【原著論文】

費用関数を組み込んだ公的医療施設の立地－配分分析 新潟県上越医療圏を事例として

相羽良寿*

Location-allocation analyses incorporated with cost function to public medical facilities A case study of Joetsu secondary medical area

Yoshihisa AIBA*

Abstract: This paper presents location-allocation model incorporated with location cost consisting of land acquisition cost, building construction cost, and medical equipment cost. The cost functions for the location cost are estimated using national data of public hospitals. Joetsu secondary medical area in Niigata Prefecture, Japan is selected as a study area, in which eight public medical facilities are located. The optimal locations for public medical facilities in this medical area are obtained by applying location-allocation model under the constraint to reduce 5% of current location cost as a numerical reduction target of location cost. It is clear that the optimal location consisting of five public facilities can reduce 5% of current location cost without hardly deteriorating access to facilities.

Keywords: 公的医療施設 (public medical facilities), 立地－配分モデル (location-allocation model), 費用関数 (cost function), 上越二次医療圏 (Joetsu secondary medical area)

1. はじめに

本研究では、立地－配分モデルを用いて、医療施設の立地を利用者の移動距離の側面から分析する。移動距離を最小化する立地－配分モデルは、p－メディアン問題と呼ばれ、以下のように定義される¹⁾ (ReVelle and Swain, 1970)。

$$\text{Minimize } Z = \sum_i \sum_j p_i d_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

制約条件

$$\sum_j X_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$X_{ij} \geq X_{ji} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad i \neq j \quad (3)$$

$$\sum_i X_{ii} = a \quad (4)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

ただし、

p_i : 居住地点 i の人口

d_{ij} : 居住地点 i から施設立地点 j への距離

X_{ij} : 居住地点 i の住民が立地点 j の施設を利用するように配分されたとき 1, そうでないとき 0 をとる配分変数

この立地－配分モデルでは、さまざまな前提条件が付与されている。需要（人口）側としては、①有限数の固定された需要（居住）地点を仮定している。②需要地点は1つの施設へ配分される。③需要地点は最も近い施設へ配分される（最近隣施設選択行動）。④需要はすべての施設に対し完全に非弾力的である。供給（施設）の側に関しては、①施設は同時に立地する。②施設は1つの需要地点を分割してサービスするように立地することはない。③施設の費用関数はすべての潜在的立地点に対し均一である (Wagner and Falkson, 1975)。

施設ごとに不均一な費用関数の考察は、施設数といった単純な制約から、予算制約の導入に結び付

* 学生会員 日本大学大学院理工学研究科地理学専攻
(Department of Geography, Graduate School of Science and Engineering, Nihon University)
〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40 E-mail : y-aiba@nn.ij4u.or.jp

き、施設数を内生変数として扱うことにつながる。供給側に費用の制約式を追加して、公的施設の立地－配分問題を分析した研究としては、施設数 a を所与と定める制約式(4)の代わりに、次のような費用制約式を導入した研究がある(Rojeski and ReVelle, 1970)。

$$\sum_j f_j X_{ij} + \sum_j b_j \sum_i p_i X_{ij} \leq c_{max} \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n$$

ただし、

c_{max} ：費用の上限

f_j ：施設 j を開設するときの固定費

b_j ：施設 j の変動費の拡張係数

式(6)の左辺第1項では、施設数に固定費を乗じることで、総固定費を計算している。第2項は、生産要素の投入費用を施設に配分される需要量に応じて算出した総変動費を求めている。固定費と変動費はいずれも、全立地点で均一ではなく立地点に依存していると仮定している。式(6)は、それらの総費用が、公的施設に充てられる資源(費用)の上限を超えないという制約条件を示している。この費用制約式を導入することによって、 p －メディアン問題で外生変数として扱われていた施設数は、内生変数としてモデル内で決められる。

しかし、実際の資料を用いて、Rojeski and ReVelle (1970)のように立地費を固定費と変動費に分割することはむずかしく、課題が残されている。そこで本研究では、新しい視点として、実際の病院建設事業費を参考にして、立地費を用地取得費、建物建設費、医療機器整備費に分割し、全国の病院に関する資料からそれらの費用関数を推定した。立地－配分モデルにこの費用関数を組み込むことによって、公共団体の限られた予算の中で、住民サービスの向上を目指すような公的医療施設の最適立地を分析することを試みる。

2. 医療施設の立地に関わる費用関数の推定

2. 1. 医療施設の立地に関わる費用について

古典的なウェーバーの工業立地論は、単一施設の

立地問題として一般化される(高阪, 1984, 65-70)。立地－配分問題は、その延長線上にあり、多施設立地問題として提示されてきた(Ghosh and Rushton, 1987, 2-3)。このことから、立地－配分問題の目的関数は、式(1)では総移動距離であるが、ウェーバーの工業立地論と同様に、輸送費の最小化問題の中に位置づけられる。したがって、医療施設の立地に関わる費用として第1にあげられるのは、輸送費である。この費用は、施設に対するものではなく、施設の利用者に対し発生する費用である。

立地論で施設に対し発生する費用は、立地にとともなう費用(立地費)として論じられてきた。立地－配分問題でも同様で、例えば、Rojeski and ReVelle (1970)は、施設の建設や開設に必要な立地費を取り上げている。立地－配分問題で輸送費と立地費の二つの費用の取り扱いは、研究によって異なる。Rojeski and ReVelle (1970)では、輸送費は目的関数であり、上記の式(6)で示すように、立地費は制約条件として組み込まれている。それに対し、費用を考慮した施設立地問題(fixed charge facility location model)では、輸送費に立地費を加えた費用を目的関数とし、その最小化を図っている(Nozick, 2001)。

一般に、立地－配分問題では、輸送費と立地費の二つの費用のうち、立地する施設数が増えると立地費は増加するが、輸送費は減少する。このことから、本研究では、立地費の費用制約の中で、輸送費(移動距離)を最小化する次のような最適化モデルを提示する。

$$\text{Minimize } Z = \sum_i \sum_j p_i d_{ij} X_{ij} \quad \{X_{ij}\}$$

制約条件

式(2)、式(3)、式(5)

$$\sum_j C_j = \sum_j (L_j + B_j + F_j) \leq c_{max} \quad (7)$$

ただし、

$$n_j = s \sum_i p_i X_{ij} \quad (8)$$

$$L_j = f_1(n_j) \times r_k \quad j \in k, k = 1, 2, \dots, q \quad (9)$$

$$B_j = f_2(n_j) \times h \quad (10)$$

$$F_j = n_j \times e \quad (11)$$

目的関数は、上記の式(1)で表されるp-メディアン問題であり、地域全体の総移動距離(人口加重距離)を最小化する立地-配分(X_{ij})を得る。式(7)は、総立地費が公的施設に充てられる費用の上限 c_{max} を超えないという費用制約式である。立地費は、奈良県生駒市の病院建設事業費モデル等を参考にして、施設 j の立地費 C_j が、用地取得費 L_j 、建物建設費 B_j 、医療機器整備費 F_j の合計で求められることを示している。立地費のこのような分割は、Rojeski and ReVelle (1970) のように固定費と変動費の項目から捉えるよりも現実的であり、次節で示すように公的資料にも対応している。式(8)は、p-メディアン問題で解いた立地-配分(X_{ij})から施設 j に配分される医療圏人口を計算し、人口あたりの病床数 s を乗じることで、施設 j の病床数 n_j が求められることを示している。この病床数は、立地費を構成する上記の三つの費用関数の変数になり、各医療施設の立地費が計算される。式(9)では、敷地面積の関数 f_1 に、施設 j の敷地が立地タイプ k に属した場合の実勢地価 r_k を乗じることで、立地点に依存した用地取得費を算出している。式(10)と式(11)は、それぞれ建物建設費と医療機器整備費の算出式であり、建物床面積の関数 f_2 、あるいは病床数に、それぞれに関わる定数 h や e を乗じている。なお、式(7)～式(11)において、外生変数は人口 p のほか、費用の上限 c_{max} 、人口あたりの病床数 s 、実勢地価 r 、建物建設費と医療機器整備費に関わる定数 h と e であり、小文字で示している。

2. 2. 医療施設の用地取得費と建物建設費に関わる費用関数の推定

医療施設の用地取得費と建物建設費に関わる費用関数 f_1 と f_2 を推定するにあたり、全国公私病院連盟の資料の中で、平成20年度から平成24年度における一般病院の病床数別100床あたりの敷地面積と建物総延床面積のデータをそれぞれ使用した。

図1は、平成20年～24年の調査資料をもとに、横軸に病院規模を表すため8階層(20-99床, 100

図1 病院の病床数と敷地面積の関数

資料：平成24年病院運営実態分析調査

－199床, 200－299床, 300－399床, 400－499床, 500－599床, 600－699床, 700床以上)の病院の病床数を、縦軸に各階層の敷地面積(病床数別100床あたりの敷地面積(平成20年度～平成24年度の平均)×規模階層数)をとり、8階層の病院の敷地面積をプロットした。この散布図に、線形、指数、対数、累乗、多項式の回帰モデルを当てはめた。これらのモデルの中で、データの適合度としては決定係数を調べ、モデル間の適合度としては有限修正AICを計算した結果、次の2次式が適合した。

$$f_1(n) = -0.0839n^2 + 120.46n + 6094.5 \quad (12)$$

ただし、 f_1 は敷地面積の関数を表し、式(9)の右辺第1項に相当する。 n は病床数を示す。決定係数 R^2 は0.988であり、有限修正AICは154.7と回帰モデルの中で最低であった。2次関数は、図1に示すように、一種の逓減関数となることから、施設の敷地面積は、施設規模の拡大にともない直線的に増加するのではなく、増加が頭打ちになることが明らかとなった。

次に、建物建設費を算出するため、図2では、病床数8階層の病床数を横軸に、各階層の建物床面積(病床数別100床あたりの建物総延床面積×規模階層数)を縦軸にとり、8階層の病院の建物床面積をプロットした。その結果、次の2次式が適合した。

$$f_2(n) = 0.029n^2 + 48.426n + 2614.6 \quad (13)$$

この式は、前掲の式(10)の建物床面積の関数に相当し、病院の規模が拡大するにつれて、病院の建物床面積は直線より多少高い率で増大することを表している。

図2 病院の病床数と建物床面積の関数

資料：平成24年病院運営実態分析調査

図3 上越医療圏内の人口分布と主要道路

以下の3節と4節では、敷地面積の関数と建物床面積の関数を用いて、立地に関わる費用関数を組み込んで、具体的な医療圏において医療施設の立地－配分を分析する。

3. 上越医療圏の公的医療施設と配分分析

3. 1. 上越医療圏の公的医療施設

立地に関わる費用関数を組み込んで医療施設の立地－配分を分析するにあたり、新潟県の西部に位置する上越二次医療圏（以下、上越医療圏とする）を研究地域として選定した。上越医療圏は、図3に示すように、上越市のほかに妙高市と糸魚川市を含み、人口は約29.5万人であり、町丁目・字数は1,161に及ぶ。また、主要道路として、妙高市から北に直江津まで国道18号が、その国道に並行して上信越自動車道が通っている。さらに、糸魚川市から上越市の海岸沿いを国道8号と並行して、北陸自動車道が通っている。

上越医療圏を取り上げた理由は、北東部から南西部にかけて海岸線がはしり、西は富山県、南は長野県、東は中越医療圏の中心である長岡市というように、県市界をなす山地で囲まれた閉鎖性のある地域であり、医療施設利用者の他県や他医療圏への流出が少ないことがあげられる。また、平野部の人口密集地区と山間部などの人口過疎地区が混在する地域であり（図3を参照）、医療圏内で享受すべき公的医療サービスの受診機会に、地域間格差が生じている可能性があることである。それら諸条件を考慮して、

現公的医療施設と立地－配分モデルによる医療施設の適性配置や施設規模等を比較して、地理的観点からの問題提起が可能ではないかと考えたのである。

本研究では、民間に比べ、資料の公開が進んでいる理由から、公的医療施設を取り上げる。上越医療圏内には、2014年現在で九つの公的医療施設が存在している。その中で、図4と表1に示すように八つの公的な一般病院を分析対象とする²⁾。なお、表1に示すIDは、施設が立地している町丁目・字を表す一意的な番号である。これら8公的医療施設は、上越市に5施設、妙高市に2施設、糸魚川市に1施設が立地している。上越市では、その中心部である高田と直江津にそれぞれ2施設が立地している（図4を参照）。表1で8公的医療施設の病床数を見ると、50床から500床と大きく異なっている。また、診療科数も6科目から22科目と多くなる。

図4 上越医療圏内の公的医療施設の立地と主要駅

表1 上越医療圏の公的医療施設と配分分析結果

ID	公的医療施設名	病床数	診療 科数	平均移動 距離(m)	医療圏 人口
4	糸魚川総合病院	269	18	8,112	49,570
130	けいなん総合病院	170	10	4,534	38,115
256	県立妙高病院	60	8	5,512	9,161
301	上越地域医療センター病院	197	6	2,469	43,314
367	上越総合病院	318	22	4,625	30,049
503	新潟労災病院	360	18	4,623	54,827
620	県立中央病院	534	21	6,096	38,555
757	県立柿崎病院	55	7	8,700	32,166
	全体	1,963	-	5,544	295,757

資料：関東信越厚生局新潟事務所所管法人（医科）

3. 2. 上越医療圏の公的医療施設の配分分析

立地－配分モデルを上越医療圏に適用するにあたり、まず、既存の8公的医療施設に対し、配分モデルを適用して、2014年現在での医療施設の医療圏を設定し、医療圏の人口規模を算出する。分析手法としては、ESRI ジャパン（株）のArcGIS上で、上越医療圏を構成する1,161の町丁目・字に対し、それらの中心（重心）点を生成して、町丁目・字の各中心点から各施設への道路距離を、Network Analystを用いて測定した。町丁目・字で面積が大きいものに対しては、中心点が人口の居住していない山の中に落ちてしまうようなエラーにつながる可能性が高くなる。このことから、面積が10km²以上で、人口が1,000人以上の町丁目・字を検索したところ、糸魚川市で5地区、妙高市で1地区が存在していることから、これらの地区に対しては、町丁目・字内の中心集落（小学校）の位置を中心点とし、道路距離を測定した。

さらに、配分モデルの最近隣施設選択行動を適用して、道路距離で最も近い施設へ各町丁目・字の中心点を配分し、既存施設に対する最寄医療圏（以下、医療圏とする）を設定する。医療圏の総移動距離は、町丁目・字の中心点から最寄施設への道路距離に、その町丁目・字の人口を乗じて合計した人口加重距離として、また医療圏の平均移動距離は、人口加重距離を医療圏の総人口で割ることで算出した³⁾。

図5と表1の5列と6列は、既存8公的医療施設に対し配分モデルを適用し、医療圏を設定した結果を示している。表1において、研究地域全体の平均移動距離を見ると、約5,500mである。各施設の医療圏の平均移動距離は、最短が上越地域医療センター

図5 配分モデルを適用した既存8公的医療施設の医療圏の設定

病院の約2,400m、最長が県立柿崎病院の8,700m、次いで糸魚川総合病院の約8,100mとなり、施設により大きな差が生じていることが見て取れる。特に、西部の糸魚川市と上越市の東部で公的医療施設へのアクセスが悪いことが明らかになる。

表1で医療圏人口を見ると、最大は新潟労災病院の約54,000人、次いで糸魚川総合病院の約49,000人であり、最小は県立妙高病院の約9,000人である。このように、既存施設間で医療圏人口に大きな差が生じていることがわかる。また、現在の病床数と医療圏人口の関係を見ると、最小の医療圏を示す県立妙高病院では病床数も60床と少ないが、最多の病床数534を持つ県立中央病院では、医療圏人口は38,000人と平均より少し多い程度であり、現有の病床数に比べ周辺の医療圏人口は少ない。

3. 3 費用関数を組み込んだ配分分析による既存施設の立地費の算出

次に、前節で推定された医療施設の費用関数に基づき、既存施設の立地費を算出してみよう。費用の推定に際しては、費用関数に関わる各種定数を定める必要がある。まず、用地取得費は、前掲の式(9)に示すように、式(12)から求められた敷地面積に実勢地価を乗じることで算出される。一般に、敷地はそれが位置する地理的環境に従って、立地タイプに分けられる。例えばJones and Mock (1984)は、敷地を都心部、市街地、郊外、都市外縁部、大都市圏外の五つの立地タイプに分けている。高阪(2014)

は、敷地を都心部、市街地、郊外、都市外縁部に分けている。本研究では、都市部（主要駅（図4を参照）から500m圏）、市街地（同3km圏）、郊外（それ以外、ただし市街化調整地区を除く）と3タイプに分け、それぞれの立地タイプに対する平方メートルあたりの敷地の平均地価を求めた。研究地域の地価は、国土数値情報ダウンロードサービスのHP（<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>）から地価公示と都道府県地価調査を取得した。都市部、市街地、郊外の三つの立地タイプに対する平方メートルあたりの敷地の平均地価は、それぞれ60,025円、37,522円、17,738円であった。さらに、上越医療圏における3タイプの敷地の実勢地価を算出すると、 $r_1=84,000$ 円、 $r_2=52,500$ 円、 $r_3=24,800$ 円となった⁴⁾。表2の用地取得費は、既存8施設に対して実際の病床数（表1を参照）に基づき式（12）から敷地面積を求め、さらに立地タイプに応じた実勢地価を乗じて算出した。

表2の建物建設費は、具体的には式（13）から得られる病院の建物床面積に、平方メートルあたりの建設費（ $h = 345,000$ 円/㎡⁵⁾）を乗じることで算出された。同様に、医療機器整備費は、式（11）で示されるように、病床数に e （=1床あたりの医療機器整備費9,000,000円）を乗じることで算出された⁶⁾。

上越医療圏の公的医療施設全体の立地費は780億円で、内訳は建物建設費が最も多く466億円、次いで医療機器整備費176億円、用地取得費137億円の順となった。立地費が最低の施設は県立柿崎病院で26.5億円であり、逆に最高の施設は県立中央病院で199億円となった。

次に、配分モデルから推定された医療施設の医療

表2 既存施設の病床数から推定した各施設の立地費

公的医療施設名	立地タイプ	用地取得費	建物建設費	医療機器整備費	立地費A
糸魚川総合病院	市街地	1,702	6,120	2,421	10,244
けいなん総合病院	市街地	1,268	4,031	1,530	6,829
県立妙高病院	郊外	323	1,940	540	2,803
上越地域医療センター病院	市街地	1,395	4,582	1,773	7,749
上越総合病院	都市部	3,017	7,227	2,862	13,106
新潟労災病院	都市部	3,241	8,213	3,240	14,694
県立中央病院	市街地	2,441	12,677	4,806	19,924
県立柿崎病院	郊外	309	1,851	495	2,655
全体		13,696	46,641	17,667	78,004

注) 費用の単位：百万円

圏人口から病床数を推定してみよう。前掲の表1によると、上越医療圏内の公的医療施設の病床数は1,963病床なので、上越医療圏の人口29.5万人で除して、医療圏人口1万人あたりの病床数（ $s = 67$ 床/10,000人）を算出した。各医療施設の推定病床数は、前掲の式（8）に基づき、配分分析で得られた各施設の医療圏人口に、この医療圏人口1万人あたりの病床数を乗じることで計算した。

表3において、このようにして推定された病床数を、実際の病床数と比較すると、研究地域全体の病床数はどちらも約1,900床である。最小の医療圏を示す県立妙高病院では、いずれの病床数も60床と少ないが、最多の病床数534を持つ県立中央病院では、258床と平均より少し大きい規模になっている。

表3では、この推定病床数を用いて、費用関数に基づき算出した各施設の推定立地費も示されている。全体の推定立地費は772億円であり、既存施設の病床数に基づく立地費（表2）と8億円の差であった。施設別に見ると、推定立地費の最低は県立妙高病院で、最高は新潟労災病院になっている。実際の病床数に基づく立地費（表2のA）と推定病床数に基づく立地費（表3のB）を比較するため、表3の右端の欄に示すように $A/B \times 100$ を計算すると、最高は202の県立中央病院、最低は35の県立柿崎病院となった。配分モデルでは、施設の周辺に多くの人口が居住している場合医療圏人口が多くなり、人口が少ないと医療圏人口も少なくなる。県立中央病院は現有の病床数に比べ医療圏人口からの推定病床数が

表3 既存施設の立地を所与として最近隣施設選択行動を仮定した場合の必要病床数から推定した各施設の病床数と立地費

公的医療施設名	実際の病床数	推定病床数	推定立地費B	A/B × 100
糸魚川総合病院	269	332	12,474	82
けいなん総合病院	170	255	9,754	70
県立妙高病院	60	61	2,833	99
上越地域医療センター病院	197	290	10,982	71
上越総合病院	318	201	8,734	150
新潟労災病院	360	367	14,960	98
県立中央病院	534	258	9,859	202
県立柿崎病院	55	216	7,620	35
全体	1,963	1,980	77,216	101

注) 費用の単位：百万円

少ないため、県立柿崎病院は逆に現有の病床数に比べ医療圏人口からの推定病床数が多いため、このような相違が現れたものと考えられる。以上の2施設を除けば、70～150の範囲に収まっていることがわかる。

4. 費用関数を組み込んだ立地－配分分析

4. 1. 立地費と平均移動距離の関係

立地－配分モデルに費用関数を組み込むことによって、需要と供給の二つの側面を考慮して、上越医療圏における公的医療施設の最適立地を分析する。以下では、施設数を、3～13へと順次増加させて、費用関数を組み込んだ立地－配分モデル（p－メディアン問題）を実行し、費用制約のもとで平均移動距離を最小化する施設立地点を探る。最適化の計算方法は、離散空間内で頂点代替法により行う（Rushton and Kohler, 1973; 石崎, 2003; 相羽, 2012; 高阪, 2014）。この最適化法は、研究地域全体を医療圏でカバーし、人口加重距離の最小化を満たす最適な医療施設立地点を求めることができる。頂点代替法による解法は、初期値の取り方により複数の解を得る可能性があるため、複数の解を得た場合は、上越医療圏全体における平均移動距離が最小の解を最適解とする。なお、初期値の取り方はランダム関数により決定され、それぞれの施設数に対して、10回試行して最適解を決定する。

最適解の解法手順は、既存施設の医療圏人口、平均移動距離、病床数、立地費を算出した上で、以下のようになる。

ステップ0) 初期施設数(3)と最多施設数(13)を設定する。施設数＝初期施設数(3)としてp－メディアン問題を解き、立地点、医療圏人口、平均移動距離、病床数、立地費を算出し、最適解とする。

ステップ1) 施設数が最多施設数(13)を超えたら終了。そうでなければ、施設数を1つ増やす。

ステップ2) p－メディアン問題を解き、立地点、医療圏人口、平均移動距離、病床数、立地費を算出する。

ステップ3) 費用制約条件を満たし、かつ、平均移動距離がより短いならば、このときの施設数と算出された立地点、医療圏人口、平均移動距離、病床数、

表4 p－メディアン問題の最適解を与える施設立地の場合の平均移動距離と立地費

施設数	平均移動距離	用地取得費	建物建設費	医療機器整備費	立地費
3	7,858	70.7	478.9	171.1	720.7
4	6,457	88.1	455.4	170.0	713.6
5	5,699	95.1	459.5	178.4	733.0
6	5,221	97.6	461.8	178.4	737.8
7	4,756	98.6	465.3	178.4	742.2
8	4,341	108.8	468.8	178.3	755.9
9	4,085	117.5	467.9	178.4	763.8
10	3,838	118.8	471.2	178.3	768.3
11	3,662	120.1	477.8	178.4	776.3
12	3,505	121.6	486.2	178.5	786.3
13	3,355	122.8	494.3	178.4	795.5

注) 距離の単位：m、費用の単位：億円

立地費をあらためて最適解とする。

ステップ4) ステップ1)に戻る。

表4は、施設数を3～13施設へと順次増やした場合における、研究地域全体の平均移動距離と用地取得費、建物建設費、医療機器整備費、立地費をまとめたものである。平均移動距離は、施設数の増加にともない約7.9kmから3.4kmへと短縮している。立地費は、全体的傾向として増加している。立地費に占める各種費用の割合は、建物建設費が最も高く約63%、次いで医療機器整備費が約23%、用地取得費が約14%の順になっている。用地取得費は、施設数の増加にともない約71億円から122億円台へと増加しているのに対し、建物建設費と医療機器整備費はあまり変動が見られない。

図6は、横軸に上越医療圏全体の立地費を、縦軸に上越医療圏全体の平均移動距離をとり、3～13施

図6 上越医療圏における立地費と平均移動距離との関係

設に対する立地費と平均移動距離をプロットしている。上越医療圏全体の立地費と平均移動距離との間には、施設数が増えるにつれて、平均移動距離は短縮するが立地費が増加するというトレードオフの関係が見られることが読み取れる⁷⁾。

4. 2 立地費削減と医療施設の最適立地

公的医療施設の問題点の一つに、高い費用をかけた病院建設がある。医療行為の収入見込みを超えた過大な病院建設を行うことにより、建物や医療機器の企業債の元利償還と減価償却が病院経営を圧迫するのである(伊関, 2008)。そこで、過大な立地費を抑制するため、立地費の抑制数値目標として、いま仮に5%の削減を設定したとしよう。このとき c_{max} は立地費の95%相当と定めることになる。前節において、上越医療圏に存在する8公的医療施設に対し立地費を推定した結果、約772.2億円であることが明らかとなった(表3を参照)。すると、公的医療施設に充てられる立地費の上限は、 $c_{max} = 733.6$ 億円(= 772.2億円×0.95)となる。図6では、その費用の上限を、縦線で示した。その費用内に収まる立地数は、表4と図6から5施設であることがわかる。

図7と表5は、施設数5に対する最適立地と医療圏を示している。施設の最適立地地点は、ID17の糸魚川、ID131の妙高、ID328の高田、ID506の直江津、ID834の柿崎と、人口が密集している主要地域になっている。現8施設の立地点(図4)に比べ大きな相違点は、上越市中心部の高田と直江津、およ

図7 費用関数を組み込んだ立地－配分モデルによる施設数5の最適立地と医療圏

表5 施設数5の最適立地に対する平均移動距離(m)、医療圏人口、病床数、費用の推定

立地点ID	平均移動距離	医療圏人口	病床数	用地取得費	建物建設費	立地費	診療科数
17	7,124	49,438	331	1,931	7,528	12,438	14
131	7,102	49,658	333	1,938	7,575	12,510	15
328	3,859	81,729	548	2,463	13,062	20,457	21
506	4,061	70,269	471	2,322	10,991	17,551	19
834	8,506	44,663	299	858	6,792	10,341	14
全体	5,699	59,151	1,982	9,510	45,948	73,296	-

注) 費用の単位: 百万円

び妙高市にそれぞれ立地している2施設が1施設に減少したことである。これは、人口密集地域での施設統合を示している。

立地費に関しては、500床規模相当の施設がID328の高田とID506の直江津の人口密集地に立地したことにより、施設数は5と少ないが、施設の大規模化で延床面積が増大したために建設費が高くなった。しかし、施設数が3施設減少したため立地費は733.0億円と削減費用の上限内に収まっている。この値は、現状の施設立地に対し推定した立地費772.2億円に比べ39.2億円(5.1%)減である。このように立地費を5%削減する医療施設の立地が得られることが明らかになった。

図7で示された施設数5の最適立地に対する上越医療圏全体の平均移動距離は、5,699mである(表5を参照)。既存8公的医療施設に対する平均移動距離は5,544mであったので(表1を参照)、約150m程度長くなっている。このように、施設数が3施設減っても、公的医療施設へのアクセスは大きな低下につながっていないのである。

このような医療施設の最適立地は、どのような医療サービスを提供するのであろうか。最後に、医療施設の診療科数に注目し、新潟県内の公的医療施設の病床数と診療科数との関係を分析した。横軸に病院規模を表す8階層の病院の病床数を、縦軸に各階層の診療科数を取り、8階層の病院の診療科数をプロットした(図8)。その結果、適合度の良い回帰式が推定された。回帰式は $y = 0.0296x + 4.6611$ であり、決定係数は $R^2 = 0.9591$ であった⁸⁾。表5の各施設の診療科数は、この回帰式から求められたものである。ID328の高田に立地する施設は21の診療科を持ち、上越医療圏の現在の中核的病院と同水準の医療サー

図8 病院の病床数と診療科数の関数

資料：関東信越厚生局新潟事務所所管法人（医科）

ビスを提供する。同様に、ID 506の直江津の施設も19の診療科を持ち中心的存在である。

5. 結論

新潟県上越医療圏を事例として、費用関数を組み込んだ公的医療施設の立地－配分分析を行った。費用関数は、病院の立地費を構成する用地取得費、建物建設費、医療機器整備費とし、病床数8階層と各費用の関係を分析したところ、用地取得費で病床数の増加にともない単位規模あたりの用地取得費が低減することが明らかとなった。これらの費用関数を組み込んで公的医療施設の立地－配分分析を行った結果、立地費が増加すると施設への移動距離は短縮するというトレードオフの関係が現れた。

過大な立地費を抑制するため、立地費の抑制数値目標として、現在の費用水準の5%を削減するという制約条件のもとで、平均移動距離を最小化する立地－配分モデル（p－メディアン問題）を実行した。その結果、上越市中心部の高田と直江津、さらに妙高市にそれぞれ立地している2施設を1施設に統廃合すれば、現在より3施設少ない5施設で、移動距離が約150mだけ長くなるが、費用削減目標を達成する最適立地パターンが存在することが明らかになった。また、この統廃合により病床数200床未満の中小病院⁹⁾がなくなり、病床数500床規模の病院2施設と病床数300床規模の病院3施設の計5施設となり、施設の大規模化が起きた。

本論文では、需要を人口数のみから考察した。今

後の課題としては、高齢者の割合が上昇し、医療サービスの需要も高まることから、年齢階層を考慮した医療サービスの需要を推定することが必要となる。これは、診療科目ごとに需要を推定し、診療科目を考慮した医療施設の立地－配分分析につながる。

最後に、現在の医療は、医療連携計画制度により、自己完結型医療から地域完結型医療へと変わりつつある。これは、各医療施設が機能を分担し、各施設が持つ特性を活かして、効率的で質の良い医療を提供することを目的とする。井出（2010）によると、大病院は今後、専門外来と急性期医療に特化していくことが必要である。それが地域における医療資源配分と効率化につながり、ひいては各医療機関の経営安定化にも資することを指摘している。以上から、このような制度等も念頭において分析を行う必要がある。

注

- 1) p－メディアン問題では、人口、距離、施設数は、外生変数として所与であり小文字で表記される。配分変数は、モデルから決められる内生変数であり大文字で表記される。
- 2) 九つの公的医療施設のうち、精神病床に特化した病院を除いた八つの一般病院を取り上げた。
- 3) 道路距離の測定は、国土地理院の基盤地図情報のHP (<http://www.gsi.go.jp/kiban/index.html>)にある25000数値地図の道路データを使用した。人口は、2005年国勢調査小地域集計を用いた。
- 4) 実勢地価は、地価公示の120%～160%であることから、その平均の140%を乗じることで、実勢地価に直した。
- 5) 平方メートルあたりの建設費は、総務省の公立病院調査と伊関（2008）などを参考に決定した。
- 6) 1床あたりの医療機器整備費は、「静岡県浜松市の新病院整備費」の医療機器整備費と、直近3年以内の建設中または建設予定の新設病院10施設の建設計画または基本構想とから、1床あたりの医療機器整備費の平均値として算出した。
- 7) なお、施設数3の場合は、施設数4に比べ立地費が高くなっており、このトレードオフ関係は見ら

れない。この理由は、施設数3では800床規模の施設が2施設立地するが、施設数4では800床規模の1施設が400床規模の2施設に分割されたことによる。図2に示すように、病院の病床数が大きくなるほど建物床面積は直線より多少高い率で増加することから、施設数3の場合では建物建設費が高くなり、用地取得費の低下分より上回ったものと考えられる。

- 8) 回帰式の推定にあたっては、病床数が700床以上の病院は新潟県には1病院しか存在しないので、「全国病床数ランキング2012年データTOP30」に基づき、全国から700床台の公的医療施設を選び、それらの診療科数のデータを利用した。
- 9) 診療報酬上の区分より、病床数200床未満の病院を中小病院と定義した。

謝辞

本稿の作成にあたり、高阪宏行先生には親切かつ丁寧な御指導を賜りました。匿名の査読者である先生方からは有益な御指摘を頂戴しました。改訂の度に、奥貫編集委員長より貴重な御助言を頂戴しました。ここに記して、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 相羽良寿 (2012) 新潟県上越市における公的医療機関の立地－配分分析. 地理情報システム学会第21回研究発表大会, E-6-3.
- 石崎研二 (2003) 立地・配分モデル. 『地理空間分析』(杉浦芳夫編), 朝倉書店, 61-83.
- 伊関友伸 (2008) 自治体病院の経営のあり方についていくつかの論点補足.
(http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/hospital/pdf/081001_1_si1.pdf)
- 井出博生 (2010) マーケティング. 『医療経営学』(今村知明・康永秀生・井出博生著), 医学書院, 125-137.

高阪宏行 (1984) 『地域経済分析－空間的効率性と平等性－』, 高文堂出版社.

高阪宏行 (2014) 『ジオビジネス：GISによる小売店の立地評価と集客予測』, 古今書院.

Ghosh, A. and Rushton, G. eds. (1987) *Spatial Analysis and Location-Allocation Models*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.

Jones, K.G. and Mock, D.R. (1984) Evaluating retail trading performances. In *Store Location and Store Assessment Research*, eds. Davies, R.L. and Rogers, D.S. Chichester : Wiley, 333-360.

Nozick, L.K. (2001) The fixed charge facility location problem with coverage restrictions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 37(4), 281-296.

ReVelle, C.S. and Swain, R.W.(1970) Central facilities location. *Geographical Analysis*, 2, 30-42.

Rojeski, P. and ReVelle, C. (1970) Central facilities location under an investment constraint. *Geographical Analysis*, 2, 343-360.

Rushton, G. and Kohler, J.A. (1973) ALLOC – Heuristic solution to multi-facility location problems on a graph. In *Computer Programs for Location-Allocation Problems*, eds. Rushton, G. Goodchild M.F. and Ostresh, L.M.Jr. *Monograph Number 6*, Department of Geography, The University of Iowa, Iowa City, Iowa, 163-187.

Wagner, J.L. and Falkson, L.M. (1975) The optimal nodal location of public facilities with price-sensitive demand. *Geographical Analysis*, 7, 69-83.

(2014年4月7日原稿受理, 2014年11月26日採用決定, 2015年3月6日デジタルライブラリ掲載)