

# 居住環境と公共交通サービスレベルを考慮した札幌市の都市構造分析

Analysis for City Structure in Sapporo Considering Residential Environment and LOS of Public Transportation

北海道大学大学院工学院 ○学生員 佐伯智史 (Tomofumi Saeki)  
 北海道大学大学院工学研究院 正員 岸 邦宏 (Kunihiro Kishi)  
 (株)日本都市交通研究所 正員 高田 寛 (Hiroshi Takada)

## 1. はじめに

モータリゼーションの進行による都市の郊外化が問題になっている。過度な自動車利用は、公共交通の利用者離れを促進し、特に地方部においてバスや鉄道の経営を圧迫している。その結果、公共交通のサービスレベルは低下し、場合によっては事業の廃止に追い込まれ、地域の「公共交通のモビリティ」は失われる。そして、公共交通モビリティの低下や喪失は、さらなる公共交通の利用者離れをもたらす、公共交通を巡る悪循環が進行し、相対的に郊外の自動車交通需要が増す。

一方で、居住する場所によって地理的条件は様々である。「店が近隣にあり買い物に行きやすい」または「駅が近くて公共交通機関を利用するのに便利である」など、享受できる利点が様々である地域もあれば、居住場所が公共交通を利用した交通行動が余りに不便な地域であり、自動車による交通行動をしているという地域もあるはずである。それと同時に、利益を享受するにはそれに見合った費用が必要である。地価・家賃に代表されるそれら居住費は都心部ほど高く郊外部ほど低く、また公共交通機関沿線では高くなる傾向にあるなど、居住地域の地理的条件と、その地域の交通行動や享受されるサービスレベルとは相互に影響し合っていることが考えられる。

以上の背景をもとに本研究は、都市の郊外化に着目し、地域の居住環境を考慮した場合の、公共交通サービスの水準と自動車交通について効率性という観点から評価することを目的とする。そして、自動車交通よりも公共交通サービスレベルの効率性が低い地域、つまり郊外化を促進する傾向にあると考えられる地域について改善案を提示する。分析手法として Network DEA を用いることとした。

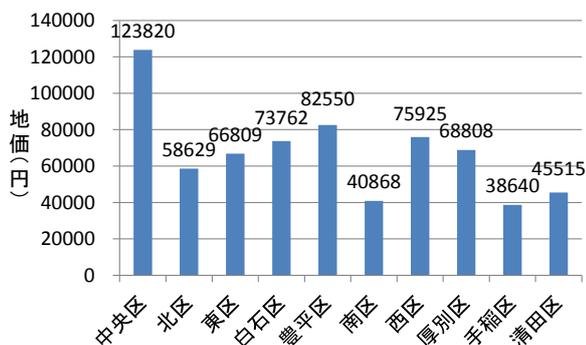


図1 地価 (区ごと平均値)

## 2. Network DEA の概要

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

包絡分析法 (Data Envelopment Analysis) は事業体に関して、得意な分野を評価するという姿勢で、その効率性を求める手法である。ここでは効率性を検討する評価主体を (Decision Making Unit : DMU) と呼ぶ。

ここでは、本研究で用いるモデルである CCR モデルについて説明する。CCR モデルは DEA の中で最も基本的なモデルであり、生産規模によって効率性に優劣が生まれない、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。

CCR モデルでは、DMU<sub>j</sub> (j = 1, ..., 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<sub>0</sub> の効率性は式(1)~(4)に定式化される。

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

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

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

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

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

- $\theta = 1$  ならば DMU<sub>0</sub> は D 効率的
- $\theta < 1$  ならば DMU<sub>0</sub> は D 非効率的である。

### 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値を算出していた。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、多種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値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、従来型 DEA を Black Box モデルと呼ぶこともある (図3)。そこで近年、内部構造を意識した Network DEA (図4) 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値を出すのではなく、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、それぞれ効率値を出す。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ふ点が 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。

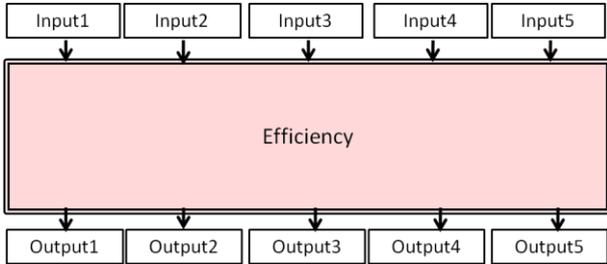


図2 従来型 DEA のモデル

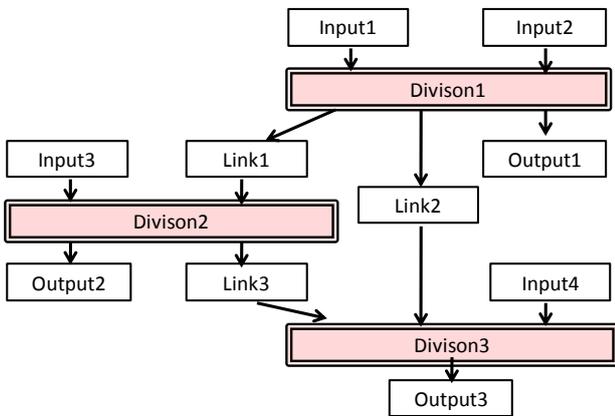


図3 Network DEA のモデル

### 3. Network DEA による地域の効率性の評価

本研究では、Network DEA を用いて札幌市の地域の効率性を評価する。Network DEA を使用する理由として、本研究では地域ごとに都市内への交通行動を、公共交通で都心部に向かう場合と、自動車交通で郊外部に向かう場合を想定し評価する。地域によって、公共交通を利用しやすい地域もあれば、公共交通を利用しづらく自動車を利用したほうが便利な地域もある。加えて、そういった交通行動は居住地域の地理的条件に影響されるはずであり、これらの項目は複雑に相互に影響し合っていることが考えられる。したがって、本研究では内部構造を考慮する Network DEA による分析を行う。

Network DEA に必要な入力項目、出力項目について述べる。入力項目については以下の通りである。居住環境に関するもの、交通サービスレベルに関するものを設定した。なお、4)~7)の項目については、各ゾーンから公共交通を利用して都心に向かう場合の値を用いる。

- 1)人口
- 2)地価
- 3)都心までの所要時間
- 4)運賃
- 5)公共交通の所要時間
- 6)最寄り軌道系交通機関までの距離
- 7)乗換抵抗

出力項目についてはトリップ数を代入する。括弧内の記述は(到着地・交通手段・トリップ目的)を表している。

- 1)トリップ数(近接ゾーン内・自動車・買物、通院、私用)
- 2)トリップ数(市内・自動車・買物、通院、私用)

リンク項目については以下の通りである。

- 1)近接ゾーン内の施設数(商業+医療)
- 2)都心までの距離

これらをネットワーク構造であらわしたものが図5である。本研究では、ある地域の効率性を算出するに当たって、3つの部門(Division)を設ける。Division1を『その地域の住民生活における満足度』として、Division2を『その地域から都心に向かう場合の公共交通サービスレベル』として、Division3を『その地域から自動車を利用して移動する利便性』とする。そして、これら3つの Division を効率性という観点から評価する。

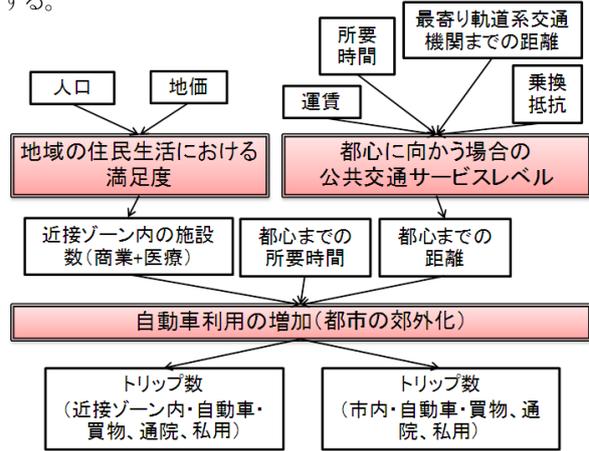


図5 本研究における Network DEA のモデル

Division1 においては居住環境に対する効率性を算出する。ここでは、「人口や地価が大きくなれば施設数も同規模で大きくなる」という想定の下、「人口や地価の値が小さく、施設数が多い」地域を効率性が高いと考える。

Division2 では公共交通サービスレベルの効率性を算出する。ここでは、「都心までの距離が大きい」として所要時間・運賃などの値大きい」という想定の下、「都心までの距離が遠くても、運賃など入力項目の値が小さい」地域を効率性が高いと考える。

Division3 では Division1,2 を踏まえ、「近接ゾーン内の施設数が多い地域には自動車によるトリップ数が増加する、都心までの距離が遠くなるほど自動車によるトリップ数が増加する」という想定の下、「リンク項目、入力項目が仮に小さい値でも出力項目である自動車のトリップ数が多い」地域を効率性が高い(自動車利用が相対的に多い地域)と考える。

### 4. 分析・考察

#### 4.1 ネットワーク全体の分析結果

結果を地図上に表す。ネットワーク全体の効率性を図6、各ゾーンの効率性を区ごとに平均したものを表1に示す。区ごとの平均で見ると、厚別区がもっとも高い値を示した。これは効率性の高い地域が、地下鉄大谷地駅・ひばりが丘駅・新さっぽろ駅や、JR 厚別駅、新札幌駅など軌道系交通機関の沿線であることで、都心からの距離を考えると郊外に位置する区であるにも関わらず乗換無く都心に迎えること、軌道系交通機関であることから所要時間・運賃も小さな値であるこ

とが理由として考えられる。

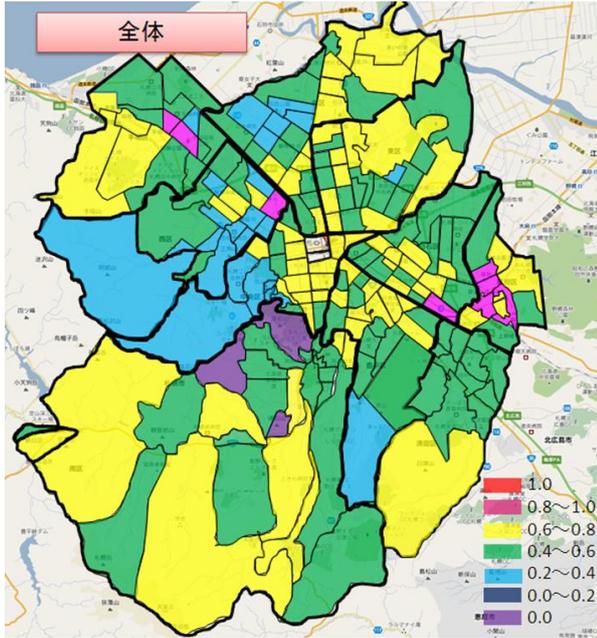


図6 Network DEAによる効率値の算出結果(全体)

表1 各区の効率値の平均(全体)

中央区	北区	東区	白石区	豊平区
0.536	0.536	0.557	0.590	0.571
南区	西区	厚別区	手稲区	清田区
0.561	0.481	0.694	0.609	0.526

同様のことがJR 稲積公園駅、手稲駅の沿線地域の効率値が高い手稲区や南郷18丁目駅に極めて近いゾーンの効率値が高い白石区も当てはまる。

一方で、郊外部ではない西区八軒5条3丁目のように施設数が多いことや自動車のトリップ数が多いために全体の効率値が高くなっているゾーンもある(表2)。

表2 全体の効率値0.8以上のゾーン

ゾーンの中心住所	人口(人)	地価(円)	設近接(療)数(商業+内医+施設)	都心までの距離(km)	都心までの所要時間(分)	通機開までの距離(km)	最寄り軌道系距離(km)	運賃(円)	公共交通の所要時間(分)	乗換抵抗	近隣ゾーンへの近接	近接ゾーン以外の市内への近接
白石区南郷通18丁目北	19794	84000	22	8.6	18	0.088	280	14	0	22	28	
西区八軒5条東3丁目	15291	69300	45	3.7	12	0.3	200	7	0	32	40	
厚別区厚別中央1条7丁目	9637	86800	32	12.5	25	0.6	310	19	0	28	15	
厚別区厚別中央2条2丁目	17775	86000	25	10.5	21	0.35	280	18	0	27	20	
厚別区厚別中央4条3丁目	10065	74500	33	13.1	27	0.6	260	12	0	19	14	
厚別区厚別西2条3丁目	7804	63500	22	11.7	27	0.23	260	12	0	13	12	
手稲区前田3条4丁目	12909	53600	26	9.9	30	0.75	210	15	0	53	21	
手稲区前田2条12丁目	4799	60300	23	13.6	33	0.85	260	17	0	11	2	
全市平均	9309.4	69373.6	20.3	8.8	21.3	0.7	319.1	19.0	105.4	16.9	17.0	

部門ごとの効率値と区ごとの平均値についても表示した。図7,8,9や表3,4,5からもわかる、どの部門の効率値も高いゾーンが郊外地域に偏っている傾向があることが考えられる。つまり、郊外で地価が相対的に安いにも関わらず、それでも近接ゾーンまで行動範囲を広げれば施設数が多いということである。また、都心からの距離が遠いにも関わらず、ある比

較的高い水準の公共交通サービスを楽しむことができる地域もあり、より都心部に近い地域と比べると単位距離あたりのサービスレベルは相対的に高いということが考えられるのである。

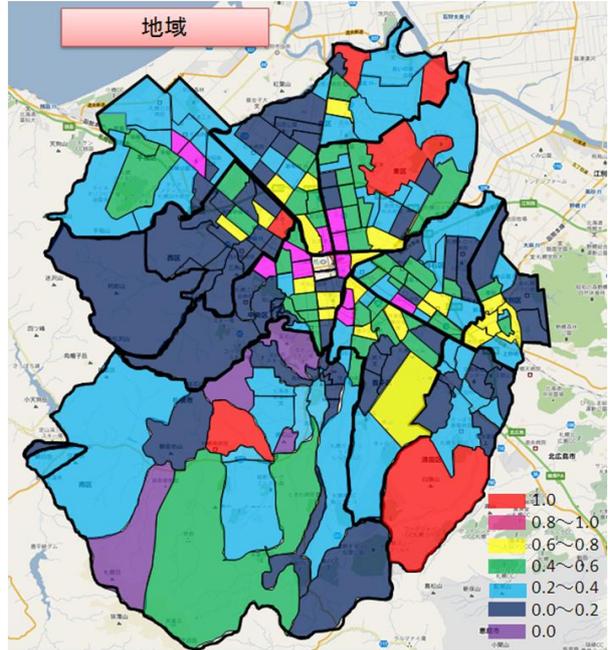


図7 部門ごとの効率値(居住地域)

表3 各区の効率値の平均(居住地域)

中央区	北区	東区	白石区	豊平区
0.467	0.413	0.441	0.421	0.448
南区	西区	厚別区	手稲区	清田区
0.241	0.292	0.402	0.372	0.251

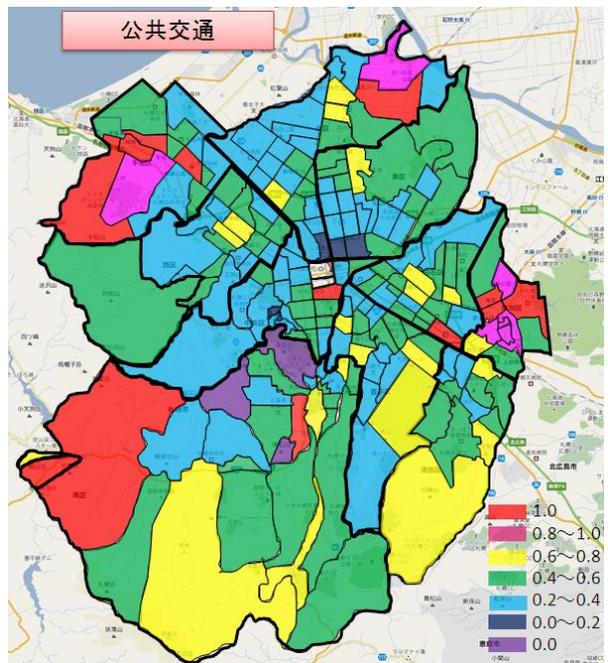


図8 部門ごとの効率値(公共交通)

表4 各区の効率値の平均(公共交通)

中央区	北区	東区	白石区	豊平区
0.337	0.405	0.395	0.496	0.455
南区	西区	厚別区	手稲区	清田区
0.553	0.450	0.773	0.664	0.482

そして、現状の都市構造であれば、自動車を使った近隣ゾーンまででの移動で生活することができ、近隣地域内の移動あるいは自動車を使った移動の方が効率的であるという地域が郊外に多いということである。つまり多少都心から離れた地域においても居住者にとっては十分効率的な都市構造となっており、郊外化を抑制することが困難であると考えられる。

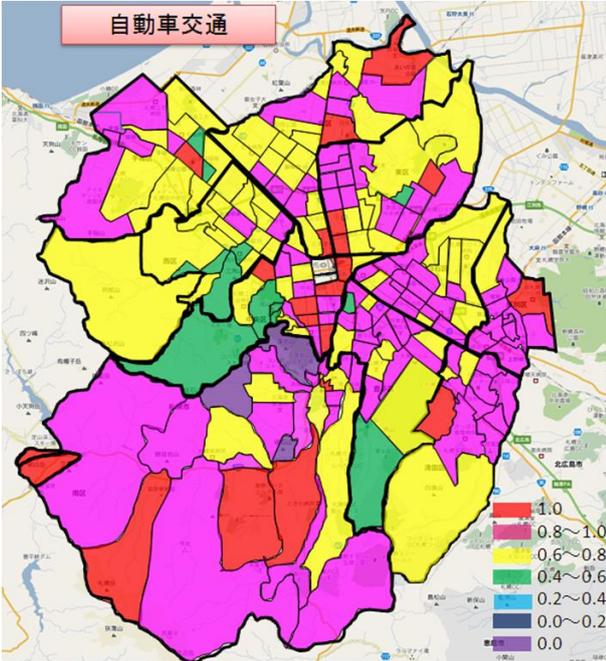


図9 部門ごとの効率値（自動車交通）

表5 各区の効率値の平均（自動車交通）

中央区	北区	東区	白石区	豊平区
0.804	0.790	0.836	0.851	0.810
南区	西区	厚別区	手稲区	清田区
0.890	0.701	0.905	0.792	0.845

#### 4.2 より都心部に近い地域の改善案

郊外化を抑制するためには、より都心部に近い地域の効率性を改善することが必要である。よって、公共交通部門に着目した改善案を示す。

対象地域として、図8に示した都心からの距離が5kmの円内に存在する効率値が0.4に満たない37ゾーン(水色、青色)を選定する。また、区ごとに整理した改善値を表6に示す。

表から、「最寄り軌道系交通機関までの距離」の改善値が最も高い。だが都心近郊地域であるため入力されているデータの元々の水準は高く、この部分を改善するという事は現実的でありえない。次に高い改善率を示したのが「運賃」である。特に北区、東区、豊平区では比較的高い改善率が示されている。

「所要時間」に関しては、他と比べるとあまり改善率は高くない。これは「最寄り軌道系交通機関までの距離」と同様に元々のデータの水準が高くこれ以上の改善は難しいためであることが考えられる。最後に「乗換抵抗」であるが、乗継が有るゾーンと無いゾーンでの違いがある。

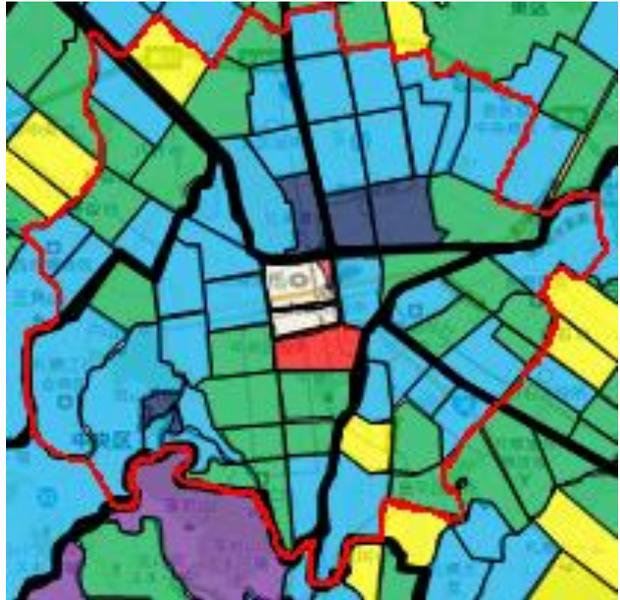


図10 改善対象地域（都心からの距離が5km）

北区の対象ゾーンには乗継が無く、反対に西区の対象ゾーンには全て乗継が有るため改善率が100%になっている。このように、乗り継ぎ自体の有無で差はあるが、乗換抵抗の値は大きく影響していることがわかる。

この対象地域の公共交通部門の効率性を相対的に高める対策として、都心近郊地域限定で運賃を現行より安くすること、または例えば都心直線の路線バスの便数を増やすなど乗継自体が無い交通網の構築・強化などが考えられる。

表6 区別の改善値（公共交通部門）

	Overall Score	Divisional Score	①最寄り軌道系交通機関までの距離(km)			①運賃(円)		
			Data	Projection	Change(%)	Data	Projection	Change(%)
中央区	0.481	0.274	1.25	0.15	-86.8	243.3	85.6	-65.1
北区	0.543	0.233	0.63	0.09	-86.9	200.0	39.9	-80.1
東区	0.550	0.289	0.88	0.10	-83.9	257.8	74.8	-71.9
白石区	0.507	0.357	0.51	0.11	-73.0	260.0	99.5	-63.3
豊平区	0.524	0.298	0.66	0.11	-81.8	240.0	72.2	-71.3
西区	0.369	0.303	0.38	0.11	-65.4	330.0	127.2	-60.2
		①所要時間(分)			①乗換抵抗			
		Data	Projection	Change(%)	Data	Projection	Change(%)	
中央区		10.4	4.0	-51.9	90.02	0.00	-41.7	
北区		4.0	1.8	-55.2	0.00	0.00	0.0	
東区		7.1	3.9	-45.7	63.87	4.05	-30.8	
白石区		10.7	5.1	-38.0	53.13	0.00	-33.3	
豊平区		7.2	3.8	-50.8	26.83	7.62	-14.3	
西区		13.0	5.9	-53.1	156.58	0.00	-100.0	

#### 5. おわりに

本研究では、Network DEA を用いて札幌市の居住環境と公共交通サービスレベルを考慮した、地域の効率性評価を行った。現在の札幌市の都市構造、交通体系では自動車交通の利便性が高く、また郊外部においても相対的に高い公共交通サービスレベルを享受することができ、郊外部ほど地域の効率性が高い傾向にあった。

都心回帰を促進するために、より都心に近い地域の居住環境や公共交通サービスレベルをより改善することが必要である。

#### 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