

包絡分析法を用いた電気自動車導入による環境改善効果の評価

北海道大学大学院 学生員 劉 志鋼
 北海道大学大学院 正会員 岸 邦宏
 北海道大学大学院 フェロー 佐藤 馨一

1. はじめに

車依存交通により深刻化する大気汚染や温暖化などの地球環境問題や石油資源の枯渇問題が顕在化して久しく、環境をはじめ、社会、経済など総合的な評価基準を考慮した都市交通システムが求められている。一方、新たな交通システムは自動車交通の持つ利便性を犠牲にすることなく、モビリティの確保との両立も重要である。このような背景で、電気自動車はその大量普及が期待されている。

本研究では企業の経営活動の評価に用いられる包絡分析法(DEA)を適用し、様々な要因から都市交通を効率性という観点で評価することを目的とした。すなわち環境負荷、交通にかかる費用、交通事故、そしてモビリティの項目から都市交通の効率性を評価するものである。これにより環境負荷と都市交通の効率性の関係を示し、電気自動車の導入による環境改善効果を分析する。

2. 包絡分析法

(1)CCR モデル

CCR (Charnes Cooper Rhodes) モデルは、DEA の枠組に基づいた最も基本的なモデルである。いま、 n 個の DMU があり、 m 個の入力項目と s 個の出力項目が選定され、任意の DMU である DMU_0 の入力データを $x_{10}, x_{20}, \dots, x_{m0}$ 、出力データを $y_{10}, y_{20}, \dots, y_{s0}$ とする。さらに入力項目間のウェイトを v_i ($i = 1, \dots, m$)、出力項目間のウェイトを u_r ($r = 1, \dots, s$) とすると、次式に示す分数計画問題に定式化され、一般には(1)~(4)を解くことによって最適解を求める。

$$\text{目的関数} \quad \max \theta = \frac{u_1 y_{10} + u_2 y_{20} + \dots + u_s y_{s0}}{v_1 x_{10} + v_2 x_{20} + \dots + v_m x_{m0}} \quad (1)$$

$$\text{制約条件} \quad \frac{u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj}} \geq \theta \quad (j=1, \dots, n) \quad (2)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (3)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (4)$$

(1)~(4)の最適解を (v^*, u^*) とし、目的関数を θ^* とすると

き、 $\theta^* = 1$ ならば DMU_0 は D 効率的

$\theta^* < 1$ ならば DMU_0 は D 非効率的であるという。

また、各 DMU の最適ウェイトにその DMU のデータをかけ合わせた値を加重入出力値といい、加重入出力値により、DMU が得意としている項目を把握できる。

(2)Inverse DEA

Inverse DEA とは、DEA とは逆に最も不利なウェイトづけを行って評価する方法である。Inverse DEA では L 効率値が評価指標となっている。この L 効率値が 0 のとき L 非効率的といい、0 以外のとき L 効率的という。

3. DEA による都市交通効率性の評価

(1) DEA における入出力項目の設定

本研究では、DEA を用いて、全国の 12 都市の都市交通モビリティを評価した。評価にあたっては、都市交通水準の指標が以下の 4 つのものであると仮定し、それぞれ定義した。

1) モビリティ (千人あたりの 1 時間の移動距離)

$$= ((\text{各交通モードの平均速度 (km/h)}) \times (\text{各交通モードのトリップ数}) \times 1000 / \text{人口})$$

2) 環境への負荷 (交通機関別の CO2 排出量)

$$= ((\text{各交通モード CO2 排出原単位 (トン/十億人 km)}) \times (\text{各交通モードのトリップ数}))$$

3) 費用 (千人当たりの公共交通にかかる費用)

$$= (\text{道路} \cdot \text{都市計画街路事業費}) \times 1000 / \text{人口}$$

4) 安全性 (千人あたりの交通事故死者数)

$$= (\text{年間交通事故死者数}) \times 1000 / \text{人口}$$

DEA で解析するにあたり、小さい方が望ましい「費用」、環境への負荷、「安全性」を入力項目とし、大きい方が望ましい「モビリティ」を出力項目とした。

(2) DEA による解析結果

表 1 に、CCR モデル解析による D 効率値と Inverse DEA による L 効率値の 2 指標の組み合わせによる解析結果を示す。L 効率値と D 効率値の組み合わせで、各都市の特性を以下の 4 つに分類することができる。

A : 全ての項目に対し欠点がなく優れた交通要素をもつ都市 (D 効率、L 効率)

キーワード: 電気自動車、包絡分析法、効率性

連絡先: 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目、TEL 011-706-6822、FAX 011-706-6216

- B: いくつかの項目に対しては、かなり優れた交通要素を持つ都市（D効率、L非効率）
- C: 全ての項目に対し欠点の少ない都市（D非効率、L効率）
- D: いくつかの項目に対し、欠点のある都市（D非効率、L非効率）

表1 DEA解析結果

都市名	D効率値	L効率値	分類
川崎市	1.0000	0.4682	A
札幌市	1.0000	0.3014	A
北九州市	1.0000	0	B
神戸市	1.0000	0	B
千葉市	1.0000	0	B
大阪市	0.9519	0.2785	C
横浜市	0.9219	0	D
仙台市	0.9174	0.2789	C
京都市	0.8953	0	D
名古屋市	0.8859	0	D
福岡市	0.8104	0	D
広島市	0.7752	0	D

(3) 加重入力値からの分析

DEAによる各都市の加重入力値の割合を図1に示す。これにより各都市がどの項目において優れているかを捉えることが可能である。ここでは、札幌・横浜等のように安全性において優れている都市、また神戸・仙台市・千葉市、広島市のように環境負荷、京都市のように費用において優れている都市の3つのグループに分けられる。

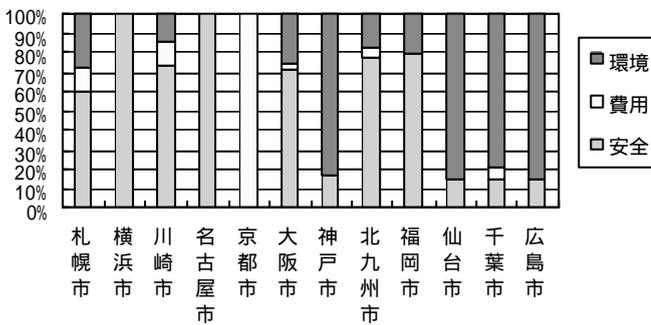


図1 加重入力値の割合

4. 電気自動車の導入による都市交通の効率性の改善

(1) D非効率都市への改善案

DEAのD効率値で非効率と判断された都市については、さまざまな改善案が考えられる。ここでは効率的となるために、表2のように費用、環境への負荷、安全性において減少させることが必要である。しかし、これらの改善量は理論値であり、実現可能案であるとは限らない。例えば費用の面においての改善は困難である。そこで環境負荷と安全性の改善が現実的な改善案であるとする。

(2) 電気自動車の導入による都市環境改善効果

ここでは「環境負荷」について、電気自動車を導入した場合の二酸化炭酸削減を想定して分析する。環境負荷の入力データは、走行する交通機関のCO2排出量で評価した。それにより、電気自動車による都市環境負荷の削減については二酸

表2 OCRモデルに基づく改善案

都市名	安全 (千人当たり死者数)	費用 (百万円/千人)	環境 (×10 ⁷) (トリップ・トン/十億人・km)
横浜市	0 0.00%	-5.32 -25.70%	-3.285618385 -33.60%
名古屋市	-0.01 -11.40%	-9.17 -31.20%	-1.679558306 -16.40%
京都市	-0.02 -33.30%	-1.78 -10.10%	-2.005 -39.00%
大阪市	0 0.00%	-1.52 -4.80%	-0.427915126 -4.80%
北九州市	0 0.00%	-27.35 -57.20%	-0.078 -1.70%
福岡市	-0.01 19.00%	-25.88 53.60%	1.180641475 19.00%
仙台市	-0.01 -8.30%	-3.33 11.00%	-0.438749182 -8.30%
広島市	-0.02 22.50%	-7.88 26.40%	1.22854836 22.50%

化炭素 CO2 の削減効果が 100% とする。そこで、D 効率値で非効率とされた都市について、それぞれ電気自動車の導入による D 効率値の変化を算出した。ただし、1 つの都市についての環境負荷の算出する時には、他の都市は現状のままと設定した。また、各交通機関トリップ数が変わらないという前提で、電気自動車の自動車におけるシェアは 30% と仮定した。分析した結果は表 3 のとおりである。大阪市、仙台市が電気自動車導入する前で非効率とされた都市から効率的になったことがわかる。福岡市、名古屋市、広島市については、D 効率値は明らかに伸び、電気自動車の導入に伴う都市モビリティ効率性の改善効果があることを示したが、全体の効率という観点から他の項目の安全性や費用にも適当の対策が求められている。

表3 電気自動車導入によるD効率値の変化

都市名	電気自動車導入前のD値	電気自動車導入後のD値
大阪市	0.9519	1.0000
横浜市	0.9219	0.9219
仙台市	0.9174	1.0000
京都市	0.8953	0.8953
名古屋市	0.8859	0.9312
福岡市	0.8104	0.8500
広島市	0.7752	0.9686

5. おわりに

本研究では、DEAを用いて、都市交通を効率性という観点でモビリティ、環境、社会、経済など複数の評価基準を考慮した都市交通の効率性を評価した。その結果、環境負荷が都市交通モビリティに寄与することを示した。そして、都市環境負荷に極めて削減効果が持つ電気自動車の導入により、都市交通が効率的な状態になりうることを明らかにした。

参考文献

- 1) 刀根薫：包絡分析法 DEA による経営効率の測定と改善，日経流通，1993
- 2) 大都市統計協議会：大都市比較統計年表/平成7年，文昭堂，1997