

# Network DEA による札幌市の 公共交通サービスレベルの効率性評価

Efficiency Evaluation for LOS of Public Transportation in Sapporo by Network DEA

北海道大学大学院工学研究科 ○学生員 山浦 雄太 (Yuta Yamaura)  
 (株)日本都市交通研究所 正員 高田 寛 (Hiroshi Takada)  
 北海道大学大学院工学研究科 正員 岸 邦宏 (Kunihiro Kishi)

## 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2009年には約190万人となっている。人口の増加に伴い、札幌市は郊外化が進み自家用車中心の生活になっている。道央都市圏パーソントリップ調査のトリップ数(図1)からも、自動車のトリップ数の割合が増えていることがわかる。

また、郊外に大型ショッピングセンターが相次いで進出し、都心に来る人が減少しているという問題が生じている。

そこで、近年コンパクトシティの推進や、自家用車から公共交通への転換が促されている。その際、公共交通へ転換するためには、公共交通のサービスレベルが重要になってくるが、札幌市の軌道系交通沿線地域と郊外部ではかなりの格差がある。そこで、住民に公共交通を利用して都心に来てもらうにさらなる公共交通の整備が重要である。

本研究は、札幌市において都心に行くという移動のニーズに対して、提供されている公共交通サービスレベルを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。分析手法として、Network DEAを用いることとした。

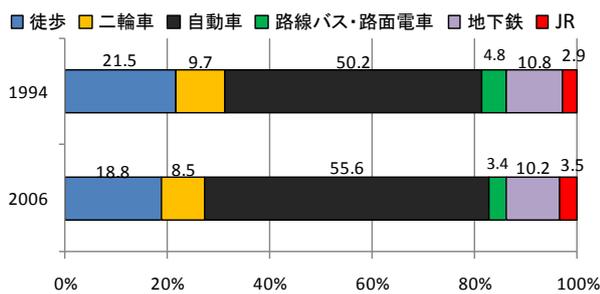


図1 代表交通手段別トリップ数の推移

本研究の対象地域は札幌市清田区、白石区、西区の3区とした。また、Network DEAにおける評価対象(DMU)は道央都市圏パーソントリップ調査の小ゾーン区分とした。それぞれの区の小ゾーン数は清田区13、白石区21、西区20の計54ゾーンである。

また、本研究における「都心」は、JR札幌駅、地下鉄さっぽろ駅、地下鉄大通駅とその3つの駅を含む小ゾーンと定義する。

## 2. Network DEA<sup>1)</sup>

### 2-1 包絡分析法(Data Envelopment Analysis: DEA)の概要<sup>2)</sup>

包絡分析法(Data Envelopment Analysis)は、入力資源と出力資源から定義される効率性を相対的に評価する経営分析手法である。

DEAにより、評価主体(Decision Making Unit: DMU)のうち、優れたものの集団(効率的フロンティア)の存在を明示することができ、そのフロンティアを基準として、非効率的な事業体の改善案を具体的に示すことができる。

DEAの基本的な考え方を説明する。一般に各DMUは産出物を生産するために、投入要素を使う変換するプロセスと考えることができる。その効率性を測定するために(産出/投入)という比率尺度を用いる。DEAでは同種の投入要素と同種の産出物を持つ事業体が複数ある場合、その比率尺度によってそれらの相対比較を行うことが可能である。より少ない投入でより大きい産出をしている事業体がより高い生産性を示していると考えられる。

DEAにはいくつかモデルが存在する。ここでは、本研究で使用されるモデルであるCCRモデルについて説明する。

CCR(Charnes-Cooper-Rhodes)モデルはDEAの中で最も基本的なモデルである。このCCRモデルは、規模のリターンが一定という前提のもとで効率性を算出している。1入力1出力の場合、入力を横軸、出力を縦軸にとると、効率的フロンティアの線は図2のように示される。

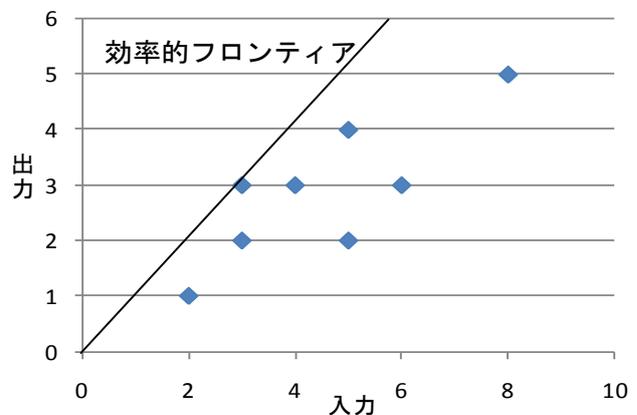


図2 CCRモデルにおける効率的フロンティア (1入力1出力)

CCR モデルには、 $DMU_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) において、 $m$  個の入力値  $X = (x_{mj}) \in R^{m \times n}$  と、 $s$  個の出力値  $Y = (y_{sj}) \in R^{s \times n}$  では、評価対象とする任意の  $DMU_0$  の効率性は式(1)~(4)に定式化される。

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

$$\text{制約式 } \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_s x_{sj}} \leq 1 (j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

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

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

最適解を  $(v^*, u^*)$  とし、目的関数を  $\theta^*$  とするとき、

- i.  $\theta = 1$  ならば  $DMU_0$  は D 効率的
- ii.  $\theta < 1$  ならば  $DMU_0$  は D 非効率的

である。

DEA には、入力指向型 (Input) と出力指向型 (Output) の 2 種類がある。DEA は基本的に入力と出力を入れて効率性を算出するものである。その際、出力を最小限保証した上で、入力を最小にする活動を求めるモデルを入力指向型という。それに対して、入力を最小限保証した上で出力を最大にする活動を求めるモデルを出力指向型という。つまり、非効率と評価された DMU に対して、入力項目、出力項目どちらに対して改善案を出すのかという違いである。

### 2-2 Network DEA

これまで説明してきた従来の DEA は各 DMU に対して入力項目と出力項目を入れるだけで効率性を算出していた。しかしそれでは入力、出力に注目しただけであり、内部構造がわからないので、多量の要因から構成され、その要因が複雑に関連している場合、どのような要因で効率性が算出されているのか把握することができない。内部構造を考慮していない、従来の DMU を Black Box と呼ぶこともある。そこで近年、内部構造を意識した Network DEA (図 3) が注目されている。

Network DEA は、単に入力項目と出力項目を入れて効率性を算出するのではなく、その内部構造に注目したものである。具体的には、内部構造に個々の部門を存在させ、それぞれ効率性を算出する。ただし、各部門は互いに独立ではなく、相互に依存するものとする。そこで、Network DEA では入力項目、出力項目以外にリンク項目を設ける。ある部門の出力項目が別の部門の入力項目になり、それをリンク項目として設けるとい点が Network DEA 特

徴である。これによって、複雑に要因が絡まっている DMU の内部構造の特徴を明らかにすることができる。

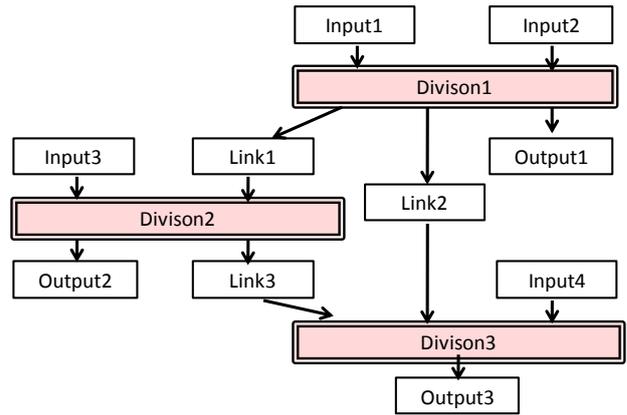


図 3 Network DEA の概念図

### 3. Network DEA による札幌市の公共交通の評価

本研究では、Network DEA を用いて、先に挙げた札幌市の 3 つの区の各小ゾーンを対象にして、公共交通サービスレベルを評価する。

Network DEA を使用する理由を以下に述べる。本研究では地域ごとに都心に行く公共交通サービスレベルを評価するが、当然その地域内で用事が済む場合もあるだろうし、都心に行く際も公共交通を利用してではなく、自家用車を利用して行くほうが利便性はるかに高い可能性もある。これらの項目は複雑に相互に影響し合っている。したがって、本研究では内部構造を考慮する Network DEA を適用する。

本研究の Network DEA のフローを図 4 に示す。

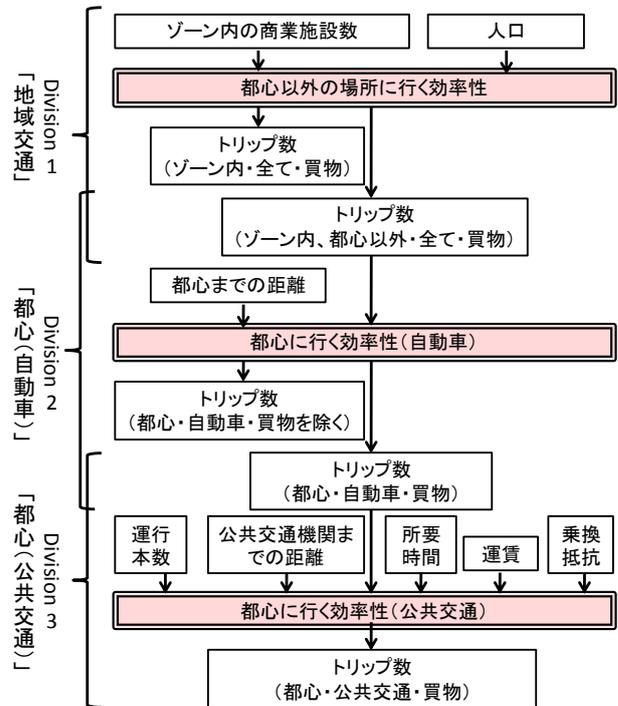


図 4 本研究における Network DEA のフロー

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算出するに当たって、3つの部門を考慮する。ここでは、それぞれの部門を **Division** と呼ぶ。3つの **Division** をそれぞれ、**Division1**「地域交通」、**Division2**「都心交通（自動車）」、**Division3**「都心交通（公共交通）」とする。各 **Division** の「効率性」に対して矢印が伸びているものが入力項目、「効率性」から矢印が伸びているものが出力項目、両方の矢印があるものはリンク項目である。本研究の **Network DEA** は、「トリップ数（ゾーン内、都心以外・全て・買物）」と、「トリップ数（都心・自動車・買物）」の2項目を部門間にわたってリンクさせている構造である。

また、本研究では都心に行く主な目的として「買物」に着目した。トリップ数に関する5つの入出力、リンク項目のうち、**Division2**の出力項目を除いて、目的は全て買物となっている。

効率値算出の流れについて述べる。まず、効率値算出の第一段階として、その地域から近郊の地域に買物に行く効率性を算出する。この **Division1** はゾーン内の商業施設に買物に行くケースを想定している。この効率値が高いとそもそも都心に買物に行く必要性はない。そう考えると都心に買物に行く効率性と関連があるので、リンク項目で **Division2**につながるものとした。

その効率性を踏まえた上で、次の **Division2** では公共交通ではなく、自動車で都心に行く場合の効率性を評価する。**Division2** では都心に行く必要があるとしても、そもそも自動車で都心に行く効率性が高い場合は、公共交通で都心に行く効率性は低くなるであろう。したがって、自動車で都心に行くトリップ数が関連する項目となっている。

最終的に **Division3** では、都心以外で買物を済ます需要、自動車で都心に行く需要を踏まえた上で、都心に公共交通で行く需要はどのくらいあるのかということ、運賃、乗換抵抗など公共交通のサービスレベルに注目しながら算出する。

いくつか項目について述べる。**Division3** である乗換抵抗は、公共交通で都心に行く際、バスから地下鉄、JRに乗り換えが生じる場合にエネルギー消費の観点から求めるものである。具体的には、以下に示す日本鉄道建設公団による乗換抵抗算出式を用いて算出する<sup>3)</sup>。

$$E = X_1 + 0.636X_2 + 1.418N_1 + 0.831N_2 + 0.564N_3 + 0.424N_4 + 0.291N_5$$

- $E$  乗換抵抗 (m)
- $X_1$  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)
- $N_3$  標準エスカレーター (段)
- $N_4$  高速エスカレーター (段)
- $N_5$  エレベーター (段)

本研究では、対象となる地下鉄駅、JR 駅について、バスターミナルからホーム中央までの水平距離、階段の段数を現地調査により計測し、算出した。

トリップ数については「平成18年度第4回道央都市圏パーソントリップ調査」のデータを使用した。

#### 4. Network DEA の分析結果

##### 4-1 Network DEA と従来の DEA との比較

本研究では入力指向型 CCR モデルを採用する。以上の枠組みにより、**Network DEA** による分析結果を表1に示す。**Network DEA** で算出された **Division** ごとの効率値、その平均となる総合効率値を示す。合わせて、**Network DEA** 型を採用しない従来の **Black Box** 型の **DEA** (CCR モデル) による分析結果も表1の最右列に示す。従来型の **DEA** の算出方法は、**Network** の入力項目をそのまま入力項目に、**Network** のリンク項目と出力項目を、出力項目にして、8入力、5出力として計算した。

表からわかるように、従来型の **DEA** で算出した効率値は明らかに1が多い。これは、入力項目が8個、出力項目は5個と、入力項目、出力項目ともに多すぎるのが原因と考えられる。**DEA** の場合、項目が多いと、ウェイトの組み合わせが増えるので効率値を高くできる可能性が高くなることから、多くの **DMU** で効率値が1となってしまうと考えられる。それに対して、**Network DEA** はそれぞれの部門間の影響を考慮した上で各 **DMU** でどの部門が優れているか、あるいはその逆かが明らかになっている。

##### 4-2 公共交通サービスレベルの改善案

表2に総合効率値が0.8以上の **DMU** を抽出して記載した。入出力、リンク項目は、**Division3** のデータを記載した。あわせて、その **DMU** の位置を図5に示す。

総合効率値は、値が高いほど、全般的に地域交通、都心交通も優れている優良地域ということにはなるが、地域ごとにどの **Division** の値が高いか、低いかによって特徴がある。なかでも本研究のテーマである都心に行く公共交通サービスレベルを評価した **Division3** に着目する。

この中で、まず **Division3** の値が最も小さい **DMU** 104121 に注目する。この地域は **Division3** の値だけが極端に低い。その内訳の改善率に注目すると、所要時間が約70%改善する必要がある、運賃、公共交通機関までの距離が共に約50%改善する必要があるという結果が出ている。つまりこの地域は、所要時間、運賃などの面で都心に行く公共交通サービスレベルが低いため、人々は地域の商業施設に行くか、都心に行く場合は多くは自動車を利用するほうが効率的であることがわかる。

次に、**DMU** 107121 に注目する。この地域も **Division3** の効率値が0.562と低い値をとっている。同じように改善率に注目して内訳を見ると、乗換抵抗が90%を越えていることに気づく。運行本数と運賃も50%を超えているので問題だが、この地域から公共交通機関を利用して都心に行く人の利用を増やすには、まず乗換抵抗を減少させることが必要不可欠であり、最優先して行わなくてはならないと考える。

表1 分析結果

DMU	Network DEA				従来型DEA
	総合効率値	Division1	Division2	Division3	
110111	0.667	0.714	0.676	0.610	1.000
110112	0.158	0.153	0.146	0.175	0.525
110113	0.562	0.481	0.508	0.697	0.958
110121	0.448	0.633	0.276	0.436	0.957
110122	0.257	0.505	0.121	0.144	0.665
110123	0.110	0.280	0.051	0.000	0.429
110124	0.258	0.673	0.102	0.000	0.748
110125	0.192	0.324	0.180	0.071	0.725
110126	0.449	1.000	0.179	0.168	1.000
110131	0.373	1.000	0.119	0.000	1.000
110132	0.939	1.000	1.000	0.816	1.000
110133	0.275	0.448	0.224	0.153	0.921
110134	0.377	0.130	0.000	1.000	0.000
107111	0.837	0.510	1.000	1.000	1.000
107112	0.827	1.000	0.479	1.000	1.000
107121	0.854	1.000	1.000	0.562	1.000
107122	0.404	0.183	0.780	0.248	0.889
107123	0.408	0.338	0.062	0.825	0.628
107131	0.920	0.879	0.882	1.000	1.000
107132	0.561	0.364	0.319	1.000	1.000
107133	0.350	0.497	0.218	0.336	0.641
107141	0.855	1.000	0.565	1.000	1.000
107142	0.719	0.956	0.665	0.536	1.000
107151	0.814	0.824	1.000	0.620	1.000
107152	0.562	0.563	0.373	0.749	0.858
107153	0.700	0.434	0.670	0.995	1.000
107154	0.705	0.551	0.565	1.000	1.000
107161	0.842	0.526	1.000	1.000	1.000
107162	0.281	0.777	0.066	0.000	0.795
107171	0.584	0.975	0.388	0.389	1.000
107172	0.143	0.341	0.087	0.000	0.803
107181	0.363	0.944	0.091	0.055	1.000
107182	0.326	0.481	0.380	0.115	0.903
104111	0.785	0.670	0.685	1.000	1.000
104112	0.531	0.399	0.722	0.472	1.000
104113	0.770	0.310	1.000	1.000	1.000
104121	0.833	1.000	1.000	0.499	1.000
104122	0.581	0.291	0.453	1.000	1.000
104123	0.261	0.466	0.210	0.106	0.932
104131	0.762	0.808	0.478	1.000	1.000
104132	0.750	0.249	1.000	1.000	1.000
104133	0.890	0.853	1.000	0.818	1.000
104141	0.635	0.775	0.129	1.000	1.000
104142	0.337	0.405	0.114	0.492	0.808
104143	0.349	0.331	0.310	0.406	0.818
104151	0.902	1.000	0.706	1.000	1.000
104161	0.891	1.000	0.672	1.000	1.000
104171	0.596	1.000	0.632	0.156	1.000
104172	0.135	0.320	0.084	0.000	0.522
104181	0.258	0.223	0.245	0.304	1.000
104182	0.394	0.458	0.256	0.467	0.878
104183	0.179	0.338	0.109	0.091	0.568
104191	0.454	1.000	0.224	0.138	1.000
104201	0.238	0.683	0.030	0.000	0.809

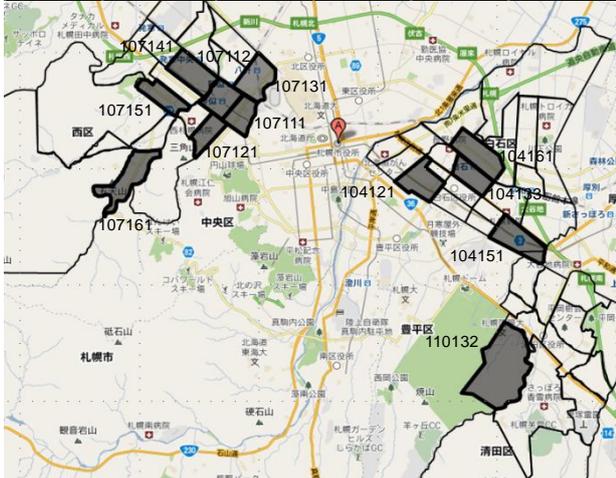


図5 総合効率値0.8以上のゾーンの位置

表2 総合効率値0.8以上のゾーンのデータと改善案

DMU	110132	107111	107112	107121	107131	107141
総合効率値	0.939	0.837	0.827	0.854	0.920	0.855
Division1	1.000	0.510	1.000	1.000	0.879	1.000
Division2	1.000	1.000	0.479	1.000	0.882	0.565
Division3	0.816	1.000	1.000	0.562	1.000	1.000
(I)運行本数	データ 53	169	169	93	49	169
改善値	53	169	169	44	49	169
改善率	0.0	0.0	0.0	-53.2	0.0	0.0
(I)公共交通機関までの距離	データ 250	550	200	180	300	600
改善値	250	550	200	167	300	600
改善率	0.0	0.0	0.0	-7.0	0.0	0.0
(I)運賃	データ 360	240	240	340	200	240
改善値	360	240	240	128	200	240
改善率	0.0	0.0	0.0	-62.4	0.0	0.0
(I)所要時間	データ 28.0	9.0	11.0	12.0	7.0	13.0
改善値	19.9	9.0	11.0	12.0	7.0	13.0
改善率	-28.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(I)乗換抵抗	データ 337	148	177	212	0	0
改善値	125	148	177	8	0	0
改善率	-63.0	0.0	0.0	-96.3	0.0	0.0
(O)トリップ数(都心、公共交通)	データ 50	289	204	119	191	99
改善値	50	289	204	119	191	99
改善率	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
(L)トリップ数(都心、車)	データ 0	0	68	0	36	0
改善値	0	0	68	0	36	0
改善率	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

5. おわりに

本研究では、Network DEA を用いて、札幌市の3区を対象に各地域から公共交通を利用して都心に行く公共交通サービスレベルを評価した。Network DEA を適用することで、その地域から公共交通を利用して都心に行くトリップ数が少ない原因を、そもそも地域内で買物を済ませることができるのか、公共交通ではなく自動車ですぐに都心に行く方が便利なのかを踏まえた上で、効率性という観点から都心に公共交通で行くサービスレベルを評価することができた。

参考文献

- 1) 木下善皓、刀根薫、筒井美樹ら：「Network DEA と Separate DEA の比較 -自治体病院を例に-」、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
- 2) 刀根薫：「経営効率性の測定と改善-包絡分析法 DEA による」朝倉書店、1993
- 3) Kunihiro KISHI, Satoru HINO and Keiichi SATOH: LOCATION PLANNING OF ELEVATORS AT SUBWAY STATIONS CONSIDERING TRANSFER RESISTANCES BASED ON PASSENGERS' PHYSICAL AND CONSCIOUS RESISTANCE: Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol.5, pp.3250-3260, 2003