

アクセシビリティを考慮した病院配置の最適化 —愛知県を例として—

2011SE175 森裕太 2011SE267 富川美花

指導教員：佐々木美裕

1 はじめに

1.1 研究背景

本研究では、愛知県の医療圏における新規病院の配置問題について考える。

愛知県地域保健医療計画(平成25年3月公示)[1]によると、愛知県には現在12の医療圏がある(図1)。人口が多い名古屋医療圏に大規模な病院が集中しているが、一方で尾張中部医療圏と東三河北部医療圏では小規模な病院ばかりである。病院情報局[2]に登録されている愛知県の二次医療圏ごとのDPC(Diagnosis Procedure Combination)参加病院の数を比べると、名古屋医療圏が一番多くて24棟、尾張中部医療圏と東三河北部医療圏には1棟もない(表1)。

また病院情報局[2]では、2025年における各都道府県と二次医療圏ごとの必要病床数を試算した結果が公開されている。それによると、愛知県は2025年には不足病床数の予測値が全国で5番目、といった予測が立てられている。このことから、将来の病床数の不足を改善させるため、愛知県の病床数の現状を分析する必要がある。

そこで本研究では、愛知県の病床数の不足がどの地域にあるのかを明確にするため、不足分を補う新たな医療機関の配置場所を考察する。

1.2 過去の研究

過去の新規病院の最適配置に関する研究では、原ら[3]の研究が挙げられる。これは神奈川県内の11の二次医療圏の中から2つの医療圏を対象として、患者数の多い4つの疾病に限定して計算を行っている。単科病院配置モデルでは、町丁目ごとの代表点を需要点、DPC参加病院を供給点として、1つの疾病に対応した新規の単科病院を配置することにより、供給不足である地域を明らかにしている。また総合病院配置モデルでは、供給点は単科モデルと同様にDPC参加病院、需要点は地域メッシュの代表点として、一定距離以内でアクセスできる複数の疾病に対応した新規病院を配置し、その結果から配置された新規病院の規模の算出と病床数を考察している。

2 単科病院配置モデル

2.1 モデルの説明

本研究では、原ら[3]では対象を神奈川県で研究を行ったのを、愛知県に置き換えて同様の分析をする。また対象とする疾病も、疾病別患者数の多い循環器系、呼吸器系、消化器系、筋骨格系の4つに限定する。既存病院の供給不

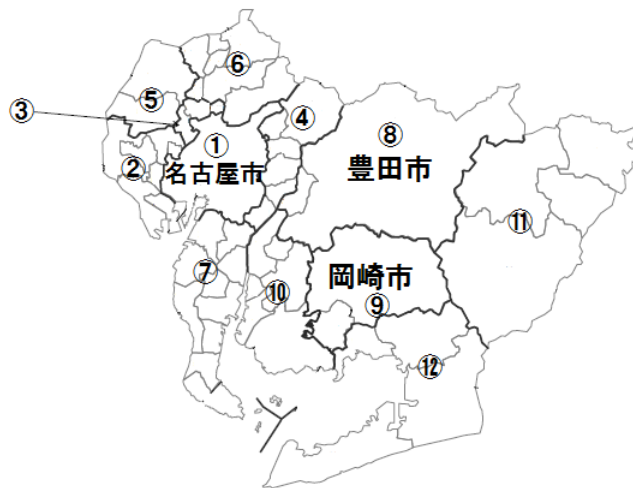


図1: 愛知県の二次医療圏

表1: 愛知県の二次医療圏

図1の番号	二次医療圏名	DPC参加病院数
①	名古屋医療圏	24
②	海部医療圏	2
③	尾張中部医療圏	0
④	尾張東部医療圏	4
⑤	尾張西部医療圏	6
⑥	尾張北部医療圏	5
⑦	知多半島医療圏	3
⑧	西三河北部医療圏	2
⑨	西三河南部東医療圏	4
⑩	西三河南部西医療圏	5
⑪	東三河北部医療圏	0
⑫	東三河南部医療圏	7

足地域を明らかにするために、各疾病のいずれかに対応して十分な容量を持った新規の単科病院を配置する。この結果から新規病院の配置される場所は、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分かる。さらに、配置する新規病院の数を2棟、3棟と増やした場合の結果も考察する。

2.2 定式化

単科病院の配置問題を定式化するにあたり、記号を以下のように定義する。

I : 既存病院の集合。

J : 需要点の集合.
 H : 候補点の集合.
 d_{ij} : 既存病院 $i \in I$ から需要点 $j \in J$ までの距離.
 d'_{hj} : 候補点 $h \in H$ から需要点 $j \in J$ までの距離.
 c_i : 既存病院 $i \in I$ の病床数.
 c' : 新規病院の病床数.
 w_j : 需要点 $j \in J$ の患者数.

変数は次のように定義する.

x_{ij} : 需要点 $j \in J$ の患者のうち既存病院 $i \in I$ を利用する患者の割合.

y_{hj} : 需要点 $j \in J$ の患者のうち候補点 $h \in H$ を利用する患者の割合.

$z_h = \begin{cases} 1: \text{候補点 } h \in H \text{ に新規病院を設置する.} \\ 0: \text{上記以外.} \end{cases}$

上記の記号を用いて, 単科病院配置モデルを以下のように定式化する.

$$\min. \sum_{j \in J} w_j \left(\sum_{i \in I} d_{ij} x_{ij} + \sum_{h \in H} d'_{hj} y_{hj} \right) \quad (1)$$

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

$$\sum_{j \in J} w_j y_{hj} \leq c' \quad (h \in H) \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} + \sum_{h \in H} y_{hj} = 1 \quad (j \in J) \quad (4)$$

$$\sum_{h \in H} z_h \leq p \quad (5)$$

$$y_{hj} \leq z_h \quad (h \in H, j \in J) \quad (6)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1 \quad (i \in I, j \in J) \quad (7)$$

$$0 \leq y_{hj} \leq 1 \quad (h \in H, j \in J) \quad (8)$$

$$z_h \in \{0, 1\} \quad (h \in H) \quad (9)$$

式 (1) は患者の移動距離の総和を最小化することを示している. 式 (2) と (3) は既存病院の容量制約を示している. 式 (4) は各需要点の患者全員が必ずどこかの病院を利用することを示している. 式 (5) は新規病院の設置数の制約を示している. 式 (6) は病院を配置しなければ患者が利用することが出来ないことを示している. 式 (7) と (8) は各需要点の患者の割合に関する制約を示している. 式 (9) はバイナリ制約を示している.

3 総合病院配置モデル

3.1 モデルの説明

総合病院配置モデルでは, 1つの疾病に限定せず複数の疾病に対応する新規の総合病院を配置する. 新規病院の容量を定めないことで, どの程度の規模の病院が必要か分かる. 本研究では, 循環器系, 呼吸器系, 消化器系, 筋骨格系の4疾病全てを扱う新規病院の配置を考える. また, 必

ず4つの疾病全てに対応している新規病院を考えるため, 各疾病ごとの割合の下限を設ける.

3.2 定式化

総合病院の配置問題を定式化するにあたり, 記号を以下のように定義する.

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.

c_{ik} : 既存病院 $i \in I$ の疾病 $k \in K$ における病床数

c'_{hk} : 新規病院 $h \in H$ 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 $j \in J$ と既存病院 $i \in I$ との距離

d'_{hj} : 需要点 $j \in J$ と新規病院 $h \in H$ との距離

L_k : 疾病 $k \in K$ の新規病院に占める割合の下限

p : 配置可能な新規病院の数

変数は次のように定義する.

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 $i \in I$ を利用する患者の割合

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 $h \in H$ を利用する患者の割合

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

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

$s_h = \begin{cases} 1: \text{候補点 } h \in H \text{ に新規病院を配置するとき} \\ 0: \text{上記以外} \end{cases}$

上記の記号を用いて, 総合病院配置モデルを以下のように定式化する.

$$\min. \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{ij} w_{jk} x_{ijk} + \sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d'_{hj} w_{jk} y_{hjk} \quad (10)$$

$$\text{s.t.} \sum_{j \in J} w_{jk} x_{ijk} \leq c_{ik} \quad (i \in I, k \in K) \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} w_{jk} y_{hjk} \leq c'_{hk} s_h \quad (h \in H, k \in K) \quad (12)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} + \sum_{h \in H} y_{hjk} = 1 \quad (j \in J, k \in K) \quad (13)$$

$$\sum_{h \in H} s_h \leq p \quad (14)$$

$$\sum_{h \in H} \sum_{j \in J} \sum_{l \in K} L_k w_{jl} y_{hjl} \leq w_{jk} y_{hjk} \quad (k \in K) \quad (15)$$

$$x_{ijk} \leq z_{ij} \quad (i \in I, j \in J, k \in K) \quad (16)$$

$$y_{hjk} \leq z'_{hj} \quad (h \in H, j \in J, k \in K) \quad (17)$$

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

$$0 \leq x_{ijk} \leq 1 \quad (i \in I, j \in J, k \in K) \quad (19)$$

$$0 \leq y_{hjk} \leq 1 \quad (h \in H, j \in J, k \in K) \quad (20)$$

$$z_{ij} \in \{0, 1\} \quad (i \in I, j \in J) \quad (21)$$

$$z'_{hj} \in \{0, 1\} \quad (h \in H, j \in J) \quad (22)$$

$$s_h \in \{0, 1\} \quad (h \in H) \quad (23)$$

式 (10) は患者の移動距離の総和を最小化することを示している。式 (11) と (12) は各病院の容量制約を示している。式 (13) は各需要点の患者全員が必ずいずれかの病院を利用することを表す制約を示している。式 (15) は新規病院を p 棟まで置くことが出来ることを示している。式 (15) は新規病院における各疾病の占める割合の下限を示している。式 (16) と (17) は病院を配置しなければ患者が利用することが出来ないことを示している。式 (18) 配置されていない新規病院に患者が割り当てられないことを示している。式 (19) と (20) は各需要点の患者の割合に関する制約を示している。式 (21) と (22) と (23) はバイナリ制約を示している。

4 データ作成

4.1 供給について

計算に必要な供給のデータは、病院情報局 [2] から入手した。各二次医療圏の主要な病院は、ほぼ DPC 参加病院として登録されているため、本研究では各二次医療圏ごとの DPC 病院を供給点として考える。また供給データとして、疾病別の病床数を求めた。病床数が利用患者数に比例すると仮定し、疾病別月平均患者数を総合月平均患者数で割ったものに、病床数をかけたものを使う。

4.2 需要について

地域メッシュとは緯度経度に基づき地域を一定の間隔に、網の目状に区画分けしたものである。愛知県の 3 次メッシュコードは、統計情報研究開発センター [4] の地域メッシュ統計の CSV ファイルを参考にした。人口データを持つ第 3 次メッシュが入っているので、そのメッシュの代表点を需要点として考える。需要データは、各医療圏の需要量の合計と供給量の合計が等しいと仮定して、実際のデータの合計が一致するように正規化して求めた。

4.3 距離の計算について

距離の計算は、需要点と供給点の平面直角座標の差からユークリッド距離にて求めた。供給点の代表点は、DPC 病院の緯度経度から平面直角座標へ変換した。需要点は、第 3 次メッシュコードを緯度経度へ変換してから、平面直角座標へ変換した。

5 実行結果と考察

5.1 実行結果

モデルの計算には IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.5.1 (以下 CPLEX) を使用した。

単科病院配置モデルを、名古屋医療圏の消化器について CPLEX で計算した。計算結果を表 2, $p=3$ の時の実行結果を図 2, $p=0$ と $p=3$ 距離分布を図 3 に示す。図 2 の黄丸は新規、青丸は既存病院を表す。

表 2: 単科モデルの計算結果 (名古屋医療圏)

疾病	p の値	目的関数値	計算時間 (秒)
消化器	0	6206647.396	31
	1	5265093.697	82
	2	4664794.096	58
	3	4259093.772	57

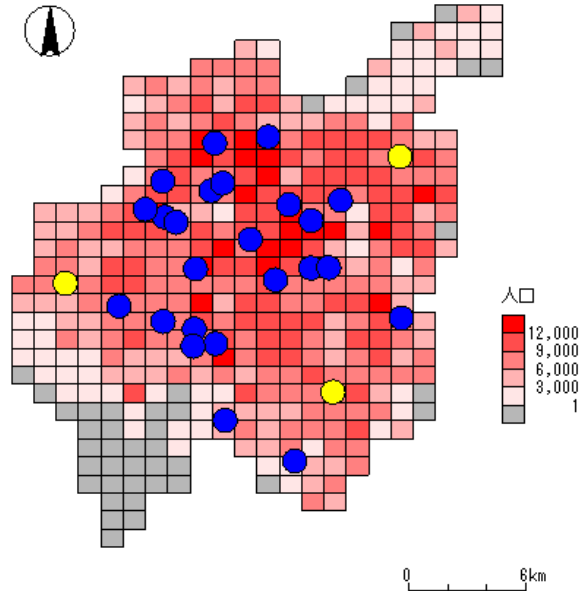
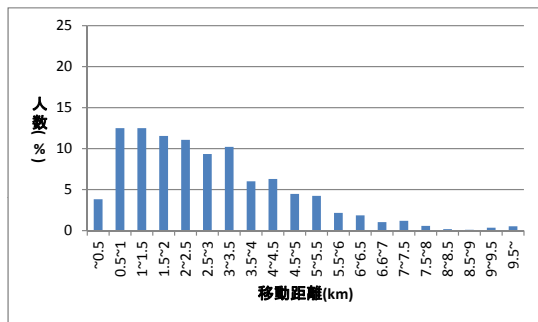


図 2: 単科モデルの実行結果 (消化器: $p=3$)

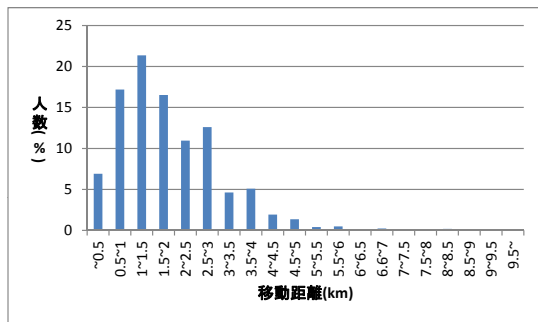
総合病院配置モデルを、名古屋医療圏について CPLEX で計算した。計算結果を表 3, $p=1$ の時の実行結果を図 4, 新規病院の疾病の割合を図 5 に示す。図 4 の黄丸は新規、青丸は既存病院を表す。

表 3: 総合モデルの計算結果 (名古屋医療圏)

p の値	目的関数値	計算時間 (秒)
1	12286406.74	498
2	10893659.47	477
3	9996939.32	476



$p=0$



$p=3$

図 3: 単科モデルの距離分布 (消化器)

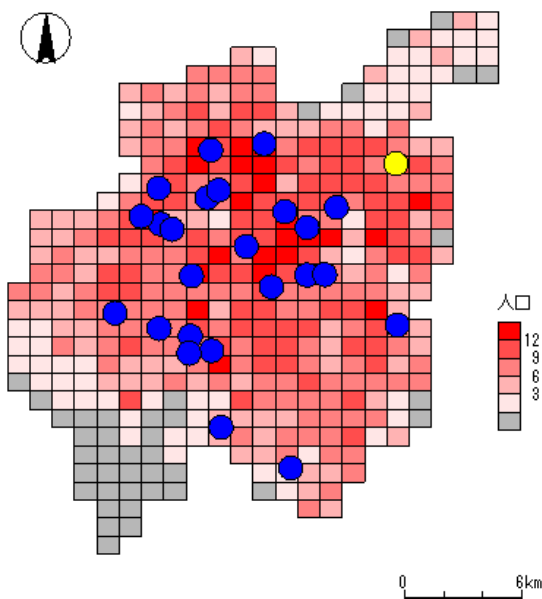


図 4: 総合モデルの実行結果 ($p=1$)

5.2 考察

単科病院配置モデルでは既存病院が医療圏の中心部に集中していることから名古屋医療圏の端に新規病院が配置され、新規病院の規模はとて小さく利用者は全体の0.4%程度だった。目的関数値の変化は $p=0$ から $p=1$ のときに最も多く、新規病院は図2の右上の位置に配置された。既存病院の配置から図2の右下に配置されると予想し

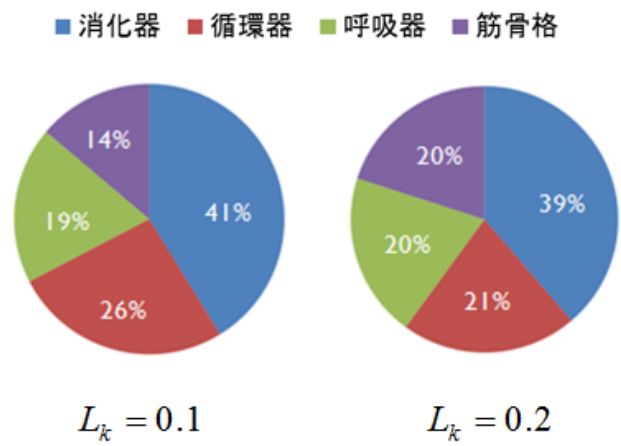


図 5: 新規総合病院の疾病別割合

たが、人口の多い場所が選ばれた。 $p=2$ のときは $p=1$ と同様の右上の位置と、右下の位置に配置された。距離分布の図では5~7kmの移動距離の利用者が減った。

総合病院配置モデルでは、単科病院配置モデルと同様の位置に新規病院が配置された。また、全体の人口の約30%が新規病院を利用する結果となった。名古屋医療圏では疾病ごとの下限によって配置場所が変わることがなかったが、一部の医療圏では配置場所に変化が見られた。原因として、疾病別の下限に合わせた利用者を出すためにアクセスの良くない新規病院を利用していただいていた利用者が一部いたことが考えられる。

6 おわりに

単科病院配置モデルでは疾病一つに着目し、利用者のアクセスが改善されるとともに、需要と供給の均衡を前提とした計算から人口分布に合った新規病院の配置場所が分かった。

総合病院配置モデルでは、複数の疾病別の供給量を固定しないことで地域ごとにより需要に答えた新規病院が配置された。原ら [3] のモデルのように閾値を定め、一定の距離圏内での新規病院配置モデルを考えたら、利用者が平等な移動距離で病院が利用できる新規病院の配置場所がわかり、結果も変わると考えられる。

参考文献

- [1] 愛知県地域保健医療計画. <http://www.pref.aichi.jp/0000059514.html>
- [2] 病院情報局. <http://hospia.jp/>
- [3] 原雅典・佐々木美裕・井上茂亮:「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」, アカデミア情報理工学編, Vol. 13, pp. 61-78, 2013.
- [4] 統計情報研究開発センター. <http://www.sinfonica.or.jp/datalist/index.html>