

# Network DEAを用いた 公共交通サービスレベル評価法の構築

高田 寛<sup>1</sup>・山浦 雄太<sup>2</sup>・岸 邦宏<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社日本都市交通研究所 (〒060-0062 札幌市中央区南2条西6丁目17-2)  
E-mail: ht@jutl.jp

<sup>2</sup> フューチャーアーキテクト株式会社 (〒141-0032 東京都品川区大崎1-2-2)

<sup>3</sup>正会員 北海道大学大学院工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)  
E-mail: kishi@eng.hokudai.ac.jp

本研究では、札幌市の各地域における移動ニーズに対し、多種の要因を考慮して、提供されている公共交通サービスレベルをNetwork DEAを適用し、効率性という観点から地域別に評価した。この結果、都心への公共交通サービスレベルが低い地域を明確にするとともに、公共交通サービスレベルの地域格差を埋める代替交通として、軌道系交通だけではなく、地下鉄整備により、再編され廃止された都心直行型バス路線の必要性を視野に入れ、その地域について明確にした。

**Key Words :** NetworkDEA, public transportation, service level, the midtown area

## 1. はじめに

現在、札幌市の人口は増加を続け、1999年には約181万人だった人口が2011年には約190万人となっており、人口増加に伴い、郊外化が進み、交通移動手段については、自家用車中心の生活になっている。図1に示す第4回道央都市圏パーソントリップ調査(2006年)のトリップ割合からも、交通手段自動車のトリップが増加している。

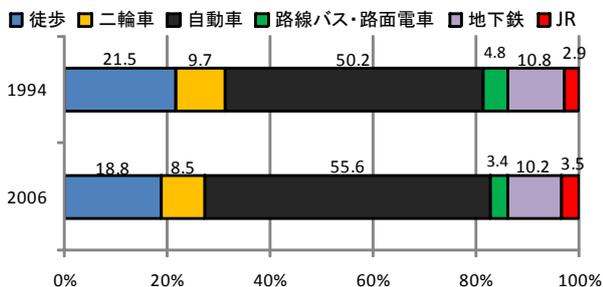


図-1 札幌市における交通手段分担率の変化

このような中、近年、コンパクトシティの推進や自動車から公共交通への転換が促されているが、この施策に対しては、公共交通のサービスレベルが重要である。

札幌市では、2004(平成16)年3月に全国の政令指定都市では初めて市営バスが民間委譲、バス路線の再編が行われた。また、バス政策の一つとして、1971(昭和46)年の地下鉄開業を契機に、各地区から都心に直行していたバス路線を地下鉄駅に接続させ、バスと地下鉄の一体的な利用推進が図られ、乗継運賃制度の導入と主要な地下鉄駅でのバスターミナルの整備が進められてきた。

しかし、都心直行型から地下鉄乗継型へバス路線網を再編したことにより、バスは地下鉄に接続されたが、バスの運行便数が地下鉄に比較して極めて少なく、乗り継ぎの利便性が低い、バスと地下鉄を乗り継ぐことにより運賃が高くなった、乗り継ぎ時の快適性を確保するため、乗り継ぎ施設の整備が必要となったなどの課題が示されている。

そこで、本研究では、札幌市の各地域における移動ニーズに対し、多種の要因を考慮して、提供されている公共交通サービスレベルをNetwork DEAを適用し、効率性という観点から、地域別に評価することを目的とする。

同様の研究として、山浦らが札幌市の公共交通サービスレベルをNetwork DEAを適用し、軌道系交通の必要性を示している。

しかし、軌道系交通の整備については、投資費用の問題もあり、札幌市においては財政が逼迫しているため、

本研究では、これらの研究成果を踏まえ、公共交通サービスレベルの地域格差を埋める代替交通として、都心直行型交通の整備が必要な地域について明確にする。

## 2. DEAの概要<sup>1)</sup>

### (1)包絡分析法 (Data Envelopment Analysis : DEA)

事業者の活動を資源の入力から、便益を出力する変換過程として見た場合、効率性を測定するためには(出力/入力)という比を用いて、その変換過程の効率性を測定するのが比率尺度である。とりわけ、経営効率の評価は、支出と収入の比を用いて効率性を評価するのが一般的であるが、多入力・多出力データにおいては、比率尺度による効率性評価は容易ではなく、多基準型の評価問題の解法を得意とするのがDEAである。

DEAは、最も少ない入力で高い出力を産出しているDMU(Decision Making Unit ; 事業者)Aを効率的と評価し、原点とDMU-Aを結ぶ直線を効率的フロンティアと呼ぶ。

効率的フロンティアは最優秀DMUのパフォーマンスを示し、他のDMUはこの効率的フロンティアを基準に成績を評価し、DMU-Aの効率性を1と定め、他のDMUを相対的に評価していくことができる。したがって、DEAによる効率性評価は最も効率的なDMUを基準とした相対評価であることから、非効率的なDMUに対して実現可能な改善を示すことができることも特徴である。

DEAの最も基本的なモデルとしてCCR(Charnes Cooper Rhodes)モデルがあるが、DMU<sub>j</sub>(j=1, ..., n)において、入力値を  $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ 、出力値を  $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$  とすると、評価対象とする任意のDMU<sub>o</sub>の効率性は式(1)~(4)に定式化される。

$$\text{目的関数 } \max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \dots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \dots + v_m x_{mo}} \quad (1)$$

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

$$\text{入力値へのウェイト } v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (3)$$

$$\text{出力値へのウェイト } u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (4)$$

最適解を  $(v^*, u^*)$  とし目的関数値を  $\theta^*$  とするとき、以下のように判断できる。

- i.  $\theta^* = 1$  ならばDMU<sub>o</sub>はD効率的
- ii.  $\theta^* < 1$  ならばDMU<sub>o</sub>はD非効率的

なお、CCRモデルでは、入力値  $x \in R^m$  と出力値  $y \in R^s$  の対を活動とし、活動の集合を生産可能集合  $P$  と定義した場合、 $P$  に属する活動  $(x, y)$  に対しては、それを  $k$  倍した活動  $(kx, ky)$  に属する規模のリターンが一定との仮定が設けられている。

## 3. Network DEAの適用<sup>2)</sup>

従来のDEAは、DMUの内部構造を考慮しておらず、DMUの入力変数と出力変数だけを用いて分析することから、Black boxモデルと呼ばれることもある。また、各評価指標に対し、DMUの内部構造を考慮していないため、D効率値は独立して算出される。そのため、同一のDMU内で、ある出力変数が異なる部門で入力変数の場合、同じ変数にも関わらず、部門毎でその最適値が異なり、連続性を保たない結果となる。一方、Network DEAは、各部門を結ぶ変数をリンク変数とすることで、部門間の繋がりの中で、最適値を一つだけ算出する。

本研究では、各地域における都心への公共交通サービスレベルを評価するが、地域内で目的が完結したり、都心への交通手段についても、公共交通ではなく、自動車を利用した場合の方が利便性が高い可能性もあり、これらの項目は複雑に相互に影響している。そこで、本研究では内部構造を考慮できるNetwork DEAモデルを適用し、公共交通サービスレベルに関連する各要因のモデル構造を構築し、評価を行う。

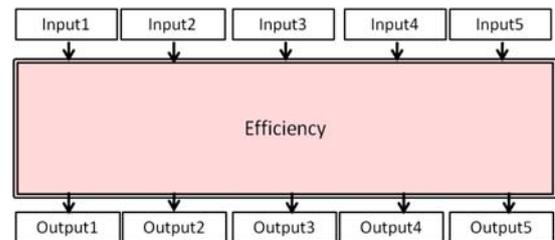


図-2 従来型DEAのモデル構造

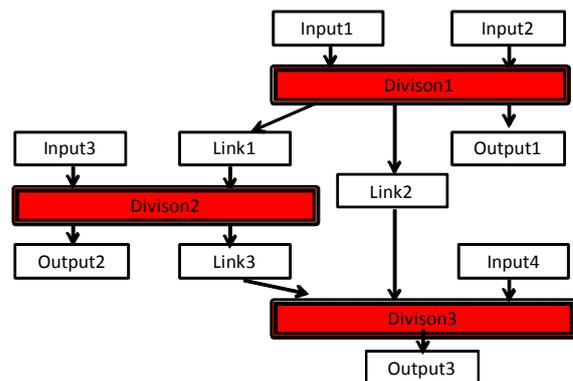


図-3 Network DEAのモデル構造

## 4. Network DEAによる札幌市の公共交通評価

### (1) 本研究におけるNetwork DEAのモデル構造

本研究では、ある地域から公共交通で都心に行く効率性を3部門として捉え、同地域や近郊地域に買物に行く効率性を算出し、次に、その効率性を踏まえ、自動車ですべての都心に行く効率性を評価する。これは、都心への需要があるとしても、自動車ですべての都心に行く効率性が高い場合、

公共交通で都心に行く効率値は低くなる。このような交通需要を踏まえて、最終的に都心への公共交通サービスレベルに着目し、効率性の観点から評価を行う。

以下に本研究で構築した公共交通サービスレベル評価の内部構造モデルを示す。

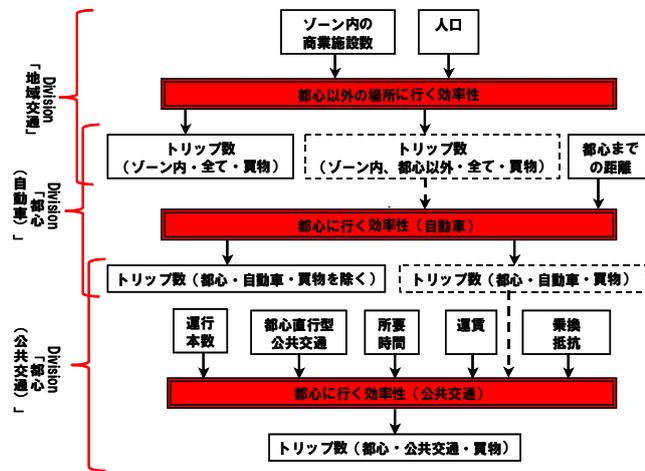


図4 本研究におけるNetwork DEAのモデル構造

## (2) 評価対象と都心の定義

本研究は、札幌市のCゾーン200ゾーンを評価対象とし、各入出力項目を設定する。

本研究における都心については3種類定義する。はじめに、自動車利用における都心は、地下鉄大通駅、もしくはJR札幌駅のどちらか近い方とした。次に、公共交通を利用した場合の都心の定義は、地下鉄さっぽろ駅、地下鉄大通駅、JR札幌駅の3駅における最も所要時間が少ないものとする。最後に、トリップ数をカウントする場合の都心の定義は、札幌駅、大通駅周辺を網羅するゾーンとした。

## (3) 地域交通の効率性評価

地域交通の効率性評価については、入力項目にゾーン内居住人口（人）、各ゾーン内の大型商業施設数を設定し、出力項目には、ゾーン内・全交通手段・目的買物トリップ数、ゾーン内及び都心部以外・全交通手段・目的買物のトリップ数を設定する。

この部門は、人口及び商業施設が少ないにも拘わらず、同一ゾーン内や都心部以外のゾーンで買い物行動を完結するトリップ数が多いことから、地域内交通の効率性を評価する指標として定義する。

## (4) 自動車利用による都心部への効率性評価

自動車による都心部への効率性評価については、入力項目に都心部までの距離（km）、地域交通の出力項目であるゾーン内及び都心部以外・全交通手段・目的買物のトリップ数を設定する。出力項目には、都心・交通

手段自動車・目的買物以外のトリップ数、都心・交通手段自動車・目的買物のトリップ数を設定する。なお、都心までの距離は、そのゾーンの中心から地下鉄大通駅もしくは札幌駅のどちらか近い方までの距離とした。

この部門は、都心までの距離が近く、都心部以外・全交通手段・目的買物のトリップ数が少ないにも拘わらず、都心へ自動車で行くトリップ数が多いことから、都心へ自動車利用による効率性を評価する指標として定義する。

## (5) 公共交通による都心部への効率性評価

公共交通による都心部への効率性評価については、入力項目に都心部までの公共交通機関の運行本数、都心直行型交通の有無（ダミー変数）、所要時間（分）、運賃（円）、乗継抵抗、都心への自動車利用による買物トリップ数を設定した。出力項目は、都心へ公共交通を利用する買物トリップ数を設定した。

なお、入力項目である乗継抵抗について以下に示す。

乗継時に提供されるサービスの1つに、乗り継ぎのしやすさがあげられる。すなわち、バスターミナルから地下鉄ホームまでの距離や階段の多さなどの移動抵抗は、利用者へのサービスレベルを意味する。本研究では、エネルギー消費の観点から日本鉄道公団<sup>3)</sup>で定められている式(5)を用いた。なお、説明変数のエレベータの値は、階段の段数をどれだけエレベータで移動できるかという考え方から、階段で移動した場合の段数を代入する。

$$E = X_1 + 0.636X_2 + 1.418N_1 + 0.831N_2 + 0.564N_3 + 0.424N_4 + 0.291N_5 \quad (5)$$

$E$  : 乗換抵抗

$X_1$  : 水平移動距離 (m)

$X_2$  : 動く歩道の水平距離 (m)

$N_1$  : 上り階段数 (段)

$N_2$  : 下り階段数 (段)

$N_3$  : 標準エスカレータ (段)

$N_4$  : 高速エスカレータ (段)

$N_5$  : エレベータ (段)

以上の入出力項目を設定し、NetworkDEAにより札幌市内Cゾーンの都心部への公共交通サービスレベルの評価を行う。

## 5. 分析結果の考察

### (1) 総合効率値の考察

Network DEAによるゾーン別分析結果を表1及び図5に示す。

札幌市全体の平均効率値は、0.417であった。都心を含む中央区の効率値が最も高く0.533となっており、次

いで東区、豊平区という順になっている。一方、軌道系交通が全くない清田区が最も効率値が低く0.322となっている。総じて、軌道系交通沿線地域については、効率値が高くサービスレベルが高いことがわかる。

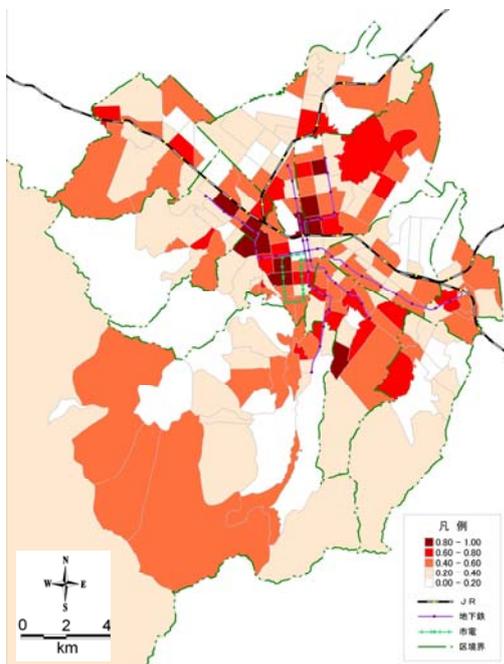


図-5 総合効率値の分析結果

表-1 区別平均総合効率値

中央区	北区	東区	白石区	豊平区	
0.533	0.354	0.515	0.328	0.497	
南区	西区	厚別区	手稲区	清田区	平均
0.382	0.422	0.394	0.380	0.322	0.417

(2) 改善案の考察

算出された改善案から、都心への公共交通を評価する入力項目として設定した、都心直行型交通について改善案の考察を行った。有無のダミー変数を設定していることから、改善案については、無しから有りに変化する地域であるが、札幌市内全体で表2、図6に示すように52のCゾーンが改善が必要となった。区別では、北区が9ゾーンと最も多くなっており、次いで西区が7ゾーンとなっている。

表3に示す各区の全ゾーン数に対する改善が必要なゾーンの割合は、清田区が全ゾーン数の約4割のゾーンで改善が必要となっている。総じて、清田区については、軌道系交通がない上に、都心直行型交通も少ないことから、都心への交通サービスレベルは低く、今後は、軌道系交通だけではなく、都心直行型バス交通も考慮すべきだと考える。

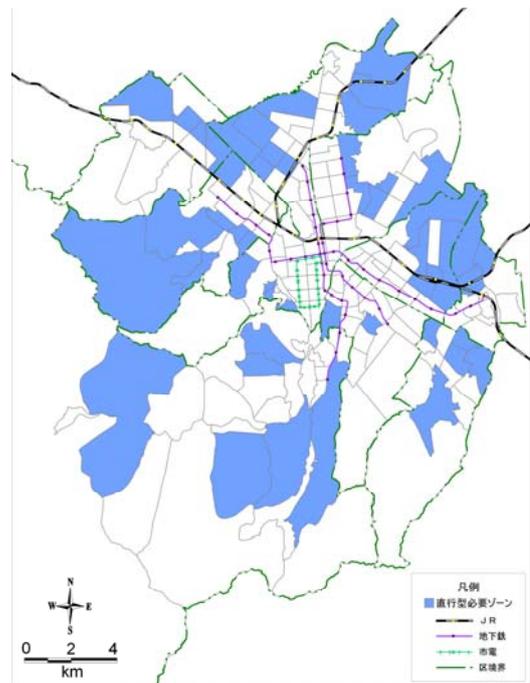


図-6 都心直行型交通が必要なゾーン

表-2 都心直行型交通が必要なゾーン数

中央区	北区	東区	白石区	豊平区	
4	9	5	6	2	
南区	西区	厚別区	手稲区	清田区	合計
6	7	4	4	5	52

表-3 都心直行型交通が必要なゾーン割合

単位%				
中央区	北区	東区	白石区	豊平区
16.7	32.1	22.7	28.6	10.0
南区	西区	厚別区	手稲区	清田区
24.0	35.0	33.3	26.7	38.5

6. おわりに

本研究では、Network DEAを用いて、多角的な視点から、札幌市の公共交通を利用して都心に行くサービスレベルを評価し、さらに都心直行型交通の改善案に着目し、必要な地域について明確にできた。

今後は、他部門の改善案についても考察を深化させるとともに、本研究ではダミー変数として扱った都心直行型交通に関して、実便数を追加することで、便数の増減についても分析を行いたい。

参考文献

- 1) 刀根薫：経営効率性の測定と改善，日科技連，1993.
- 2) 木下善皓、刀根薫、筒井美樹ら：Network DEA と Separate DEA の比較，日本 OR 学会 2008 年秋季研究発表会アブストラクト集，pp212-213、2008.
- 3) 日本鉄道建設公団東京支社：交通結節点のあり方に関する研究，1～3，1993～1995.