

包絡分析法DEAのGIS適用に関する研究 A study on a development DEA on Geographic Information Systems.

学籍番号 06601 氏名 浅野 嘉夫

指導教員 島川 陽一

概要

包絡分析法 (Data Envelopment Analysis ; 以下 DEA) は効率性の評価のために米テキサス大学の Charnes と Cooper により開発された手法である。この方法は、事業体の効率的フロンティアの存在を明示し、非効率な事業体の改善点を提言する。多入力、多出力系のシステムの効率性を公平に評価するためにパラメータの推定が必要となるが、その推定には様々なモデルが提案されている。現在最も使用されているのが線形計画法をそのまま適用する CCR 法である。本稿では土地利用評価の事例に CCR 法に基づく DEA の適用する。これにより得た知見をもとに、DEA を GIS に適用する問題点を明確にする。

1. はじめに

DEA は別名で効率性分析法とも言われ、多数の入力と出力データから定義される効率性を相対的に評価する手法である。この評価法の特徴は評価対象とする事業体の特徴を最大限考慮する点にあり、各事業体にとって都合の良いパラメータ (重み係数) により評価を行う。この手法は従来の回帰分析法などとは異なり、平均像に基づく分析法ではない。効率的フロンティアをベースとした効率性の評価法である。

DEA では一般に分析対象を意思決定者 (Decision Making Unit : 以下 DMU) という。DMU とは物理的な存在だけでなく、企業、学校などの組織体や個人などの活動そのものを意味する。他と比較して少量の入力で大量の出力を産出する DMU は効率的であるとみなされる。

このような特徴を持つ DEA は、投票による順位づけ[10]、製品の比較、生活環境の評価[9]など相対効率性の分析に用いられてきた。野球選手の評価に DEA を適用した研究[3][4][7]や最近ではサッカー選手の評価にも適用されている[5]。様々な分野への適用が可能であるにもかかわらず、DEA の標準的な効率性分析以外への適用事例はわずしか見当たらない。本稿では地理情報システム (以下 GIS) の主要な分野である空間分析への適用を試みる。主な適用対象は土地利用とし、地価測定地点の土地利用の効率性の分析を DEA を用いて行う。

2. 包絡分析法DEA

DEA は DMU の比率尺度 (出力/入力) によって効率性を相対的に評価する方法である。

n 個の DMU が存在すると仮定する。 m 個の投入項目と s 個の産出項目が選定され、DMU j の投入データを $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ 、産出データを $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$ とする。各 DMU のデータを縦に並べて行列を作り、入力データ行列 X と出力データ行列 Y とする。入出行列 X, Y はそれぞれ以下に示すような $(m \times n)$ 型、 $(s \times n)$ 型行列となる。

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & y_{s2} & \cdots & y_{sn} \end{pmatrix} \quad (2)$$

入出力データに重みをかけて加えた仮想的入出力を

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n u_i y_{i0}}{\sum_{j=1}^m v_j x_{j0}} \quad (3)$$

で表す。ここで式 (3) の分子は仮想的出力、分母は仮想的入力である。式 (3) の θ を最大化して v_j, u_i の重み係数を決定する。このとき、 $v_j, u_i \geq 0$ であり、重み v_j, u_i による仮想的入出力の比は 1 以下にしなければならない制約条件がつく。

この最適化問題は分数計画問題に定式化される。これを線形計画問題に定式化しなおしたのが Charnes and Cooper[6] である。等価な数値計画問題を以下に示す。

$$\max \quad \theta = u_1 y_{10} + \cdots + u_s y_{s0} \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad v_1 x_{10} + \cdots + v_m x_{m0} = 1 \quad (5)$$

$$u_1 v_{1j} + \cdots + u_s v_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \cdots + v_m x_{mj} \quad (6)$$

($j = 1, \dots, n$)

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (7)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (8)$$

本稿では式 (1), (2) で与えられるデータを行列においてこの線形計画法を解くことにより、最適な重み係数を決定する。

最適化問題 (4) ~ (8) の最適解を (v^*, u^*) 、その目的関数を θ^* とする。このとき $\theta^* = 1$ ならば DMU₀ は D 効率的である。 $\theta^* < 1$ ならば D 非効率的である。

D 非効率的であるとき、制約式 (6) において重み (v^*, u^*) に対して等式が成立している j の集合を

$$E_0 = \left\{ j : \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj} = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}, j = 1, \dots, n \right\} \quad (9)$$

とする。 E_0 に属する活動は DMU₀ を D 非効率にさせる要因である。 E_0 は優位集合となっており、その活動の張る凸集合を効率的フロンティアと呼ぶ。

3. 地価データのDEA分析

3.1 使用するデータ

本稿ではDMUを地価調査地点とする。地価は平成6年東京都基準地地価と細密数値情報(10mメッシュ土地利用)を用いる。

本研究で用いる土地利用分類の定義を表1に示す。表の中で要因と示されている部分は、該当項目をモデルの入出力をどちらで使用するかを示したものである。土地価格に対して正に作用するか負に作用するかで正負を決定した。

表1. 土地利用分類と要因

要因	正	負
土地利用分類	一般住宅層	山地・荒地
	密集低層住宅地	田
	中高層住宅地	畑・その他
	商業・業務用地	造成地
	道路用地	空地
	公園・緑地等	工業用地

3.2 効率地点・非効率地点の分析

島嶼部を除く東京都内の地価調査地点のD効率値を計算する。図1にD効率値地点を黒三角で、非効率地点を黒丸で表す。また、土地価格の等値線も与える。都心部から放射状に伸びる線はJR線と私鉄線である。

最初に、D効率地点の説明を行う。等値線より地価が高い地域がわかる。JR山手線に沿って池袋(豊島区)、新宿、渋谷、品川、(品川区)の地価は高い。文京区、千代田区、港区、中央区は鉄道路線に関係なく全体で地価が高くなっている。D効率的地点はこの地価の高い山手線内側を中心に分布している。また、山手線の北側地域である北区、荒川区、足立区もD効率的地点が分布している。JR山手線の外におけるD効率地点としてはJRと私鉄の路線に沿って分布する傾向が認められている。

一方、練馬区、中野区、葛飾区、江戸川区の鉄道路線から離れた地域を中心に非効率地点が分布しているのがわかる。

次に、非効率地点の説明をする。図を見ると地価等値線と対応して、山手線の北側地域から山手線の内部を通過して川崎地域にかけてD効率的な地域帯が確認される。山手線の東西地帯はD非効率的な地域が存在している。

非効率地点の主な要因を調べた結果、主な要因は地域によってばらついているという結果がでた。その中でも、工業用地は比較的多くの地点で主要な要因になっている。これは都市計画において工業用地はできるだけ集約したほうが良いということを示している。



図1. D効率値地点と非効率地点 (等値線は地価)

4. おわりに

本稿では包絡分析法DEAの空間分析への応用を試みた。GISを使用して土地利用の効率性の測定を行った。また、D非効率地点の効率的フロンティアを調べ、土地の有効利用のための改善指針を得る方策の検討を試みた。結果として得られたD効率的地点は公共交通機関の利便性の良い地価の高い地点とほぼ一致することがわかった。

土地所有者は自らの土地をその効用が最大になるように活用すると一般的に考えられている。しかし、土地が有効活用されているかどうか、また、されていないかのような目標のもとに土地を利用すべきかは土地利用の難しい問題である。DEAを適用した本検討によって得られる指標はその有効な指針になるものと期待される。

本研究では以下が問題点として明らかになった。

- (1) DEAの入出力にあげた要因が地価に対してどのように、またどの程度寄与するか不明確である。
- (2) D非効率地点の優位集合から分析地点の目指すべき地点は明らかになった。しかし、あげられた要因をどのように改善するかは明らかでない。

(1) に対しては地価に寄与すると思われる要因を回帰分析などで分析し、DEAの入出力に何を選択するべきかの知見を得ることが必要だろう。(2) についてはもう少し結果の分析をミクロ的な視野で詳細に行う必要があると考えている。また、他にもいくつかの適用上の問題があるが、解決策を今後検討していきたい。

DEAは現在まで標準的な効率性分析以外への適用はわずかしき見当たらず、GISでの適用もあまり行われていないのが現状である。今後、様々なGIS上の問題にDEAを適用していきたいと考えている。

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—包絡分析法の理論と応用」, 朝倉書店, 2000.
- [2] 刀根薫: 「経営効率性の測定と改善—包絡分析 DEA による」, 日科技連, 1993.
- [3] 橋本昭洋: 「DEA による野球打者の評価」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 38, pp.146-153, 1993.
- [4] 上田徹・住舎俊宏: 「どの野球選手の攻撃力が高いのか」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 47, pp.137-141, 2002.
- [5] 廣津信義・秋山大輔・上田徹: 「サッカー選手の DEA の視点からの評価」, オペレーションズ・リサーチ, Vol. 51, pp.655-661, 2006.
- [6] 島川陽一, 浅野嘉夫, 笠原太郎: 「包絡分析法 DEA の土地利用評価への適用」, 地理情報システム学会講演論文集, Vol. 17, pp.1-6, 2007.
- [7] 浅野嘉夫, 笠原太郎, 島川陽一: 「包絡分析法 DEA の適用事例研究」, 高専学会講演論文集, pp.2-9-2-12, 2007.
- [8] Charnes, A. and W.W. Cooper: "Programming with Linear Fractional Functionals", Naval Research Logistics Quarterly, 15, pp.333-334, 1962.
- [9] Sueyoshi, T: "Measuring the industrial performance of Chinese cities by data envelopment analysis." Socio-Econ. Plann.Sci., 26, pp.75-88, 1992.
- [10] Thompson, R.G., Singleton, F.D., Jr., Thrall, R.M., and Smith, B.A.: "Comparative site evaluation for locating a high-energy physics lab in Texas." Interfaces, 16, pp. 36-49, 1986.