

図書館配置問題に対するDEAアプローチ

住岡 智 (沼田一道 助教授)

1. はじめに

我々は地域に存在する様々な施設を利用して生活している。施設には、企業・個人がそこから得られる利益を目的として提供している商業施設と、地域住民へのサービスを目的として提供されている公共施設がある。前者の場合、施設提供者が同種他施設との競合関係の中で出来るだけ多数の来客(利益)が見込める場所を建設地として選ぶが、後者の場合には、施設を利用する側の利便性も考慮して配置される。

本研究では公共施設の配置(新設・拡張)について考える。公共施設を利用する場合には、アクセスのしやすさや施設の魅力も影響するが、最寄りもしくは相対的に近い距離の施設を利用するというケースが多いし、区役所のように利用施設が特定されているものもある。公共施設はその地域全体の人達が利用するものであり、配置を検討する際には人口の多い地域の混雑をなくそうという改善だけでなく、人口を度外視した施設へのアクセスが不便である地域に対する改善も考慮しなければならない。

以下では、公共施設配置問題として横浜市の市立図書館(図1)の新設・拡張計画を取り上げる。地域毎の人口や各既存図書館の位置、規模などをもとに、計画案の「効率性」を評価する方法を提案し、現在の状況でどこにどのような改善が必要かを検討していく。



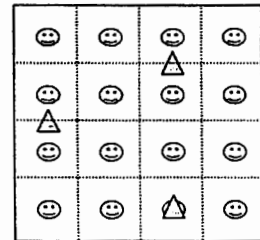
図1. 横浜市の既存市立図書館

2. 研究内容

図書館の新設あるいは既存図書館の拡張(どちらも改善案と呼ぶ)の目標は人口の多い地域を対象とした混雑の緩和と、施設への移動が不便な地域に対するその移動距離の短縮である。この異なる二つの目標をできるだけ少ない費用で実現したい。この問題に対してDEA(Data Envelopment Analysis)の利用を考える。これによって、より少ない費用で二つの改善目標を出来るだけ満たすことのできる効率的な改善案を見出す。

<図書館配置問題を扱う上での本研究での前提>

- ・ 地域は平面と仮定する。
- ・ 地域を格子状に分割し、近似地域を作成する(図2)。
- ・ 利用者を需要点と呼び、 $i(i=1, \dots, m)$ と表す。
また需要点は格子中央に存在する。
- ・ 既存図書館 $j(j=1, \dots, n)$ が存在する。
- ・ 各図書館の規模の大きさ、各需要点の需要量(人口)は所与とする。
- ・ 距離は直線距離で考える。
- ・ 改善案は新規図書館の設立、既存図書館の拡張の二通りである。
また新設候補地は等間隔に設定する。



☺ : 需要点

△ : 既存図書館

図2. 地域の表現

3. DEA

多入力多出力システムの効率性を相対的かつ総合的に評価する手法としてDEAがある。DEAは「産出／投入」という比率尺度によって、より少ない投入（入力）でより大きな産出（出力）を得ているものを効率的であると判断する。本研究では費用という入力項目、改善目標である二つの出力項目があり、「1入力2出力」という形式の問題となる。また、DEAにおける分析対象をDMU（Decision Making Unit）と呼ぶが、本研究では「図書館配置の改善案」がDMUとなる。全ての改善案を相対比較し効率的な改善案を見出す。

＜本研究へのDEA適用＞

入力項目は拡張，新設のための費用である。費用は拡張：新設＝1：2とする。出力項目は次の二項目である。

① 全図書館の利用者増加量の総計（単位：人）

利用者数は各需要点における利用者が最も満足度の高い同一の施設を選ぶと仮定して算出する。施設に対する満足度は施設規模の大きさに比例し、施設への距離に反比例するものとする。需要点*i*の利用者が図書館*j*に対して感じる満足度を U_{ij} とおき、需要点*i*の利用者全体は U_{ij} の最も大きい図書館 $j^*(i)$ を利用することとする。そして満足度が大きいほどその図書館を利用する人が多くなると考え、人口のどのくらいの割合の人達が利用するかもこの U_{ij}^* の値によって変化し、値が大きいほど利用率も高くなると考える。この考え方は最大の満足度を得ることのできる図書館の満足度 U_{ij}^* を基準とし、その値の大きさによって利用率を設定するというものである。以上より図書館*j*の利用者数を Q_j は次のように表わされる。

$$Q_j = \gamma \sum_{i=1}^m p_i \cdot U_{ij}^*(i) \delta_{jj^*(i)}, \quad \text{ただし, } \delta_{jj^*(i)} = \begin{cases} 1 & \text{もし } j = j^*(i) \\ 0 & \text{もし } j \neq j^*(i), \end{cases}$$

$$U_{ij}^*(i) = \max_{1 \leq j \leq n} U_{ij}, \quad U_{ij} = \frac{c_j}{d_{ij}},$$

γ ：定数， c_j ：図書館*j*の規模，

d_{ij} ：需要点*i*から図書館*j*への距離， p_i ：需要点*i*の人口。

そして $\sum_{j=1}^n Q_j$ の値を改善前と改善後で比較し、改善による増加量を出力値とする。

② 最寄り図書館への距離が3 km以上ある地域を対象とした移動距離縮小量の総計（単位：km）

各需要点において最も近い図書館までの距離をそれぞれ計算し、その距離が3 km以上ある地域を対象に改善前と改善後のものを比較してその減少量を見る。その全対象地域の減少量の合計した値を出力値として扱う。なお拡張案に関しては施設位置の変化はないため、この値は一律0となる。

4. 適用

4-1. 対象地域と対象施設

対象地域は神奈川県横浜市全域とし、需要点間は1 kmとする。これにより近似地域を1 km四方の4 2 3の区域に分割する。また新規図書館設立候補地点間は3 kmとし、45の新設候補地（改善案）を考える。既存図書館は横浜市の全18区に各1つずつ設置されており、その拡張案が18で新設・拡張合わせて計63の図書館配置改善案があげられることになる。需要点における人口

は各区の町別人口を調査し、それを元に1需要点当たりの人口を算出した。対象施設である市立図書館の規模の大きさは、各図書館の建物面積、閲覧席数、図書数、最寄駅からの所要時間の4項目から評価し、それぞれ評価値を設定した。その値は1~100である。また、新設図書館の規模に関しては既存図書館の評価値も考慮して80に設定した。拡張する際はその拡張対象の図書館の評価値に30を加えることにする。

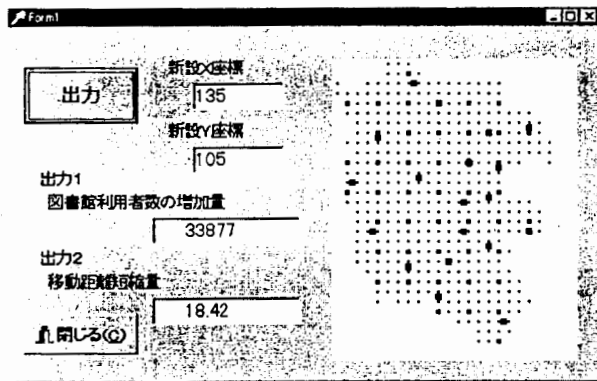


図3. 出力値算出プログラム実行画面

4-2. 実験

対象地域における前述のデータから、各改善案に対応する出力値を計算した(図3)。座標はX, Y共に100mを1単位とした。需要点間の距離1kmは10ということになる。プログラムにはDelphi3.1を用いた。DEAによる効率値の計算にはlp-solveを用いた。

5. 結果・考察

5-1. 計算結果

計算の結果、各改善案の入出力値・効率値は表1、表2のような結果が得られた。63の改善案の中で効率値が1となったのは、座標X=15 Y=45に新設、X=135 Y=105に新設、X=155 Y=75の港北図書館を拡張の3案であった。

5-2. 考察

全体的に左上の青葉区方面に図書館へのアクセスが不便な地域が存在しており、X=15 Y=45に新設する案は出力2の移動距離短縮量が改善案63案中最大であった。同様の理由から、X=45 Y=45に新設する案も高い効率値を示している。X=135 Y=105(神奈川区)に新設する案は周囲に近距離の図書館が存在せず、設置場所を最寄り図書館とする需要点の人口も多いので、納得できる結果である。3つの効率的改善案中、出力1, 2の値にも偏りがなく現実的にも安定した改善結果が見込めそうである。X=75 Y=165も同様の環境だが、効率値が低いのは周囲の人口の差によるものであろう。

表1. 新設案による入出力値と効率値

新設X	新設Y	入力	出力1	出力2	効率値
75	15	2	4271	1.85	0.116
15	45	2	6574	36.09	1
45	45	2	6742	33.42	0.937
75	45	2	5109	8.36	0.289
105	45	2	7031	0	0.13
135	45	2	25118	17.43	0.835
165	45	2	12178	19.43	0.677
45	75	2	4802	5.2	0.206
75	75	2	3644	17.54	0.493
105	75	2	5969	20.55	0.605
135	75	2	23442	8.99	0.616
165	75	2	11258	0.38	0.216
195	75	2	6915	0.8	0.144
15	105	2	17838	1.04	0.351
45	105	2	18089	2.62	0.388
75	105	2	17227	5.05	0.421
105	105	2	19407	19.22	0.788
135	105	2	33877	18.42	1
165	105	2	24006	0.07	0.445
15	135	2	14468	0	0.268
45	135	2	14816	10.14	0.489
75	135	2	14144	11.97	0.524
105	135	2	16019	5.12	0.4
135	135	2	32650	2.97	0.664
165	135	2	21187	0.81	0.408
45	165	2	18087	5.65	0.449
75	165	2	17141	24.18	0.874
105	165	2	19167	13.58	0.644
135	165	2	34618	0	0.64
165	165	2	23346	0.21	0.436
195	165	2	18959	0.81	0.367
45	195	2	13599	7.98	0.416
75	195	2	12784	5.59	0.35
105	195	2	14798	3.45	0.344
135	195	2	31009	0.44	0.582
165	195	2	20201	3.48	0.444
45	225	2	14106	18.5	0.685
75	225	2	12717	5.51	0.347
105	225	2	14949	0	0.276
135	225	2	33011	12.79	0.87
165	225	2	20133	23.6	0.908
105	255	2	10837	1.66	0.234
135	255	2	28214	15.19	0.83
165	255	2	16443	8.78	0.482
165	285	2	10567	1.2	0.22

拡張案に関しては移動距離縮小量が度外視されているため、需要量の大小が大きな影響を与える。X=155 Y=75の港北図書館は周辺の既存図書館との距離も離れている上に、周囲の人口も多いという点が結果として表れている。費用の差を考えれば利用者の増加に関しては全体の中で最も効率的である。逆に非常に非効率的だったもので、例えば中央図書館は横浜市立図書館の代表的な存在で他の図書館とは規模が格段に違うので、今のままで十分でありこれ以上拡張してもたいした改善にはならないという事であろう。中図書館、金沢図書館などは周囲の人口が少なく、改善しても利用者の増加は見込めなさそうである。

6. まとめ

本研究では、横浜市の市立図書館配置に改善が必要だとすれば、どのような改善案が効率的か検討を行った。得られた結果はかなり説得力のあるもので、改善案評価に対するDEAアプローチの有効性が確かめられた。できる限り現実的な評価を行うべく、地域をできるだけ細かく分割して人口計算を行うなどの作業を行ったが、やはり改良しなければならないと思われる点も残った。まず地域が平面であると仮定しており、坂道や階段といった勾配を考慮せず、さらに直線距離のみで計算を行っている。ある程度の解消を試みるために、図書館の評価値を設定する際に最寄駅からの時間という項目を入れるなどの作業を行ったが、実際問題では施設への時間のみならず、坂道などを嫌うケースも多いだろう。これらのことを考慮して配置問題を考えれば、評価の精度も上がるのではないと思われる。

今回結論としては3つの効率的改善案が出たが、費用を少なくしたいという面から考えれば港北図書館の拡張案が良かったり、とにかく不便な人を楽にしたければX=15 Y=45の新設案といったように、あとは施設提供側の改善方針による選択が必要である。また今回は出力項目を利用者増加人数と移動距離縮小量の2つにしたが、他の評価尺度が必要になった場合にはその数量化方法さえ確定できれば、同様の枠組みで評価を行うことができる。この辺は「多入力多出力システム」の評価手法であるDEAの利点である。

【参考文献】

- [1] 刀根 薫・上田 徹 (監訳)：「経営効率評価ハンドブック」pp.205-220, 朝倉書店, 2000.
- [2] 刀根 薫：「経営効率性の測定と改善」, 日科技連出版社, 1993.
- [3] 大久保 賢：「最大移動距離を考慮した競合型施設配置問題」, 東京理科大学工学部経営工学科卒業論文, 1999.
- [4] 富盛 由子：「公立図書館配置問題」, 東京理科大学工学部経営工学科卒業論文, 2000.
- [5] 横浜市中央図書館：「横浜市の図書館2000」, 2000.
- [6] 横浜市区：「区勢概要」, 1999.

表2. 拡張案による入出力値と効率値

拡張図書館	X	Y	評価値	入力	出力1	出力2	効率値
中央	155	140	100	1	2557	0	0.095
鶴見	195	70	50	1	5532	0	0.205
神奈川	165	110	55	1	12896	0	0.47
中	195	175	45	1	4997	0	0.185
南	130	175	70	1	11533	0	0.427
港南	115	205	60	1	20738	0	0.767
保土ヶ谷	130	145	85	1	13984	0	0.517
旭	85	120	45	1	10124	0	0.374
磯子	155	190	60	1	9346	0	0.346
金沢	170	265	65	1	2806	0	0.104
港北	155	75	75	1	27034	0	1
緑	45	80	70	1	10665	0	0.395
山内	80	25	75	1	5896	0	0.218
都築	105	45	70	1	22292	0	0.825
戸塚	75	210	75	1	12514	0	0.463
栄	105	240	55	1	7254	0	0.268
泉	40	175	65	1	9058	0	0.335
瀬谷	20	125	55	1	7437	0	0.275