

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[†]

原 雅典^a 佐々木 美裕^b 井上 茂亮^c

概要

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。そのために、ここ数年で患者数の多かった呼吸器、循環器、消化器、筋骨格系の4疾病を対象に、既存病院間において生じている患者数のアンバランスを視覚化し、それぞれの入院患者数(需要)と対応する診療科の病床数(供給)を考慮した2つの新規病院配置モデル(単科病院配置モデル、総合病院配置モデル)を提案する。はじめに、患者は最近隣の病院を選択すると仮定して、患者を既存病院へ割り当て、各病院に割り当てられた患者数から既存病院間で生じた患者数の偏りを明らかにする。次に、提案する2つのモデルを用いて、現状の需給バランスを解消する指標を求める。単科病院配置モデルでは、既存の総合病院だけでは供給が不十分である疾病に対する診療科を持つ単科病院の最適配置を求める。総合病院配置モデルでは、前述の4つの疾病に対応する診療科をすべて有する標準的な規模の総合病院の最適配置を求める。

1 はじめに

日本は戦後から公衆衛生水準の向上や医学技術の進歩などにより、すべての年齢層で死亡率が低下してきた。それにより、現在の日本は、世界最高水準の平均寿命を有している。実際、1984年に男女共に世界一を記録して以降、2010年まで女性は1位、男性も上位を維持している。平均寿命が伸びたことや近年における出産数の減少により、日本は他に例を見ない高齢社会となった。戦後に起きた第1次ベビーブームの世代が高齢となり、今後もしばらく高齢者の増加が続くと言われている。日本の高齢社会化は、疾病構造の変化に大きく影響を与えている。疾病構造とは、国民全体の中での疾病の種類と量的な存在の関係のことであり、ある時点でどの疾病にどれだけの人がかかっているのか、そしてそれがどのような傾向にあるかを示すものである。高齢者と若い世代の間では罹患する疾病の種類も異なるため、高齢者が増えた今、数十年前では患者数の少なかった疾病による患者が増加してきている。では、疾病構造の変化は具体的にはどのような問題を引き起こすのだろうか。

神奈川県にある東海大学病院の医師によると、疾病構造の変化により、場合によっては需要と供給との間に大きな差が出ているケースが存在するようである。実際に、既存病院が疾病構造の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、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。神奈川県の保健医療計画書においても、県民が身近な医療機関で安心して医療が受けられるように診療を支援するとともに、症状に応じて適切な医療を提供することのできる病院が求められることが課題として挙げられている。

[†]本研究は、2012年度南山大学パッヘ研究奨励金 I-A-1 の助成を受けた。

^a南山大学大学院 数理情報研究科

^b南山大学 情報理工学部

^c東海大学創造科学機構研究機構医学部門、東海大学医学部外科学系 救命救急医学

先行研究では、医療体制の見直しを対象に行われたものがいくつか存在する。Daskin と Dean[2] は医療施設の最適配置を、カバリングモデルや p メディアンモデルなど複数の観点から取り上げた。鶴飼 [5] 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, 4] 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や、DPC(急性期入院医療の包括評価制度) を利用した医療施設までのアクセシビリティの可視化を行っている。しかし、患者を疾病毎に分けて考えたり、診療科毎の病院の容量を見た最適化に関する研究はほとんど行われていない。

本研究では、病院の容量を診療科ごとに、患者数を疾病ごとに考慮し、患者数と病床数の需給バランスを見直す。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求める。

2 研究の概要

2.1 研究対象

本研究では、神奈川県を医療圏を対象に行う。医療圏とは、それぞれ表 1 のように 3 つに規定される。入院患者を対象に研究を行うため、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。神奈川県の二次医療圏は全部で 11 圏域存在するが (図 1 参照)、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。県央は、人口が多いものの大規模な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、湘南西部には、東海大学病院をはじめ、規模の大きい病院が複数存在するため、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、対象とする疾病も絞る。図 2 は 1996 年から 2008 年までの日本全国における疾病患者数の推移である。縦軸は患者数を示しており、循環器、呼吸器、消化器、筋骨格系の患者が減少傾向ではあるが、他の疾病に比べて倍近く多いことが分かる。よって呼吸器系、循環器系、消化器系、筋骨格系の 4 疾病を対象とする。各疾病の主な症状は、循環器系は主に高血圧性疾患や心疾患などであり、呼吸器系は主に肺炎や急性気管支炎、喘息の病気である。また、消化器系は主に胃潰瘍や十二指腸潰瘍などであり、筋骨格系は主に、関節症や骨の密度の病気がそれぞれ代表例として挙げられる。

表 1: 各医療圏の範囲と内容

医療圏	範囲	内容
一次医療圏	市町村	住民の日常生活に密着した医療、保健、福祉サービスを提供する区域
二次医療圏	都道府県内のエリア	入院治療を主体とした一般の医療需要に対応するために設定する区域
三次医療圏	都道府県全域	上の 2 つ以外の特異な医療需要に対応し、より広域なサービスを提供する区域

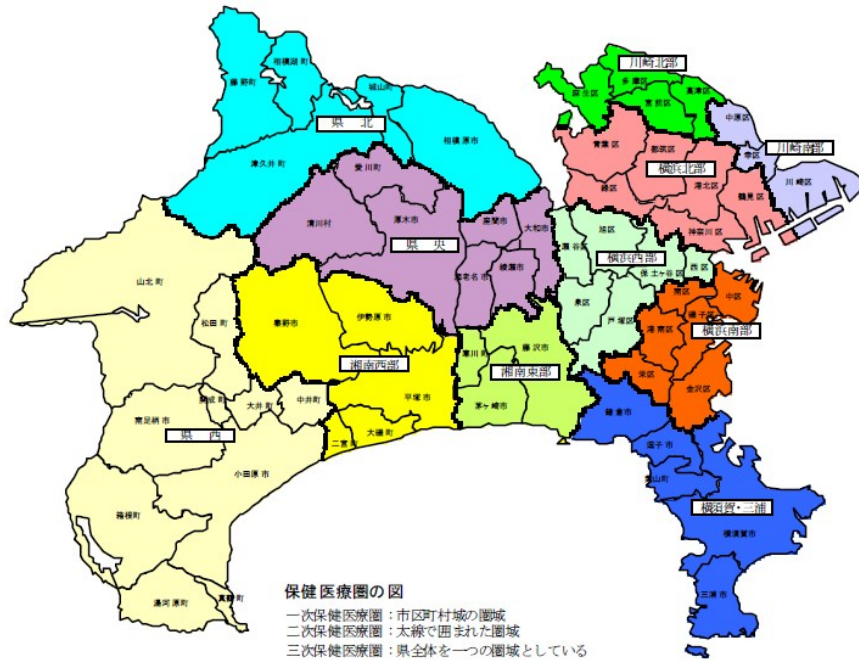


図 1: 二次医療圏図 (神奈川県)

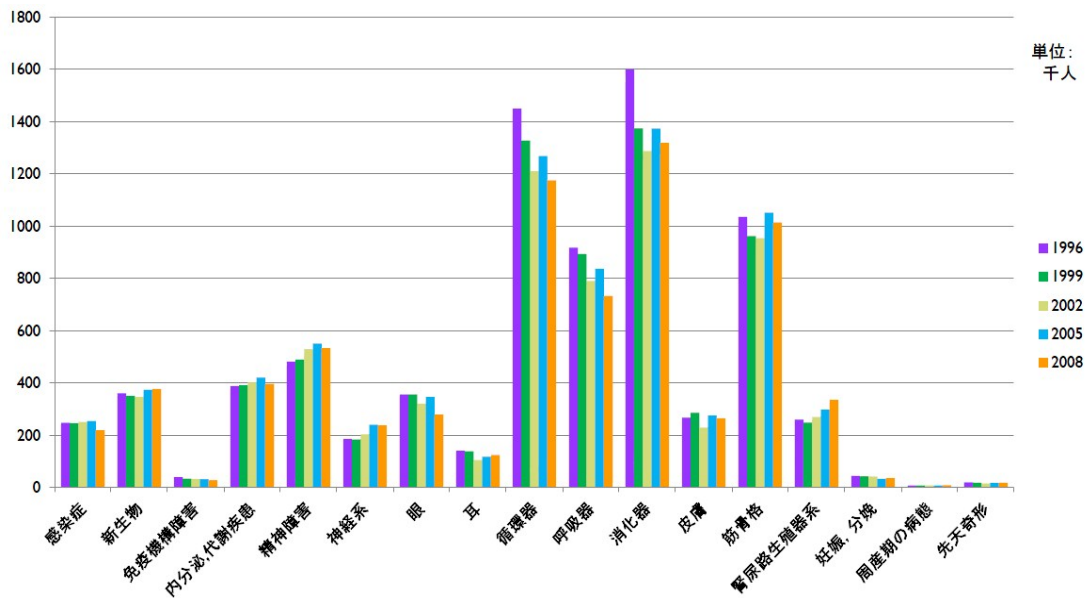


図 2: 日本全国における疾病患者数の推移図 (1996年-2008年)

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。移動距離の計算には、ユークリッド距離を用いる。

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。

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(病床数)には、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入院患者数を用いる。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。表2と表3は、各病院の規模と平成20年における疾病ごとの月平均入院患者数をまとめたものである。

需要は、需要点ごとの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た。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1ヶ月間におけ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。

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

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

この計算によって得られた1ヶ月における医療圏内の疾病患者数を表4にまとめた。

次節以降で説明する計算に用いたPCは、Intel Core i7 * 860 @ 2.80GHz 搭載で、OSは、Windows 7[†] Home Premium, メモリは4GBである。最適化計算にはLINGO[‡] およびILOG CPLEX Optimization Studio[§] 12.4を使用した。

*Intel Core i7 は Intel Corporation および子会社の米国およびその他の国における登録商標である。

[†]Windows 7 は米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標である。

[‡]LINGO は LINDO System Inc. の登録商標である。

[§]ILOG CPLEX Optimization Studio は IBM Corporation の登録商標である。

表 2: 病院情報局に登録されている病院一覧 (県央)

	病院名	病院の規模			疾病別月平均入院患者数 (人)			
		総病床	医師数	看護師数	呼吸器	循環器	消化器	筋骨格
1	海老名総合病院	469.0	80.0	284.0	119.2	101.2	166.2	10.5
2	厚木市立病院	356.0	64.0	257.0	70.8	22.7	130.5	44.0
3	東名厚木病院	267.0	30.0	182.0	52.3	30.7	111.3	12.0
4	湘南厚木病院	253.0	25.0	92.0	24.3	60.0	69.3	4.0
5	大和徳洲会病院	199.0	30.0	84.0	30.8	37.3	110.5	3.7
6	相模台病院	381.0	34.0	144.0	20.7	4.0	60.3	3.8
7	桜ヶ丘中央病院	171.0	-	-	5.5	0.0	32.5	7.3

表 3: 病院情報局に登録されている病院一覧 (湘南西部)

	病院名	病院の規模			疾病別月平均入院患者数 (人)			
		総病床	医師数	看護師数	呼吸器	循環器	消化器	筋骨格
1	東海大学病院	804.0	449.0	945.0	240.7	147.0	342.0	64.0
2	KKR 平塚共済病院	489.0	95.0	378.0	157.2	110.3	165.0	35.5
3	伊勢原協同病院	413.0	69.0	264.0	76.7	32.8	136.2	50.5
4	平塚市民病院	416.0	104.0	325.0	65.2	91.7	163.0	20.3
5	東海大学大磯病院	358.0	66.0	280.0	55.3	29.0	115.7	28.5
6	秦野赤十字病院	320.0	44.0	203.0	35.0	33.0	113.7	20.3

表 4: 県央と湘南西部における1ヶ月の疾病患者数 (人)

	呼吸器系	循環器系	消化器系	呼吸器系
県央	500	800	700	200
湘南西部	300	600	500	200

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. 新規病院は対象の圏域内のどこにでも配置可能である.

[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 : 需要点 $j \in J$ の患者数

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

[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

前節で定義した記号を用いると, 単科病院配置モデルは次のように定式化できる.

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

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

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

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

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

目的 (1) は患者と病院の総移動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 需要と供給のデータについて

使用する需要と供給のデータを表5にまとめた。町丁目の代表点を需要点としているので、需要点数は町丁目数に等しい。供給点数(既存病院数)は県央が7、湘南西部が6である。

表5: 単科病院配置モデルで使用したデータ

	需要		供給	
	町丁目数	患者数	既存病院数	病床数
湘南西部	527	需要点毎の	7	1ヶ月間における各病院の
県央	434	1ヶ月間の疾病患者数	6	入院治療を行った疾病患者数

3.5 計算結果

図3, 4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。

ここで、配置された新規病院の位置を考察するためにさらに2つの指標を求めた。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の割合を供給できているかを示すものとして需給バランスを定義し、

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

として計算した結果を表6, 7にまとめた。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6: 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 %

表7: 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 %

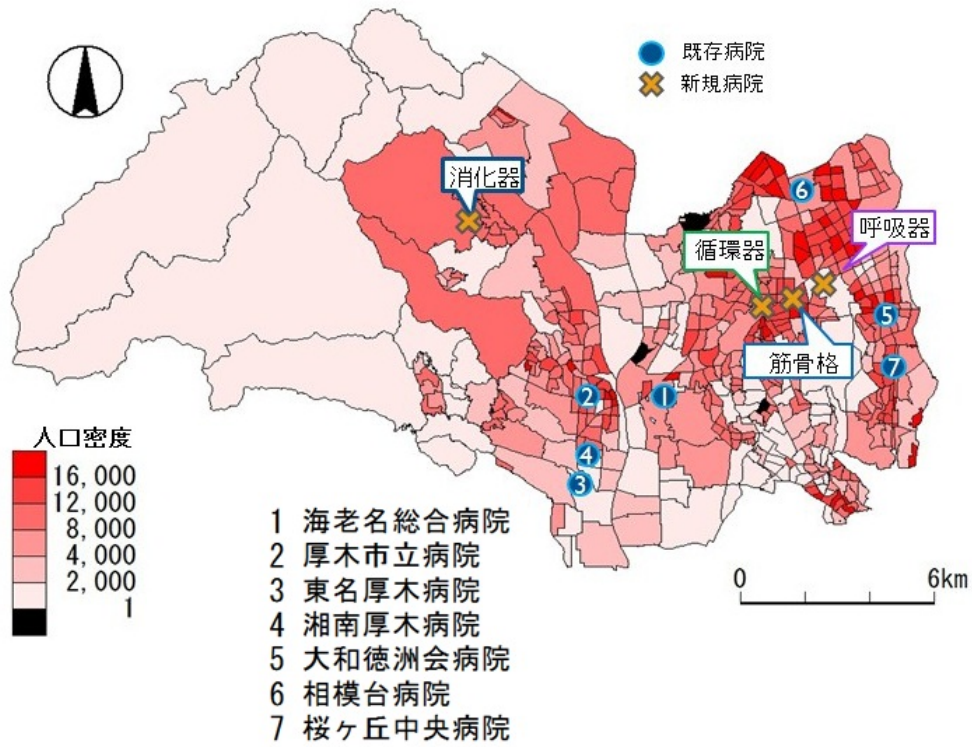


図 3: 単科病院配置モデル計算結果 (県央)

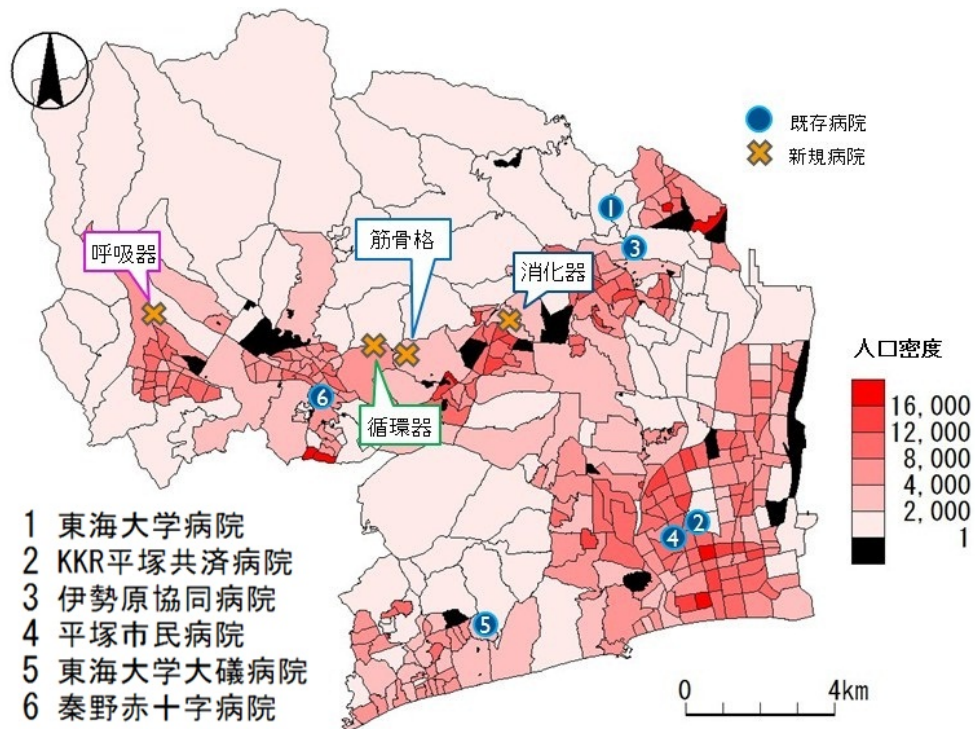


図 4: 単科病院配置モデルの計算結果 (湘南西部)

同様に、病院ごとと疾病ごとの需給バランスを以下の計算に従って求めた。ここで、 d_{ij} は需要点 $j \in J$ の患者と既存病院 $i \in I$ との距離を表し、 w_{jk} は需要点 $j \in J$ における疾病 $k \in K$ の患者数を表す。疾病とは、前述の呼吸器系、循環器系、消化器系、筋骨格系を表す。

Step1. $j^i = \operatorname{argmin}_{i \in I} d_{ij} (j \in J)$ を求める。

Step2. $x_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j^i \text{ のとき} \\ 0 & \text{上記以外} \end{cases} (i \in I, j \in J)$ を求める。

Step3. 病院 $i \in I$ に割り当てられる疾病 $k \in K$ の患者数

$$\sum_{j \in J} w_{jk} x_{ij} \tag{6}$$

を求める。

これは、患者が常に最近隣の病院で入院すると仮定した場合の各病院に割り当てられる疾病ごとの患者数を表している。病院ごとと疾病ごとに、ここで求めた値に対する病床数の割合（需給バランス）を図5と図6にまとめた。

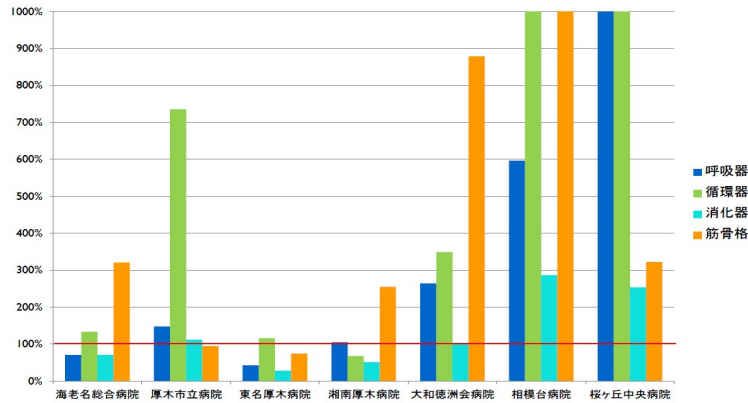


図 5: 病院ごとの需給バランス (県央)

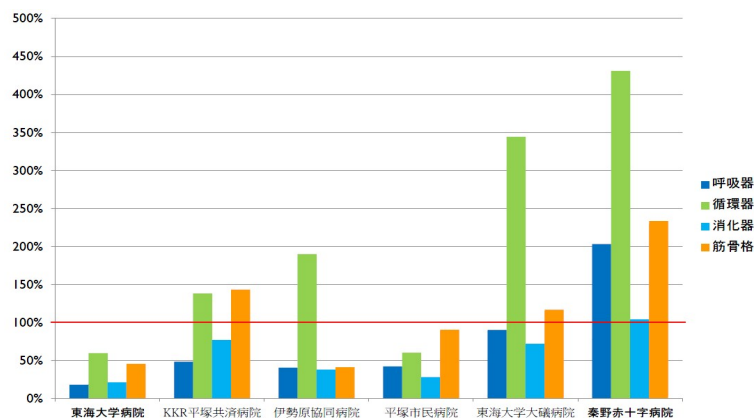


図 6: 病院ごとの需給バランス (湘南西部)

表 6,7, および, 図 5, 6 を参考に, 図 3, 4 に示した単科病院の最適配置について考察する.

県央では, 呼吸器, 循環器, 筋骨格の新規病院は1ヶ所に, 消化器の新規病院は離れた位置に配置される結果となった. ここで表 6 を見ると, 呼吸器, 循環器, 筋骨格の3疾病は需給バランスが50%前後である. つまり, 既存病院だけでは需要に対して半分ほどしか供給ができていない. 図 5 を見ると, 特に大和徳州会病院, 相模台病院, 桜ヶ丘中央病院にこの3疾病の患者が多く集まっている. そのため, 呼吸器, 循環器, 筋骨格の3疾病に対する新規病院は, 特に供給不足とされる大和徳州会病院, 相模台病院, 桜ヶ丘中央病院の供給を補うために, この3病院の周辺に配置された. それに対して, 消化器系は表 6 より需給バランスが97%と, 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.

湘南西部では, 循環器は表 7 より, 需給バランスが75%である. 図 6 を見ると, 秦野赤十字病院に循環器系の患者が集まっている. そのため, 新規病院は, 秦野赤十字病院の供給不足を補う位置に配置されている. 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と考えられる. 図 6 から, 秦野赤十字病院は循環器の他に呼吸器や筋骨格の患者も病床数以上に集まっているため, この2疾病の新規病院も秦野赤十字病院の供給不足を補う位置に配置されている. 消化器は表 7 より, どの病院も十分に供給できているため, 人口が密集し周辺に病院がない地域に配置された.

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. 距離計算には, ユークリッド距離を用いる.

[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} : 需要点 $j \in J$ の疾病 $k \in K$ における患者数

d_{ij} : 需要点 $j \in J$ と病院 $i \in I \cup H$ 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

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

[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 ($0 \leq x_{ijk} \leq 1$)

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 ($0 \leq y_{hjk} \leq 1$)

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

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

4.3 定式化

上記の記号を用いて、総合病院配置モデルを定式化する。

$$\min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{ij} w_{jk} x_{ijk} + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{hj} w_{jk} y_{hjk} \quad (7)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j \in J} w_{jk} x_{ijk} \leq c_{ik} \quad (i \in I, k \in K) \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} + \sum_{h \in H} y_{hjk} + n_j = 1 \quad (j \in J, k \in K) \quad (9)$$

$$(1 - n_j) d_{ij} z_{ij} \leq \alpha \quad (i \in I, j \in J) \quad (10)$$

$$(1 - n_j) d_{hj} z'_{hj} \leq \alpha \quad (h \in H, j \in J) \quad (11)$$

$$\sum_{h \in H} z'_{hj} \leq p \quad (12)$$

$$x_{ijk} \leq z_{ij} \quad (i \in I, j \in J, k \in K) \quad (13)$$

$$y_{hjk} \leq z'_{hj} \quad (h \in H, j \in J, k \in K) \quad (14)$$

$$0 \leq x_{ijk} \leq 1 \quad (i \in I, j \in J, k \in K) \quad (15)$$

$$0 \leq y_{hjk} \leq 1 \quad (h \in H, j \in J, k \in K) \quad (16)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J) \quad (17)$$

$$z'_{hj} \in \{0, 1\} \quad (h \in H, j \in J) \quad (18)$$

目的 (7) は患者の総移動距離の最小化である。制約条件 (8) は既存病院の容量制約であり、制約条件 (9) は各需要点の患者全員を必ずどこかの病院に割り当てる制約である。制約条件 (10) と (11) は、患者と割り当てられる病院との距離が α km 以内であることを示しており、制約条

件 (12) 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 (13) と (14) は病院を配置しなければ患者を割り当てることができないことを表している。制約条件 (15), (16) 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 棟とは限らないため、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 (17) と (18) は変数のバイナリ制約である。

4.4 需要と供給のデータについて

表 8 は、このモデルの計算に用いた需要と供給のデータをまとめたものである。総合病院配置モデルでは第 3 次メッシュデータを用いて計算を行った。メッシュとは緯度・経度に基づいて地域をほぼ同じ大きさの網の目に分けたものであり、第 3 次メッシュでは 1 辺の長さは約 1km である。このモデルでは患者と病院との距離を考えるため、距離の閾値を導入する。

表 8: 総合病院配置モデルで使ったデータ

	需要		制約
	需要点数	患者数	距離の閾値 (α)
県央	292	需要点毎の 1ヶ月間の 1ヶ月間の疾病患者数	5km
湘南西部	259		

	供給		
	既存病院数	病床数	配置可能な最小の 新規病院数 (p)
県央	7	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	6
湘南西部	6		2

4.5 計算結果

図 7, 8 は県央と湘南西部の計算結果である。県央には、A~F の 6 つの新規病院が配置され、湘南西部には、A, B の 2 つの新規病院が配置される結果となった。表 9 と表 10 は県央と湘南西部における距離の閾値と配置可能な新規施設数、目的関数値である患者の総移動距離、目的関数値を患者で割った患者 1 人当たりの平均移動距離がそれぞれまとめてある。

図 7 は県央における計算結果である。閾値を 5km とすると、 p の値は 5 以下では実行不可能だった。よって最小となる新規施設数は 6 である。

新規病院は大きく分けて 2 つ、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。周辺の大和徳州会病院, 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。

配置された新規病院の規模を考察する。各病院における対象の 4 疾病の病床数の総和、つまり実際に入院治療を行った疾病患者数をまとめたものが表 11 である。また、モデルの最適解に

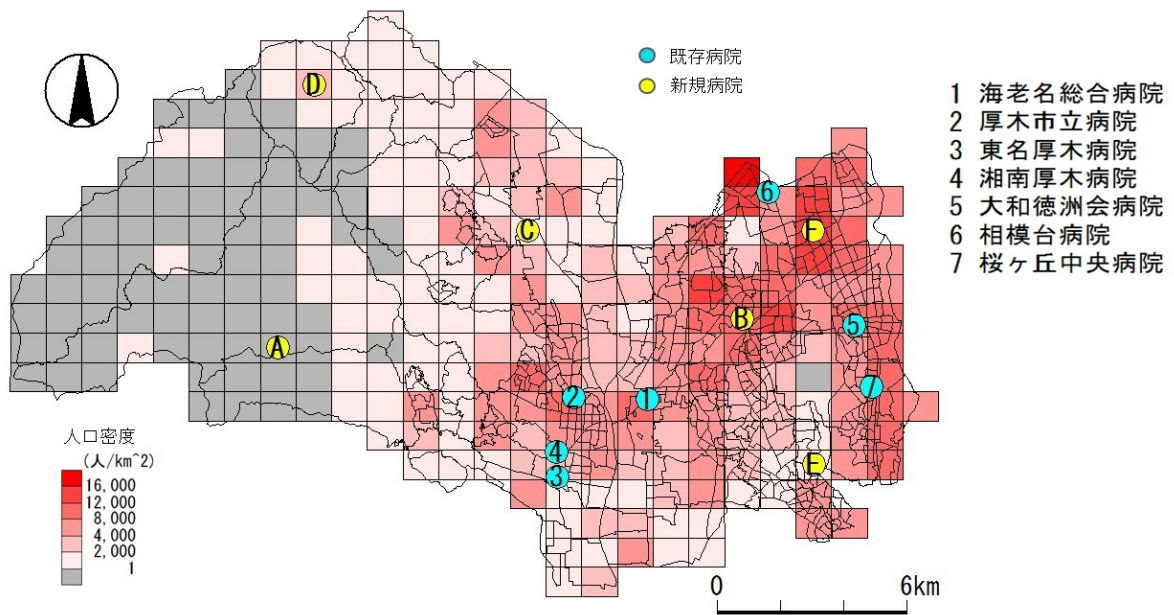


図 7: 総合病院配置モデルの計算結果 (県央)

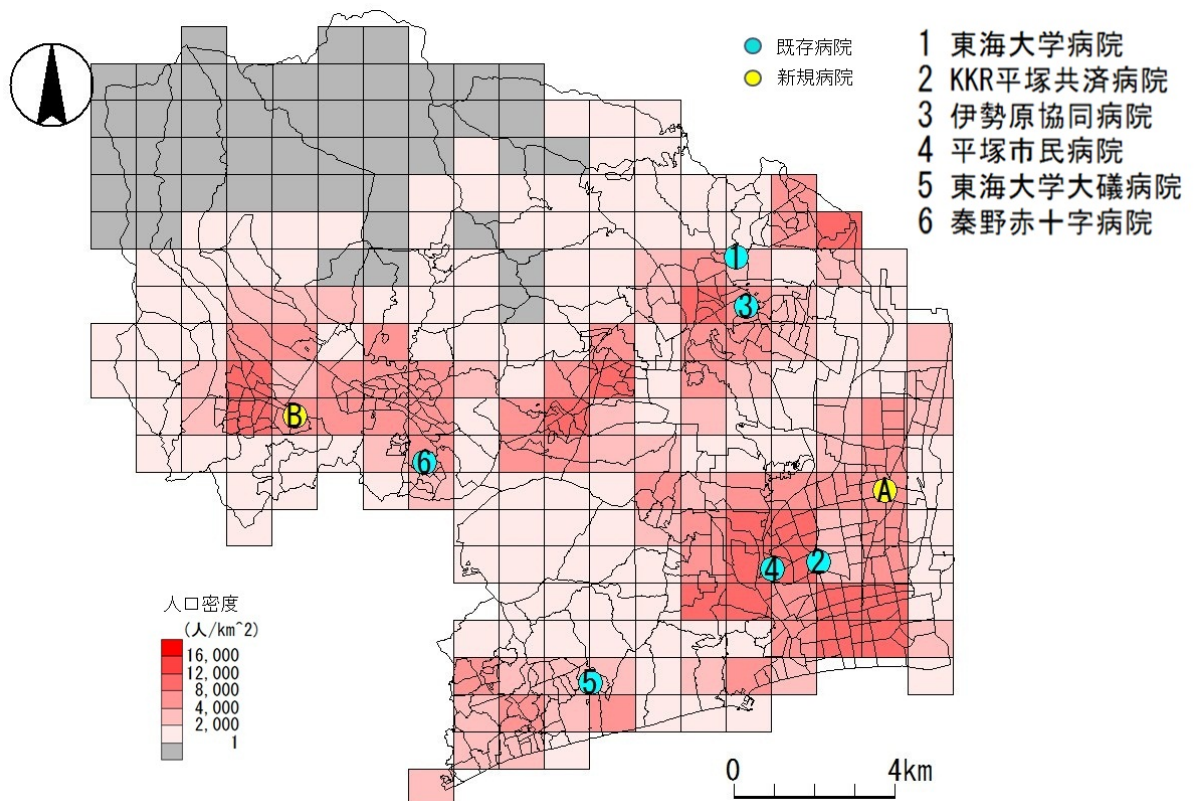


図 8: 総合病院配置モデルの計算結果 (湘南西部)

表 9: 距離の閾値と最小の配置可能な新規病院の数の結果 (県央)

距離の閾値 (km)	新規病院数	総移動距離 (km)	患者一人当たりの平均移動距離 (km)
5	6	3922	1.78
4	7	3890	1.77
3	12	3139	1.43
2	26	2136	0.97
1	79	1155	0.53

表 10: 距離の閾値と最小の配置可能な新規病院の数の結果 (湘南西部)

距離の閾値 (km)	新規病院数	総移動距離 (km)	患者一人当たりの平均移動距離 (km)
5	2	1440	0.90
4	2	1382	0.86
3	3	1360	0.85
2	5	837	0.52
1	14	357	0.22

において、新規病院に割り当てられた患者数についてまとめたものが表 12 である。この 2 つの表の患者数を比較すると、海老名総合病院と厚木市立病院、桜ヶ丘中央病院とほぼ同等の患者が新規病院に割り当てられていることがわかる。よって、この 3 病院を 2 棟ずつ配置することで、疾病によらずすべての患者が 5km 以内で病院にアクセスできる。

表 11: 入院治療を行った疾病患者数 (県央)

病院名	総病床数
海老名総合病院	397.1
厚木市立病院	268
東名厚木病院	206.3
湘南厚木病院	157.6
大和徳洲会病院	182.3
相模台病院	88.8
桜ヶ丘中央病院	45.3

表 12: 新規病院の患者数の合計 (県央)

新規病院	総患者数
A	25.7
B	384.4
C	239.7
D	37.5
E	239.9
F	397.1

このモデルを解いた際、既存病院にどれだけの患者が割り当てられたのかについて考察する。図 9 から図 15 は、県央の既存病院における、実際に入院治療を行った患者数と割り当てられた患者数の比較結果を示している。各図において左の棒グラフは実際に入院治療を行った患者数、右の棒グラフは割り当てられた患者数を示している。縦軸は患者数を示している。下から順 (青, 赤, 緑, 紫の順) に、呼吸器系, 循環器系, 消化器系, 筋骨格系の患者数を表している。

結果から、ほとんどの病院において患者を分散させることができた。桜ヶ丘中央病院は小規模な病院であり人口が密集している地域に配置されているため、患者数は減少しなかった。疾病別に見ると消化器系の患者が特に減少していた。しかし、循環器系の患者数はどの病院も変化しなかった。このことから循環器は新規病院を配置しても患者数が変化しないほど、供給が不足していることがわかる。

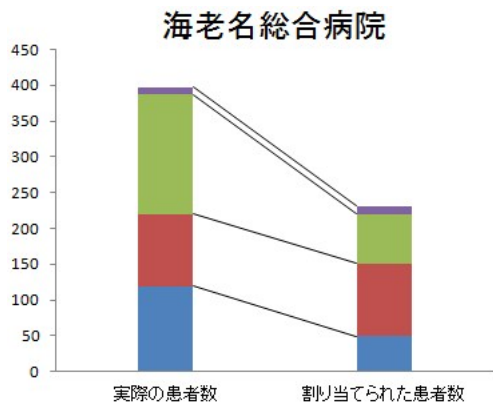


図 9: 海老名総合病院の患者数比較

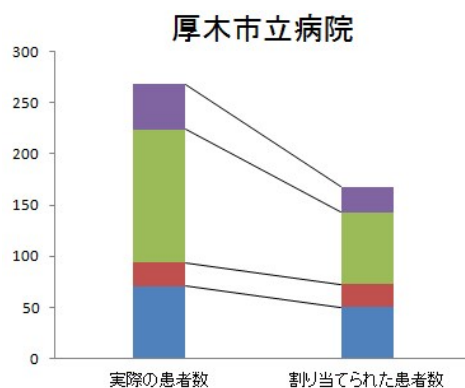


図 10: 厚木市立病院の患者数比較

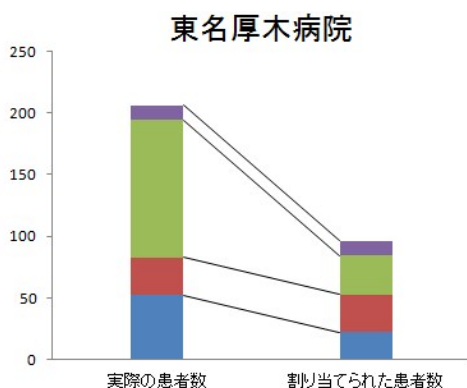


図 11: 東名厚木病院の患者数比較

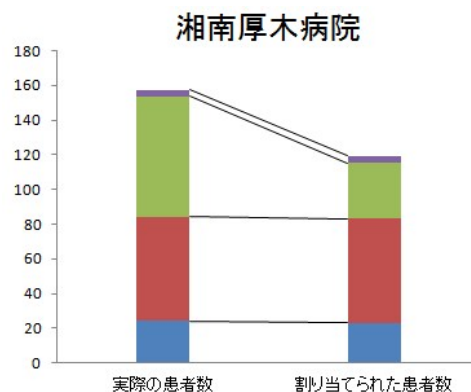


図 12: 湘南厚木病院の患者数比較

図 8 は湘南西部における結果である。閾値を 5km とすると、 p の値は 1 以下では実行不可能となった。よって最小となる新規施設数は 2 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。距離の閾値を変化させた場合、閾値が 3km から 5km までは配置する新規病院数はほぼ変化せず、さらに、患者の平均移動距離は常に 1km を下回っていた。湘南西部に関しては比較的患者全員に等しく医療サービスを提供できることがわかる。

配置された新規病院の規模を考察する。各病院における対象の 4 疾病の病床数の総和、つまり実際に入院治療を行った疾病患者数をまとめたものが表 13、モデルを解いたときに新規病院に患者が何人割り当てられたのかまとめたものが表 14 である。この 2 つの表の患者数を比較すると、伊勢原協同病院や秦野赤十字病院とほぼ同等の患者が新規病院に割り当てられている

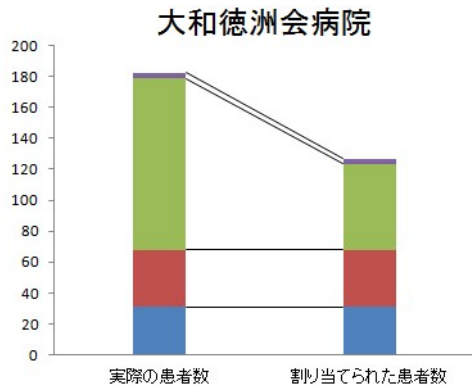


図 13: 大和徳洲会病院の患者数比較

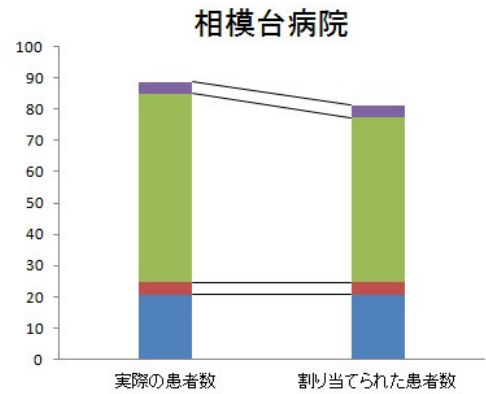


図 14: 相模台病院の患者数比較

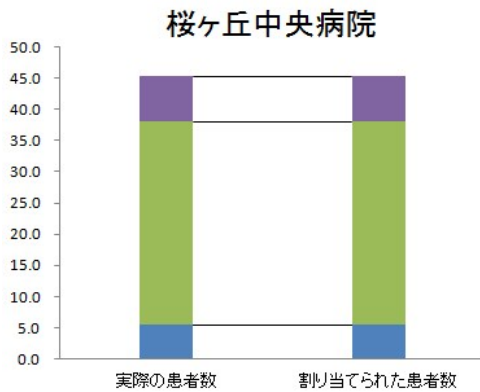


図 15: 桜ヶ丘中央病院の患者数比較

ことがわかる。よってこの2病院を配置することで、疾病によらずすべての患者が5km以内で病院にアクセスできる。

表 13: 入院治療を行った疾病患者数 (湘南西部)

病院名	総病床数
東海大学病院	793.7
KKR 平塚共済病院	468
伊勢原協同病院	296.2
平塚市民病院	340.2
東海大学大磯病院	228.5
秦野赤十字病院	202

表 14: 新規病院の患者数の合計 (湘南西部)

新規病院	総患者数
A	206.4
B	243.0

図 16 から図 21 は、湘南西部の既存病院における、実際に入院治療を行った患者数と割り当てられた患者数の比較である。各図において左の棒グラフは実際に入院治療を行った患者数、右の棒グラフは割り当てられた患者数を示している。縦軸は患者数を示している。県央の結果

と同様に、下から順(青, 赤, 緑, 紫の順)に、呼吸器系, 循環器系, 消化器系, 筋骨格系の患者数を表している。

どの病院も患者数を減少させることができた。特に、東海大学病院は患者数が半分以下となり、病床数にかなりの余裕ができた。疾病で見ると、大きく減少したのは消化器系の患者数であり、変化しなかったのは循環器系の患者数であった。このことから県央同様循環器系の供給が不足していることがわかる。

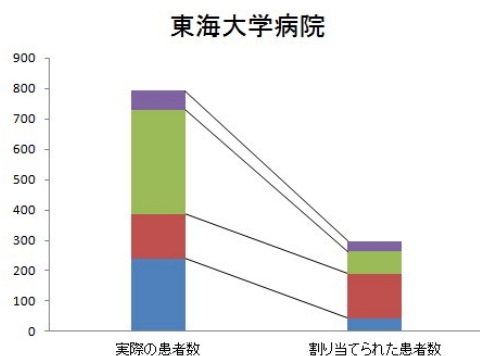


図 16: 東海大学病院の患者数比較

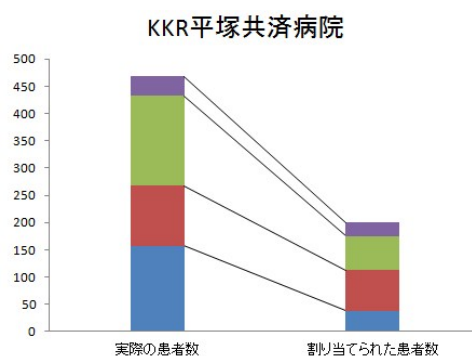


図 17: KKR 平塚共済病院の患者数比較

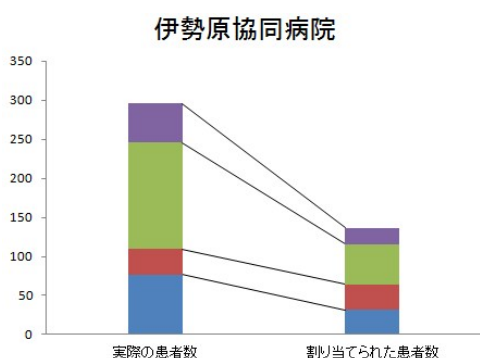


図 18: 伊勢原協同病院の患者数比較

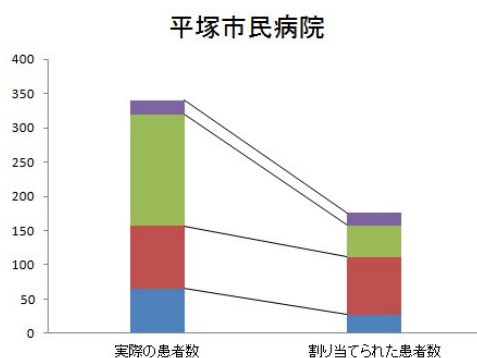


図 19: 平塚市民病院の患者数比較

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ことを目的に、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ものの、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指標を与えることができた。

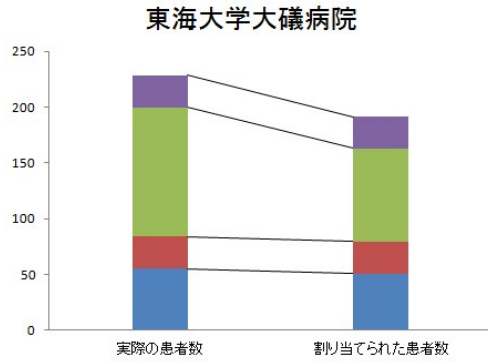


図 20: 東海大学大磯病院の患者数比較

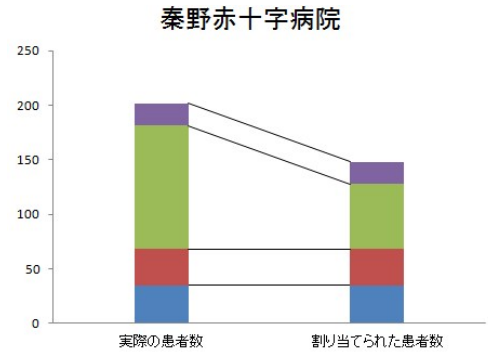


図 21: 秦野赤十字病院の患者数比較

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), 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] 石川ベンジャミン光一 : DPC データから地域の診療体制について考える. 月刊基金 52(2011), 2–4.
- [5] 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.