った。

研究成果の概要（英文）：Under the constraint of a limited budget, services are provided effectively by intensive-resource operation. On the other hand, people who require those services have to bear the burden that they move to the facilities where services are provided. Under a trade-off between the efficiency of services and the burden on the user, we formulate a mathematical model to obtain guidelines for appropriate allocation of limited resources. And we simulated on a computer.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学、都市計画・建築計画

キーワード：施設配置、都市計画

## 1. 研究開始当初の背景

都市内では多様なサービスが提供され、多くの市民はそれを楽しむことで都市内の生活を営んでいる。これらのサービスは自治体や官公庁などの行政が提供する公のものもあれば、民間が提供する利潤目的のものも存在する。これらのサービス提供者にとって、その拠点となる施設について、どのようにその数を定め、その配置を決定するかは大

きな問題である。

また近年、少子高齢化の進展による、高齢者人口の増加に伴う医療費・社会保障費の増加や、特に地方部における医師不足などが大きな問題となっている。医療にかかる費用や医師・医療従事者の数は一朝一夕に増やすこともできず、また無制限に増加させることは不可能であり、医療サービス・資源の効率的な運用が望まれている。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、オペレーションズ・リサーチの手法を用いて、医療施設の広域的な整備に関する基礎的な知見を獲得し、その計画の策定にあたり科学的な礎を提供するものである。

近年、少子高齢化の進展による、高齢者人口の増加に伴う医療費・社会保障費の増加や、特に地方部における医師不足などが大きな問題となっている。医療にかかる費用や医師・医療従事者の数は一朝一夕に増やすこともできず、また無制限に増加させることは不可能であり、効率的な運用が望まれる。

限られた予算、人員の制約の下では、多くの資源を集中的に運用することにより、サービス自体は効果的に提供されることになるが、医療サービスを受取る住民側の視点からは、サービスを提供する施設までの移動距離が長くなるという負担を負うこととなる。殊に救急医療においては搬送時間の増加は救命率などに大きく影響を及ぼすことになる。

本研究では、このような医療サービスの効率と利用者の負担とのトレードオフに注目した上で、限られたリソースの適切な配分、最適な医療施設の設置、医療施設への機能の割り当てなどを策定することを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究では、大きく二つの部分に分けて現実問題へのアプローチを行った。一つは、単純化した都市モデルの上での数理的なモデルを構築し、分析することであり、もう一つは数理モデルを元として実際の都市のデータを用いて、最適な施設の配置・規模の決定を行うことである。

前者については、施設の建設・運営費や利用者の施設までの移動費用といった、直接・間接にかかる費用に加え施設の容量を考慮することが考えられる。救急医療や急性期医療においては、待ち時間よりも、サービスの要求に対して即時に対応できるかどうかの問題となることから、施設の容量から生じる呼損率に着目したモデルについて分析を行った。

上述のような数理的モデルを踏まえた上で、PC上に実現した仮想的な都市モデルにおけるシミュレーションを実行し、その特性を探った。同時に、現実の都市に対する適用を試みた。

## 4. 研究成果

### (1) 都市内の利用者数の状態

#### ① 都市全体の施設利用者の総数

サービスの効率と利用者の移動の両者に注目した分析を行うのだが、移動については後ほど考えることとして、限られた領域内での施設利用者の総数がどのようなことになるかについてモデル化を行った。

いま都市領域内に、一定数  $M$  だけの医師が存在するものとする。都市内に  $h$  個の施設(病院)を考え、各施設に均等に医師が存在するものとする。また、施設あたりの医師数を  $m$  とし、 $M = mh$  とする。

単位時間あたりの都市全体での患者(利用者)の発生率(施設側から見た場合の到着率)を  $\lambda$  とし、単位医師あたり・単位時間あたりのサービス率を  $\mu$  で一定であるものと仮定し、到着間隔、サービス時間の分布は指数分布に従うものとする。

このとき、都市全体の利用者数の分布、すなわち利用者の総数がある値であるという確率は、平衡方程式を解くことにより求められる。その分布は、サーバ数が医師数  $M$  で到着率、サービス率がそれぞれ上で定めた値の待ち行列型のものとなる。

このことは、都市全体を一つの施設として考え、その中にサーバが医師の総数だけ存在するようなシステムとして振る舞うことを示している。そして、都市内での医師の総数が一定であるなら、想定していると資料域内で発生した需要に都市領域内の施設で対応できない確率は一定となるということを示している。

#### ② 都市内の各施設の利用者数

①の想定の下で、都市内の各施設の利用者の分布を求めることができる。

これは、施設数  $h$  に応じた大きさのベクトルを考え、その要素がそれぞれの施設の利用者数に対応しているものとし、①で求めた平衡方程式を解くことにより求められる。

①の結果により、都市内での医師の総数が一定であるなら、想定している都市領域内で発生した需要に都市領域内の施設で対応できない確率は一定となることがわかった。このことは、都市領域内の医師の配置によって呼損率が左右されないことを示している。医師の配置を変更することで、サービスを受ける施設までの移動距離という面では向上したとしても、サービス自体を受取れない需要が発生するという事態は生じない。したがって医師の配置を評価する指標としては、例えばサービスを受ける施設までの移動距離などに注目すればよいことがわかった。

(2) 線分状都市における数値例

(1) のモデルを用いて、線分状の都市領域において数値計算を行った。

① 施設が等間隔に存在する場合

長さ10の線分状の都市領域を考え、施設数を5、施設当たり医師数を4、到着率、医師当たりサービス率を設定し、需要は最寄りの施設から順に施設を選択するものとする。都市領域の左端より1, 3, 5, 7, 9の位置に施設を配置しそれぞれ施設1, 施設2, …, 施設5とする。

上記の設定の下で(1)の平衡方程式をつくり、これを解いた。このとき需要の発生位置による各施設の利用割合(サービスを受ける割合)を示したものが図1である。

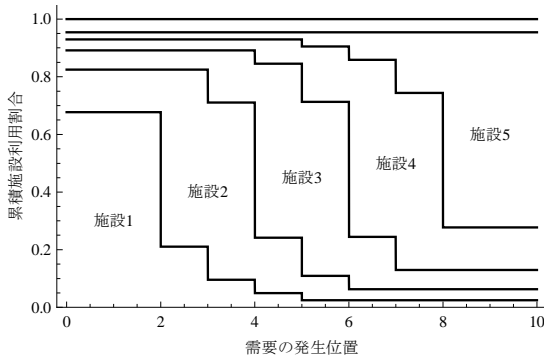


図 1：需要の発生位置と施設利用割合

需要は近い施設から順に多い割合で利用することとなるが、サービスを受けられないものが一定の割合で存在することがわかる。さらに、各需要が最寄りの施設、2番目に近い施設、…、5番目に近い施設(k次近隣施設)を訪れたときサービスを受けられる確率を示したものが図2である。

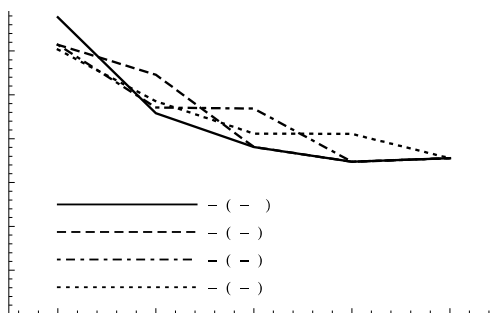


図 2：需要の発生位置と k 次近隣施設の受入率

これを見ると、施設の受入率は一定とはならず、2番目に近い施設、3番目に近い施設となるに従って、その確率は次第に減少することとなる。

さらに、都市内の各地点からサービスを受ける施設までの(領域内のいずれかの施設でサービスを受けられるという条件付きの)平均距離を示したものが図3である。施設の位置で極小、施設間の距離が等しくなる点で極大となり、これらの点で場合分けされる一次関数として表わされる。

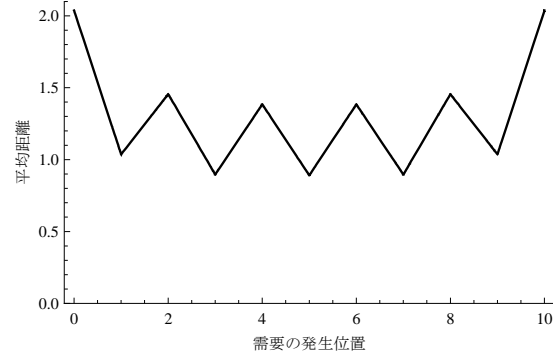


図 3：サービスを受ける施設までの平均距離

② 施設数による最適施設配置の変化

都市内の医師数が一定のとき、需要が都市内でサービスを受けられる確率は一定となる。この枠組みの中では、都市全体での医療サービスを評価するにあたって、サービスを受ける施設までの距離のみに注目しても問題ないことになる。ここでは、前節と同様に一次元の線分を考え、サービスを受ける施設までの平均距離が最小となる施設の配置を求めた。

都市領域を長さ10の線分とし、医師の総数を12として計算を行った。サービス率は一定として、到着率が小さい場合( $\lambda=5$ )と大きい場合( $\lambda=15$ )の結果を示す。

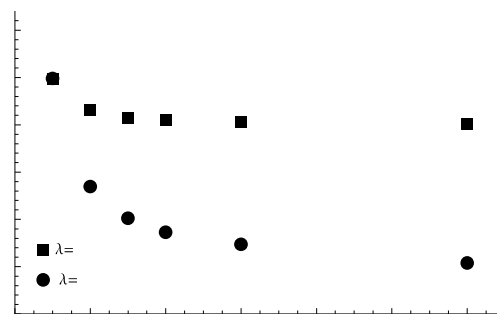


図 4：施設数と平均距離

図4は施設数と最適配置における平均距離とをプロットしたものである。平均距離は施設数に反比例するように、単調に減少している。到着率が大きい場合、近くの施設が利用できない可能性が大きくなり、平均距離は長くなるのがわかる。

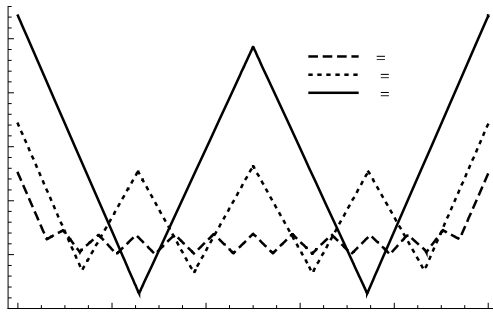


図 5：サービスを受ける施設までの平均距離  
(到着率が小さい場合)

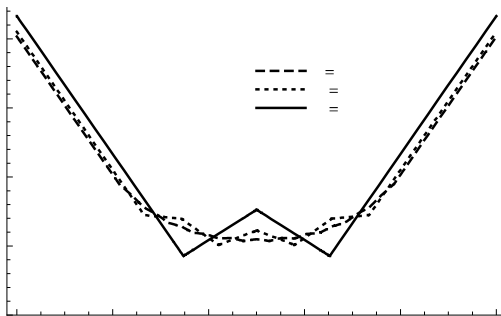


図 6：サービスを受ける施設までの平均距離  
(到着率が大きい場合)

図 5, 6 は平均距離を最小とする施設の配置における需要の発生地点からサービスを受ける施設までの平均距離を示している。到着率が小さいときには、領域内に分散して配置するのが最適であるのに対し、到着率が大きくなると、中心付近に集中的に配置される。到着率が小さく、サービス率に余裕がある場合には、近くの施設でサービスを受けられないという可能性は小さく、需要の発生位置から最寄りの施設までの距離が重要となり、結果としていわゆる p-メディアン型の配置に近くなる。これに対し到着率が大きくなり、サービス率に余裕がなくなると、近くの施設でサービスを受けられない可能性も大きくなる。いわゆるたらい回しのような状況が生じやすくなり、需要は最近隣の施設だけでなく、第2次近隣、第3次近隣の施設を利用する割合も大きくなるため集中的な配置となるのである。

### (3) 神奈川県西部における計算例

(1), (2) で構築したモデルを神奈川県西部地域に適用し、計算を行った。対象としては、神奈川県湘南西部医療圏、県央医療圏をとりあげ、同地域内にある 15 の急性期病院を対象施設とした。患者数は平成 20 年患

者調査・二次医療圏×傷病大分類別より求め、サーバ数は各病院の病床数とした。

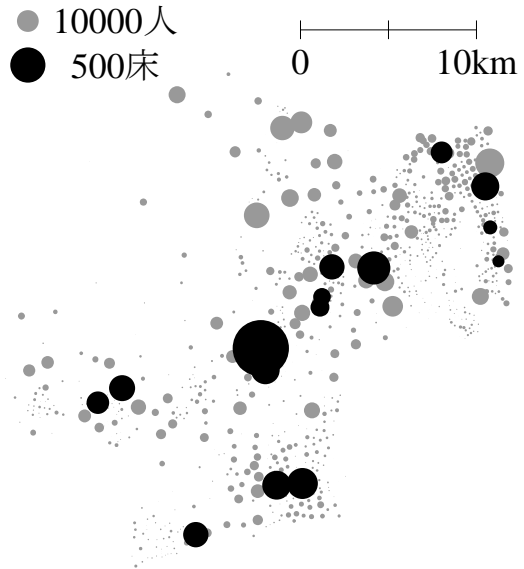


図 7：現状の病床配分の様子

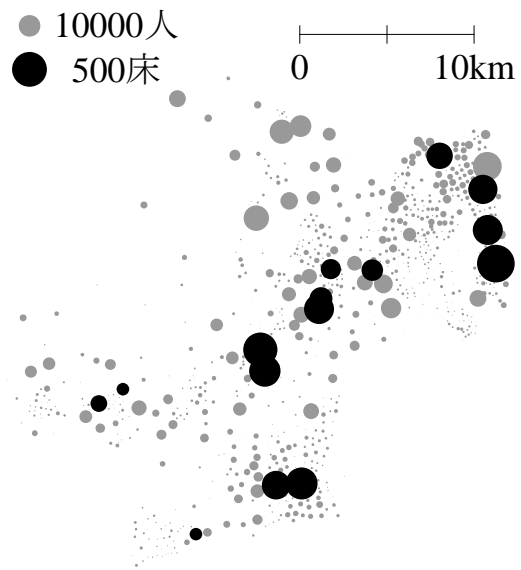


図 8：最適な病床配分

図 7 に現状の各病院への病床の様子を、図 8 にシミュレーションにより求められた最適な病床配分の様子を示す。対象領域中央部の病院の病床数を減らし、比較的人口の密集している領域東部の病院への割り当てを増やす結果となった。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① 鵜飼孝盛, 施設容量を考慮した救急医療施設の最適配置, オペレーションズ・リサーチ, 2009, Vol. 54, 414-418, 査読無.
- ② Takamori Ukai, Optimal Location of Facilities with Limited Capacity, Proceedings of the Eighth international Symposium Operations Research and its Applications, 査読有, 2009, 340-347.

〔学会発表〕(計1件)

- ① Takamori Ukai, Optimal Location of Facilities with Limited Capacity, Informs Annual Meeting, Nov, 2009, San Diego, U. S. A.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鵜飼 孝盛 (UKAI TAKAMORI )  
筑波大学・システム情報系・研究員  
研究者番号：20453540