

患者のアクセシビリティを考慮した病院の最適配置に関する研究

M2011MM010 原雅典

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

現在の日本では、生活習慣の変化や高齢化の進行により、数十年前と比較して疾病構造に変化が生じている。疾病構造の変化は必要な病院数や病床数にも影響を与えるが、必ずしも変化に十分に対応できているとは限らない。患者数が減少した疾病に対する病床を多く確保している地域がある一方で、患者数が増加しているにも関わらず、対応する病院や病床を十分に整備できていない地域も存在する。後者の場合、居所の近隣で受診できずに遠くの病院に通わなければならない患者が増加する可能性が高い。患者の多くが高齢者であることを考慮すると、病院までの移動のし易さ、つまり患者のアクセシビリティの考慮が重要になる。疾病に応じた適切な医療を地域格差なく受診できる医療体制を整えることは急務とされる。患者数と病床数の需給バランスを見直すことが、その第一歩とも言える。

患者の需給バランスの見直しに関する先行研究には、患者と病院との距離や病院全体の容量を対象に行われているものがいくつか存在する。鶴飼 [4] は、病院の容量を考慮したうえで、患者が医療サービスを受ける病院までの距離をもとに、施設数や配置について研究を行った。また石川 [3] は、入院患者の運転時間別の診療圏の人口を調査し、各病院の地域への貢献度を把握する研究を行った。一般に、大学病院等の高度医療を提供する病院の診療圏は重力モデルで記述できると言われており、患者の居所から病院までの距離が入院先病院選択の重要な要因である。したがって、患者のアクセシビリティの考慮は、需給バランスの見直しにおいて重要な要因である。しかし、疾病毎の患者数や患者のアクセシビリティを考慮したり、病院の診療科毎の容量を考慮した最適化に関する研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、病院と患者の需給関係について地域格差が生じていることを可視化し、地域や疾病によらず公平な医療サービスを受けられる体制を整えるためには、どの地域にどの程度の規模の医療施設が必要であるかに関する指標を作る。

2 研究の概要

2.1 研究対象

本研究では入院治療を主体とした区域が設定されている二次医療圏を対象とする。神奈川県二次医療圏は全部で 11 圏域存在するが、その中でも県央と湘南西部の 2 つの医療圏を対象を絞る。選んだ理由を記す。まず、県央は人口が多く集まっているが、大規模の病院がないため神奈川県の中でも患者と病院とのアンバランスが大きいとされている。一方、湘南西部は東海大学病院をはじめ、比較的規模の大きい中小病院が数棟存在するため、多くの患者に対して医療サービスを提供できている。隣接す

る対照的なこれら 2 つの地域を対象とし、研究を進める。

また、対象とする疾病は 1996 年から 2008 年までの日本全国において疾病患者数の多かった呼吸器系、循環器系、消化器系、筋骨格系の 4 疾病とする。

2.2 アプローチ

患者と病院までのアクセシビリティに着目し、対象地域において患者の移動のし易さを考慮するため、患者の病院までの総移動距離を最小とすることを目的とした 2 種類の新規病院配置モデルを提案する。

最初に単科病院配置モデルを考える。各疾病において供給不足である地域を明らかにするために、各疾病のいずれかに対応し十分な容量を持った新規の単科病院を 1 棟配置する。この結果から、新規病院の配置される場所は、現状その疾病に対応した病床数が足りていない地域であることがわかる。また、患者の移動距離の計算には、病院や需要点の緯度経度を平面直角座標に変換し、ユークリッド距離を求めて用いる。

次に総合病院配置モデルを考える。このモデルでは、疾病によらずすべての患者が一定の距離以内で病院にアクセスできるようにするためには、新規総合病院を何棟置くことが必要になるか指標を求める。そこで、距離の閾値を設けたうえで、4 疾病全てを扱う新規の総合病院を複数棟配置する。さらに得られた結果から各地域に配置された新規病院の規模を算出し、配置された新規病院の病床数を考察する。

計算に用いるデータはそれぞれ以下のように準備する。供給は、1ヶ月間における各病院の入院治療を行った疾病患者数とする。対象となる二次医療圏内における各病院の疾病別月平均患者数を、その病院における疾病毎の供給量(病床数)とみなす。必要なデータは病院情報局 [1] から入手した。病院情報局が掲載している病院は、DPC(急性期入院医療の包括評価)制度参加病院であり、主要な病院の情報はほぼすべてここで収集できる。

需要は、需要点毎の 1ヶ月間の疾病患者数とする。単科病院配置モデルでは、町丁目の代表点を需要点とし、需要点の人口には平成 17 年国勢調査で報告されている町丁目別人口を用いる。総合病院配置モデルでは、3 次メッシュの中心点を需要点とし、需要点の人口には平成 17 年国勢調査で報告されている 3 次メッシュの人口データを用いる。また、需要点の疾病別患者数には厚生労働省が公開している平成 20 年患者調査で報告されている疾病別患者数を用いる。医療圏内の需要点における疾病率は同じであると仮定し、1ヶ月間における各需要点の疾病別患者数を以下の式に従って算出する。

$$\text{医療圏内人口比率} = \left(\frac{\text{需要点の人口}}{\text{対象の二次医療圏全体の人口}} \right)$$

$$\text{各需要点の疾病患者数} = (\text{医療圏内人口比率}) \times (\text{1ヶ月間の医療圏内の疾病患者数})$$

なお、モデルの計算には LINGO¹および IBM ILOG CPLEX Optimization Studio² 12.4 を使用した。

3 単科病院配置モデル

3.1 モデルの概要

単科病院配置モデルでは既存病院の供給力不足を解消するために、各疾病のいずれかに対応し十分な容量を持った新規の単科病院を1棟配置する。この結果より各疾病において、新規病院の配置される場所は、既存病院においてその疾病に対応した病床数が足りていない地域であることがわかる。

3.2 記号の定義

モデルで使用した記号の定義を示す。既存病院や需要点の座標は取得した緯度経度を平面直角座標に変換して使用した。

[集合]

I : 既存病院の集合

J : 需要点の集合

[定数]

(s_i, t_i) : 既存病院 $i \in I$ の座標

(a_j, b_j) : 需要点 $j \in J$ の座標

c_i : 既存病院 $i \in I$ の病床数

w_j : 点 $j \in J$ の患者数

$$n_j = \begin{cases} 1: & \text{点 } j \in J \text{ の患者数が } 0 \text{ のとき} \\ 0: & \text{上記以外} \end{cases}$$

[決定変数]

X_{ij} : 需要点 $j \in J$ の患者のうち既存病院 $i \in I$ に割り当てられる患者の割合

Y_j : 需要点 $j \in J$ の患者のうち新規病院に割り当てられる患者の割合

(p, q) : 新規病院の座標

3.3 定式化

上記の記号を用いて定式化する。

$$\min. \sum_{j \in J} w_j \left(\sum_{i \in I} X_{ij} \sqrt{(a_j - s_i)^2 + (b_j - t_i)^2} + Y_j \sqrt{(a_j - p)^2 + (b_j - q)^2} \right) \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j \in J} w_j X_{ij} \leq c_i \quad (i \in I) \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij} + Y_j = 1 \quad (j \in J) \quad (3)$$

$$0 \leq X_{ij} \leq 1 \quad (i \in I, j \in J) \quad (4)$$

$$0 \leq Y_j \leq 1 \quad (j \in J) \quad (5)$$

目的 (1) は患者と病院とのユークリッド距離の総和の最小化である。制約条件 (2) は既存病院の容量制約であり、

制約条件 (3) は各需要点の患者全員が必ずどこかの病院に割り当てられることを示している。制約条件 (4) と (5) は各需要点に割り当てる患者の割合に関する制約である。

3.4 計算結果

図1, 2は県央と湘南西部のそれぞれに対して計算を実行した結果である。図中の印は既存病院、×印は疾病毎の新規病院の最適配置を示している。黒色で塗られている地域は人口が0の地域である。

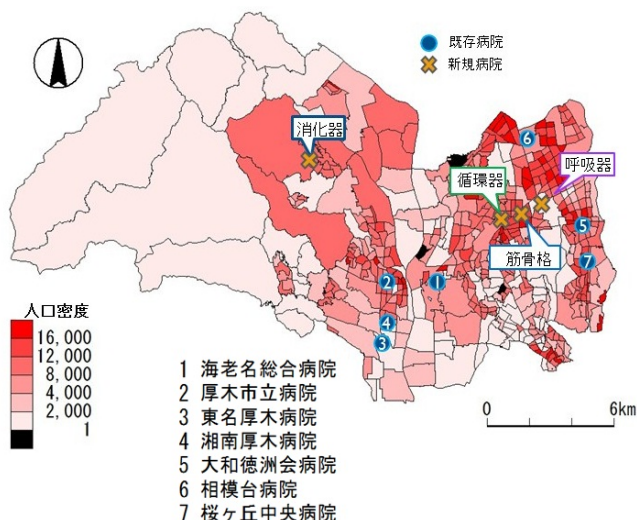


図1 単科病院配置モデル計算結果 (県央)

県央を対象に解いた結果を図1に示す。呼吸器系、循環器系、筋骨格系の3疾病にそれぞれ対応した新規病院がほぼ1ヶ所に集中し、消化器系の新規病院は離れた場所に配置する結果となった。

ここで各疾病において、患者数に対して既存病院の病床数だけでどれだけを供給できているかを示すものとして需給バランスを、

$$\text{需給バランス (\%)} = \left(\frac{\text{既存病院の病床数の総和}}{\text{患者数}} \right) \times 100$$

と定義して計算すると表1のようになる。需給バランスは数値が100%以下のときは供給不足を、数値が100%以上のときは供給過多を表している。

表1を見ると、需給バランスが50%前後である呼吸器系、循環器系、筋骨格系の新規病院は、周辺に小規模の病院しかないため人口が多く密集している地域の供給不足を補うために配置されている。それに対して消化器系は需給バランスが97%で供給力に比較的余裕があるため、周辺に病院のない地域に新規病院が配置される結果となった。

表1 需給バランス (県央)

	呼吸器	循環器	消化器	筋骨格
総病床数 (床)	323.6	255.9	680.6	85.3
総患者数 (人)	500	800	700	200
需給バランス	65 %	32 %	97 %	43 %

次に、湘南西部を対象に解いた結果を図2に示す。

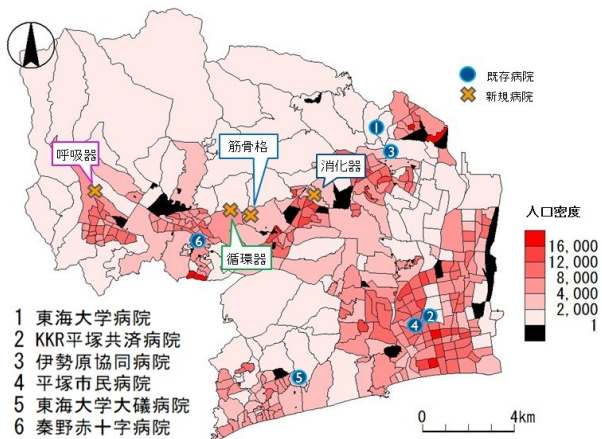


図 2 単科病院配置モデルの計算結果 (湘南西部)

循環器系は需給バランスが 75% であるため、特に循環器系の病床数の少ない秦野赤十字病院の供給を補う位置に新規病院が配置されている。他の 3 疾病に関しては需給バランスが 100% を超えていて既存病院だけで需要に対し十分な供給ができています。しかし、目的が患者の総移動距離の最小化であるため、より多くの患者の移動距離を短くするために各疾病の新規病院は配置された。呼吸器系と循環器系の新規病院は、他の既存病院と比較して各疾病の供給力の弱い秦野赤十字病院の周辺に配置された。また、消化器系の新規病院は人口が密集し周辺に病院がない地域に配置された。

表 2 需給バランス (湘南西部)

	呼吸器	循環器	消化器	筋骨格
総病床数 (床)	689.6	450.1	1076	226.3
総患者数 (人)	300	600	500	200
需給バランス	230 %	75 %	215 %	113 %

4 総合病院配置モデル

4.1 モデルの概要

すべての患者が一定の距離以内で病院にアクセスできるようにするためには、どの規模の新規病院を何棟置くことが必要になるか指標を求める。そこで、距離の閾値を設けたうえで、4 疾病全てを扱う新規の総合病院を複数配置する。さらに、各地域に配置された新規病院に割り当てられた患者数を計算して、どの既存病院と同じ規模であるか考察する。

4.2 記号の定義

モデルで使用した記号の定義を示す。距離の計算は代表点の緯度経度を平面直角座標に変換してユークリッド距離で求めた。

[集合]

- H : 候補点の集合
- I : 既存病院の集合
- J : 需要点の集合
- K : 疾病の集合

[定数]

- c_{ik} : 既存病院 $i \in I$ の疾病 $k \in K$ における病床数
- w_{jk} : 点 $j \in J$ の疾病 $k \in K$ における患者数
- d_{ij} : 点 $j \in J$ の患者と既存病院 $i \in I$ との距離
- d'_{hj} : 点 $j \in J$ の患者と新規病院 $h \in H$ との距離
- α : 患者と病院との距離の閾値
- p : 配置可能な新規病院数

$$n_j = \begin{cases} 1: & \text{点 } j \in J \text{ の患者数が } 0 \text{ のとき} \\ 0: & \text{上記以外} \end{cases}$$

[決定変数]

X_{ijk} : 需要点 $j \in J$ における疾病 $k \in K$ の患者のうち既存病院 $i \in I$ に割り当てられる患者の割合

Y_{hjk} : 需要点 $j \in J$ における疾病 $k \in K$ の患者のうち新規病院 $h \in H$ に割り当てられる患者の割合

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1: & \text{点 } j \in J \text{ を既存病院 } i \in I \text{ に割り当てる} \\ 0: & \text{上記以外} \end{cases}$$

$$Z'_{hj} = \begin{cases} 1: & \text{点 } j \in J \text{ を新規病院 } h \in H \text{ に割り当てる} \\ 0: & \text{上記以外} \end{cases}$$

4.3 定式化

上記の記号を用いて定式化する。

$$\min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{ij} w_{jk} X_{ijk} + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d'_{hj} w_{jk} Y_{hjk} \quad (6)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in J} w_{jk} X_{ijk} \leq c_{ik} \quad (i \in I, k \in K) \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ijk} + \sum_{h \in H} Y_{hjk} + n_j = 1 \quad (j \in J, k \in K) \quad (8)$$

$$(1 - n_j) d_{ij} Z_{ij} \leq \alpha \quad (i \in I, j \in J) \quad (9)$$

$$(1 - n_j) d'_{hj} Z'_{hj} \leq \alpha \quad (h \in H, j \in J) \quad (10)$$

$$\sum_{h \in H} Z'_{hh} \leq p \quad (11)$$

$$X_{ijk} \leq Z_{ij} \quad (i \in I, j \in J, k \in K) \quad (12)$$

$$Y_{hjk} \leq Z'_{hj} \quad (h \in H, j \in J, k \in K) \quad (13)$$

$$0 \leq X_{ijk} \leq 1 \quad (i \in I, j \in J, k \in K) \quad (14)$$

$$0 \leq Y_{hjk} \leq 1 \quad (h \in H, j \in J, k \in K) \quad (15)$$

$$Z_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J) \quad (16)$$

$$Z'_{hj} \in \{0, 1\} \quad (h \in H, j \in J) \quad (17)$$

目的 (6) は患者の総移動距離の最小化である。制約条件 (7) は各既存病院の容量制約であり、制約条件 (8) は各需要点の患者全員を必ずいずれかの病院に割り当てる制約である。制約条件 (9) と (10) は、患者と割り当てられる病院との距離が α km 以下であることを示しており、制

約条件 (11) は新規総合病院を p 棟まで置くことができることを示している．制約条件 (12) と (13) は病院を配置しなければ患者を割り当てることのできないことを表している．制約条件 (14) と (15) は各需要点の患者の割合に関する制約である．各需要点に割り当てられる病院は 1 つではないため，病院に割り当てられた際各需要点の患者の割合は 0 から 1 までの数値を示す．制約条件 (16) と (17) は変数のバイナリ制約である．

4.4 計算結果

図 3, 4 は県央と湘南西部のそれぞれに対して距離の閾値を 5km にして計算を実行した結果である．青色の印は既存病院を，黄色の印は新規病院を示している．地図は，メッシュごとの人口密度によって色分けされている．灰色で塗られている地域は人口が 0 の地域である．

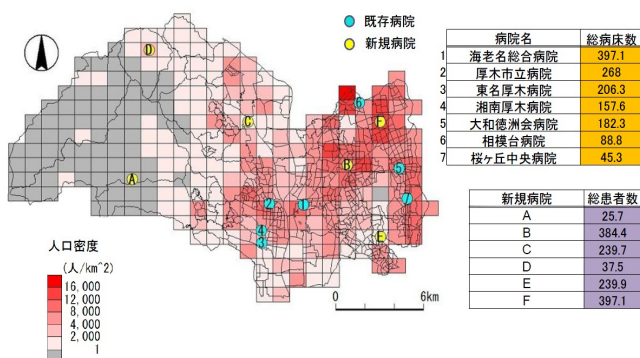


図 3 総合病院配置モデルの計算結果 (県央)

図 3 は県央における計算結果である．閾値を 5km とすると， $p \leq 5$ では実行不可能であった．すなわち，すべての患者を居所から 5km 以内の病院に割り当てるためには，最低 6 棟の新規病院が必要である．

新規病院は人口が多い地域か周囲に病院がない地域に配置されている．東部は人口が多い地域であり，供給不足を補うために新規病院 B, E, F が配置されている．周辺の大和徳洲会病院，相模台病院，桜ヶ丘中央病院を見ても，他の病院に比べて多くの患者が割り当てられる結果となった．

一方，西部は山間部であり，人口が極めて少ない地域である．この地域に住む患者が利用する病院として新規病院 A や D が配置されている．特に新規病院 A は，人口の少ない地域の患者のために，まったく人が住んでいない場所に配置される結果となった．

新規病院の規模を考察する．配置される新規病院は 6 棟であり，図 3 の新規病院の総患者数を必要な病床数として見ると，新規病院 B と F が海老名総合病院と，新規病院 C と E が厚木私立病院と，新規病院 A と D が桜ヶ丘中央病院と同規模であると言える．

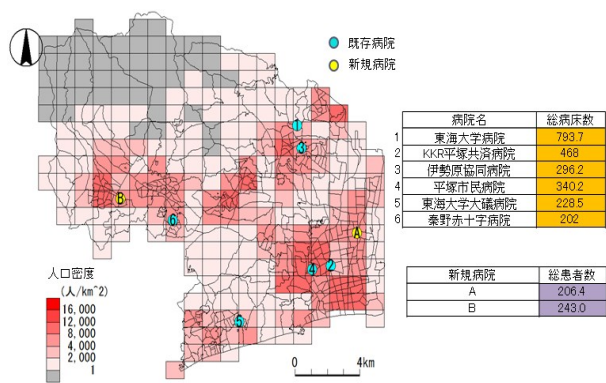


図 4 総合病院配置モデルの計算結果 (湘南西部)

図 4 は湘南西部における結果である．閾値を 5km とすると， $p \leq 1$ では実行不可能であった．すなわち，すべての患者を居所から 5km 以内の病院に割り当てるためには，最低 2 棟の新規病院が必要である．

新規病院は，人口が多く既存病院の供給が不足している地域に配置された．新規病院の規模を考察する．配置される新規病院は 2 棟であり，図 4 の新規病院の総患者数を必要な病床数として見ると，新規病院 B が伊勢原協同病院と，新規病院 A が秦野赤十字病院と同規模であると言える．

5 おわりに

本研究では対象の二次医療圏においてすべての患者が一定の距離以内で病院にアクセスできるようにするための指標を得るために病院の最適配置を行った．病院の新規建設は，建設コストや土地などの問題から簡単には実現することができない．しかし，計算により結果を示すことで現状の需給バランスの偏りや，新規病院を配置するうえでの 1 つの指標として見ていくことができる．

参考文献

- [1] 病院情報局：http://hospia.jp/
- [2] M.S. Daskin and L.K. Dean: Location of health care facilities . In M.L. Brandeau, F. Sainfort, W.P. Pierskalla (eds.): *Operations Research and Health Care: A Handbook of Methods and Applications* (Kluwer Academic Publishers, Massachusetts, USA, 2005), pp. 43-76.
- [3] 石川ベンジャミン光一：地域性から見た病院の評価. 藤森研司, 伏見清秀編「医療の質向上に迫る DPC データの臨床指標・病院指標への活用」, (じほう, 東京, 2011), 28-35.
- [4] 鶴飼孝盛：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, 54(2009), 414-418.

¹LINGO は LINDO System Inc. の登録商標である．

²IBM ILOG CPLEX Optimization Studio は IBM Coporation の登録商標である．