

# マルムキスト指数を用いた都市間公共交通のモビリティ分析\*

## Intercity Mobility by Public Transportation Service Using Malmquist Index\*

荒谷太郎\*\*・轟朝幸\*\*\*

By Taro ARATANI\*\*・Tomoyuki TODOROKI\*\*\*

### 1. はじめに

わが国では、新幹線の開通や技術革新による速度向上などにより都市間のモビリティは日々変化している。航空においても、政策や航空会社の戦略により運賃や路線が変化する。このような中、都市間公共交通の利用者は、それらの技術革新や政策などの恩恵を受けてより効率よく移動できる場合もあれば、そうでない場合もある。

鉄道では、新幹線が東京を中心に路線が広がっているため、地方都市間を移動しようとした場合には不便なことも多い。また空港の開港により移動がしやすくなる都市間がある一方、航空会社の経営効率化により、特に地方都市間を結ぶ路線が少なくなったり廃止されたりしている。このように都市間交通のモビリティは地域都市間によって異なっている。地域間の公平性の観点から格差是正といった事項が主観的に主張されることも多い。

そこで筆者らは、これまでDEA手法を用いて都市間交通のモビリティを表す指標を提案し、その指標を用いて地域格差の分析を行ってきた<sup>1) 2) 3)</sup>。その中の時系列分析では、ウィンドー分析を用いていた。しかし、ウィンドー分析では、都市間のモビリティが向上した際の影響が、わが国全体での技術革新や政策によるものなのか、個々の都市間の交通サービスの変化等の影響なのか明確には分からなかった。そこで本研究では、わが国全体のモビリティ変化と個々の都市間のモビリティ変化を別けて考えることのできるマルムキスト指数を用いて技術革新や政策の評価を行うことを目的とする。

の移動の容易さを示した指標である。つまり、ある個人が、都市間をどれだけ早く、安く移動できるかを評価している。また需要考慮モビリティは、需要に対して適切な交通サービスが提供されているか、人口考慮モビリティ指標は、人口規模に対して適切な交通サービスが提供されているかどうかを評価している。つまり、需要規模・人口規模を考慮することにより、都市間移動の顕在需要および潜在需要に見合った公共交通サービスが提供されているかを評価できる指標である。

これらのモビリティ指標は、DEA手法<sup>4)</sup>（包絡分析法）を用いてD効率値を算出することによって定量評価するものである。図1はDEA手法を用いて都市間のモビリティを評価する際のイメージ図を示している。DEA手法は、より少ない投入量で多くの産出量が得られれば評価が高くなり、最も評価が高いものをD効率値1として評価する。つまり、移動の利便性が高い都市間ほどD効率値は1に近い値となり、その反対に、移動の利便性が低い都市間は、D効率値1から離れた値となる。本研究では、より良い交通サービスで長い距離が移動できれば移動しやすい都市間と定義をする。例えば、ある2つの都市間を比較した場合、同距離を移動するなら、より早く移動できたほうが移動しやすい都市間であるといえる。この場合、産出量は同距離のために同じとなり、投入量が少ない所要時間の短い都市間の方がD効率値は高くなる。この例は、1投入1産出の例だが、DEA手法は複数の投入・産出のものを同時に評価できD効率値を算出できる。



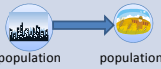
### 2. 都市間モビリティ指標の算出方法

#### (1) 都市間モビリティの把握方法

筆者ら<sup>1) 2) 3)</sup>は、都市間移動の容易さを表すモビリティ指標として個人モビリティ・需要考慮モビリティ・人口考慮モビリティの3指標を提案しており、本研究ではその評価手法を用いて時系列分析を行う（表1参照）。

個人モビリティ指標は、個人が移動する際の目的地へ

表1 都市間モビリティ指標の評価内容

モビリティ指標	評価内容	イメージ図
指標1 個人モビリティ	ある個人が都市間を安く、早く移動できるか	
指標2 需要考慮モビリティ	需要に対して満足な交通サービスが受けられているか（顕在需要）	
指標3 人口考慮モビリティ	需要に対して満足な交通サービスが受けられているか（潜在需要）	

\*キーワード：都市間交通、モビリティ、マルムキスト指数、DEA

\*\*学生員、修（工）、日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻  
（千葉県船橋市習志野台7-24-1、TEL&FAX：047-469-5219）

\*\*\*正員、博（工）、日本大学理工学部社会交通工学科

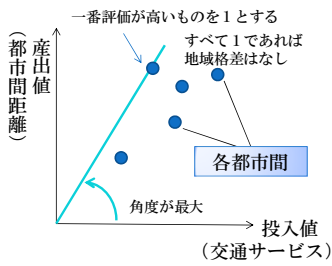


図1 DEA手法を用いた評価イメージ図

(2) マルムキスト指数を用いた時系列変化の把握方法

時系列変化の把握方法としてDEA手法を基礎としたマルムキスト指数<sup>5) 6)</sup>を用いて把握を行う。マルムキスト指数は、DEA手法同様に事業体の経営効率の改善評価に用いられている。本研究では、そのマルムキスト指数を都市間モビリティの時系列変化へ適用することとする。

一般的に、時系列データでみた場合、時間が経つとともに技術進歩が発生する。従って、DEAの効率値では技術進歩の影響により、後年になるほど効率が上昇するというバイアスが生じる問題が指摘されている。そのためD効率値に改善がみられても、それが業界全体の技術進歩の影響によるものなのか、事業体の技術変化によるものなのか半断がつかない。こうした問題点に対して、マルムキスト指数は、技術進歩と技術変化を別けたものを用いて算出するため、D効率値の改善がどのような影響によるものか明確にできるメリットがある。

マルムキスト指数 $M$ は、技術変化率(キャッチアップ指数 $MC$ )と技術進捗率(フロンティアシフト指数 $MF$ )の積で構成されている。

$$M = MC \times MF \quad (1)$$

$$MC = \frac{TE_t}{TE_{t-1}} \quad (2)$$

$$MF = \sqrt{F_a \times F_b} \quad (3)$$

図2、3は、 $t-1$ 期から $t$ 期にかけて2投入、1産出の場合の概念図を示している。キャッチアップ指数 $MC$ は、技術効率性 $TE$ の変化率で表される。技術効率性 $TE$ は、効率的な事業体との投入量水準からの乖離度 $TE_t = \frac{OZ_t}{OZ_t}$

および $TE_{t-1} = \frac{OZ_{t-1}}{OZ_{t-1}}$ で表される。

次にフロンティアシフト指数 $MF$ は、 $t-1$ 期の投入要素比率におけるフロンティアシフト $F_a$ と $t$ 期の投入要素比率 $F_b$ の幾何平均により求められる。このフロンティアシフト指数 $MF$ は事業体が採用する投入要素比率において達成可能な技術の進捗率と捉えることができる。

このように、マルムキスト指数は、技術変化率、技術進歩率の両方を含むことで、経年的な技術効率性の向上を実質的に示す指標となっている。

このマルムキスト指数を都市間モビリティの時系列

変化へ適用する際、本研究では、業界全体の技術進歩をわが国全体のモビリティの変化、事業体の技術変化を個々の都市間の交通サービスの変化と捉えることとする。

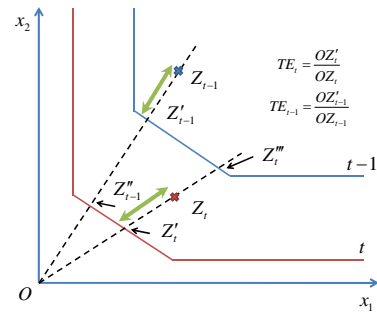


図2 キャッチアップ指数 $MC$ の図解

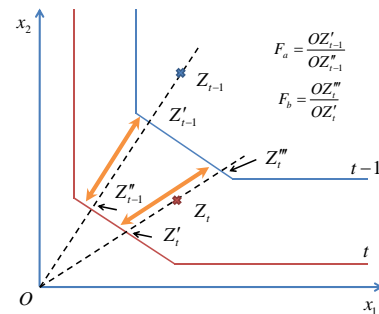


図3 フロンティアシフト指数 $MF$ の図解

### 3. DEA手法による分析条件

本研究では、日本全国を13の地域に分け、その代表となる都道府県庁(北海道、青森、宮城、茨城、東京、新潟、石川、愛知、大阪、島根、広島、愛媛、福岡)を起終点とする78都市間を対象とする。また都市間の公共交通サービスとして、航空、鉄道(一部高速バスを含む\*)を対象とした。分析に用いた都市間交通サービスに関連する各データは、国土交通省が開発したNITAS(総合交通分析システム) Ver. 1.8より算出される、1971年、1981年、1991年、2001年、2006年、2009年の結果を用いた。このNITASより算出されるデータは、所要時間最小経路での運賃(正規運賃)、所要時間(アクセス、イグレス時間を含む)、その他時間<sup>2)</sup>(待ち時間、乗り換え時間)である。なお、運賃に対するデフレーターは、内閣府のGDPデフレーターを用いている。

この他、鉄道、航空の各輸送人員は、全国幹線旅客純流動調査の代表交通機関別幹線旅客流動量<sup>7)</sup>より(データは1990年度、2000年度、2005年度を使用)、各都道府県の人口は総務省の人口推計データ<sup>8)</sup>より得た。

また、提案した3つのモビリティ指標は、それぞれ表2に示す投入・産出項目を設定した。投入項目は3つの指標ともに、移動をする利用者側の立場より、都市間移動をする際に利用者に直接関係する、鉄道・航空の運賃、所要時間、その他時間とした。産出項目は、個人モビリティでは、利用者が移動した結果としての都市間距離(直線距離)のみとした。需要考慮モビリティでは、

都市間距離に需要規模を考慮すると考え、産出項目に鉄道と航空のそれぞれの輸送人員の和を採用した。人口考慮モビリティでは、両都市の人口を扱う際に重力モデルを参考にして、両都市の人口の積を都市間人口変数と定め産出項目として採用した。

DEA手法で算出される結果は、より少ない投入で多くの産出を得られれば効率的になる。そのため、一般に投入項目には少なければ少ない方がよい項目を、産出項目には多ければ多いほどよい項目を扱う必要がある。これとは逆向きの変数がある場合、モデル入力においては数値を変換する必要がある<sup>9)</sup>。産出項目の輸送人員、人口の変数は、輸送人員や人口が少ない都市間でよい交通サービスが与えられている場合、モビリティが高い（逆に輸送人員や人口が多いにも関わらず、悪い交通サービスの場合はモビリティが低い）と考えられる。そのため、輸送人員、人口は逆数変換を行いモデル上で取り扱っている。

本研究では、DEA手法より求められた結果を用いて、1971年から2001年までの10年おきに加え、2006年、2009年を合わせた時系列変化（需要考慮モビリティは1991年から2006年まで<sup>3)</sup>）をマルムキスト指数の値より考察することとする。

表2 モビリティの分析条件

投入項目・産出項目	個人モビリティ	需要考慮モビリティ	人口考慮モビリティ
鉄道運賃(円)	投入	投入	投入
鉄道所要時間(分)	投入	投入	投入
鉄道その他時間(分)	投入	投入	投入
航空運賃(円)	投入	投入	投入
航空所要時間(分)	投入	投入	投入
航空その他時間(分)	投入	投入	投入
都市間距離(km)	産出	産出	産出
輸送人員(千人)	-	産出	-
都市間人口変数(千人 <sup>3)</sup> )	-	-	産出

#### 4. 都市間モビリティの時系列分析結果

本章では、まず、わが国全体でのモビリティ変化を把握するために、わが国全体における時系列分析の結果を示す。次に、山陽新幹線の開業および航空規制緩和の影響をみるために1971年から1981年の分析結果を示す。最後に、東海道新幹線「のぞみ」の運行開始や山形新幹線や秋田新幹線の開業の影響をみるために1991年から2001年の分析結果を示す。

##### (1) わが国全体のモビリティ変化の傾向

図4は、技術進歩率を示すフロンティアシフト指数MFの一年ごとの78都市間の平均値を示している。この値が1より大きければ、わが国全体のモビリティが向上しているといえ、1より小さければモビリティが悪化しているといえる。この図をみると、1971年から1981年、および1981年から1991年は値が1を超えており、個人および人口考慮モビリティともにモビリティの改善がみられるが、2001年以降はほぼ1となっており、わが国全体でのモビリティの向上、悪化はみられなかったといえる。

一方、需要考慮モビリティでは、1991年から2001年、さらに2001年から2006年と値が高くなっておりモビリティが向上している。つまり近年では、需要考慮モビリティの改善が大きい一方、個人、人口考慮モビリティは改善がみられない状況であるといえる。

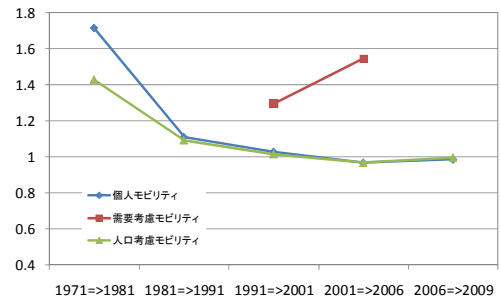


図4 わが国のフロンティアシフト指数MFの推移<sup>3)</sup>

##### (2) 1971年から1981年のモビリティ変化

表3は1971年から1981年の航空・鉄道に関する主な出来事をまとめたものである。この期間の主な出来事としては、山陽新幹線の開業および航空規制緩和の開始である。しかしそれに合わせて、鉄道では、1976年には平均50%以上という大幅な国鉄運賃の値上げが実施され、航空でも1972年から3回にわたり航空運賃の値上げを行っている。

表3 1971年から1981年の航空・鉄道の主な出来事

西暦	航空関連の主な出来事	鉄道関連の主な出来事	GDPデフレーター(2006年=1)
1971	-	-	0.437
1972	航空運賃値上げ(平均9.5%)	山陽新幹線開業(新大阪-岡山)	0.462
1973	-	新幹線建設の基本計画決定	0.520
1974	国内航空運賃値上げ(平均41.8%)	-	0.627
1975	東亜国内航空の幹線乗り入れダブルトラックを認可 ジェット特別料金を徴収(600円)	山陽新幹線延伸(岡山-博多)	0.673
1976	-	国鉄運賃の大幅値上げ(平均50%)	0.726
1977	-	-	0.775
1978	新東京国際空港(成田空港)が開港 ダブルトラックを本格実施 羽田の国内線増便(成田空港開港により)	国鉄の大幅なダイヤ改正	0.811
1979	-	国鉄運賃の値上げ(平均8.8%)	0.834
1980	国内航空運賃値上げ(平均23.8%) ジェット特別料金の値上げ(600円から900円)	千歳空港開業	0.879
1981	-	国鉄運賃の値上げ(平均9.7%)	0.916

表4は、山陽新幹線の開業および航空規制緩和の影響をみるために、1971年から1981年における都市間モビリティの変化を、技術変化率（キャッチアップ指数MC）と技術進捗率（フロンティアシフト指数MF）およびその積であるマルムキスト指数で表したものである。図4と同様に、値の1を境に大きければ向上、小さければ悪化を示している。そして各都市の数値は、起点都市ごとの12都市間の平均値である。

この表をみると、技術変化率MCより技術進歩率MFの値が大きいことから、わが国全体のモビリティの変化が、各都市の都市間モビリティの向上につながっているといえる。これは、航空・鉄道の運賃が平均92.2%、79.0%とそれぞれ1971年から1981年にかけて値上げされ



ているが、表3のGDPデフレーターをみると、物価は、2倍以上に上昇したため、航空・鉄道の運賃が実質安くなったことによるものと考えられる。

表4 1971年から1981年のモビリティの変化

都市	キャッチアップ指数MC		フロンティアシフト指数MF		マルムキスト指数M	
	個人 モビリティ	人口考慮 モビリティ	個人 モビリティ	人口考慮 モビリティ	個人 モビリティ	人口考慮 モビリティ
北海道	1.066	1.081	1.626	1.565	1.733	1.692
青森	0.900	0.956	1.821	1.543	1.639	1.475
宮城	0.973	1.039	1.686	1.424	1.641	1.479
茨城	0.961	1.016	1.738	1.476	1.669	1.500
東京	0.949	1.026	1.779	1.371	1.689	1.406
新潟	0.941	1.086	1.784	1.500	1.679	1.629
石川	0.944	0.976	1.843	1.453	1.740	1.418
愛知	0.943	1.063	1.780	1.434	1.679	1.524
大阪	1.044	1.092	1.648	1.291	1.720	1.411
島根	1.004	1.036	1.751	1.433	1.758	1.484
広島	0.962	1.018	1.709	1.347	1.644	1.371
愛媛	1.016	1.128	1.665	1.442	1.691	1.627
福岡	1.076	1.121	1.479	1.326	1.591	1.486

(3) 1991年から2001年のモビリティ変化

次に、表5は1991年から2001年までの航空・鉄道に関する主な出来事をまとめたものである。この期間の主な出来事としては、鉄道での新在直通運転の山形新幹線や秋田新幹線の開業である。また東海道新幹線では、「のぞみ」の運行開始に伴い、東京－大阪間が2時間半で結ばれるようになるなど、幹線の都市間において所要時間の短縮がなされた。また、GDPデフレーターをみると、物価は概ね横ばいであり、これは1991年の日本のバブル崩壊以後の影響であるといえる。

表5 航空・鉄道の主な出来事

西暦	航空関連の主な出来事	鉄道関連の主な出来事	GDPデフレーター (2006年=1)
1991	-	-	1.092
1992	国内線参入規制緩和	東海道新幹線「のぞみ」運行開始 (220km/hから270km/h) 山形新幹線開業 (福島－山形)	1.111
1993	-	JRグループダイヤ改正 「のぞみ」が毎時1本に	1.118
1994	関西国際空港開港 国内航空割引運賃が届出制へ	-	1.120
1995	-	JR3社が運賃値上げ(JR北海道が平均 7.0%、JR四国が平均8.0%、JR九州が 平均7.8%)	1.112
1996	幅運賃制度の開始 帯給調整規制廃止	-	1.106
1997	羽田C滑走路供用開始	秋田新幹線開業 (盛岡－秋田) 長野新幹線開業 (高崎－長野)	1.112
1998	スカイマーク運行開始	-	1.113
1999	-	-	1.098
2000	改正航空法の施行で新運賃設定 東京－大阪間で航空シャトル便の運行 開始	-	1.080
2001	-	-	1.066

図5は、東海道新幹線「のぞみ」の運行開始や山形新幹線や秋田新幹線の開業の影響をみるために、マルムキスト指数の各起点都市の12都市間の平均値を変化率で表したものである。プラス側はモビリティの改善を示しており、マイナス側はモビリティが悪化したことを示している。この図をみると、宮城、東京、新潟、愛知、大阪、広島、福岡でプラスを示しており、新幹線が整備されている都市において都市間のモビリティが改善したといえる。一方新幹線の開通していない北海道、青森、茨城、島根、愛媛ではモビリティが悪化した。これは、新幹線の開通等の変化がない都市では、交通サービスが現状維持に近いため、交通サービスが改善した都市と比較して都市間移動のモビリティが低下したためであるといえる。

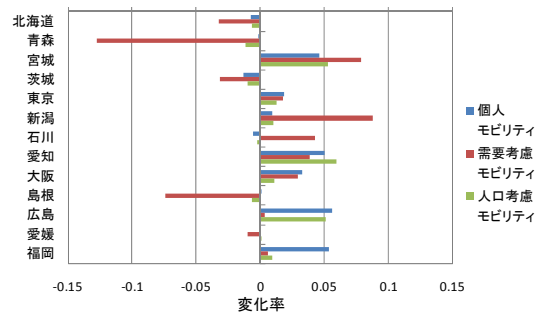


図5 1991年から2001年のモビリティの変化

5. おわりに

本研究では、都市間交通のモビリティの時系列分析にマルムキスト指数を用いることによって、わが国全体のモビリティ変化と個々の都市間のモビリティ変化を別けて分析することができた。その結果より、運賃の変化が、わが国全体のモビリティに影響を及ぼしたことがわかった。また新幹線の開通している都市では、新たな新幹線の開業によりモビリティが向上するが、新幹線の開通していない都市では、モビリティが向上せず、むしろ相対的に見て悪化することが明らかとなった。

今後の課題としては、キャッチアップ指数MCとフロンティアシフト指数MFを分けてさらに細かい都市間で考察を行うことにより、より詳細にモビリティの時系列変化を把握することができると考えられる。

謝辞

本研究は、国土交通省が開発した NITAS (総合交通分析システム) Ver1.8 を使用させていただきました。ここに付記し謝意を表します。また本研究は、文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (C) 21560560 「都市間交通におけるモビリティの地域格差分析」の助成を受けています。ここに感謝の意を表します。

補注

- \*1 NITAS における鉄道の所要時間最小経路の算出結果は、鉄道よりも高速バスの方が所要時間最小となる場合には、高速バスを利用する経路として算出される。
- \*2 その他時間は、主に待ち時間と乗り換え時間を示しており、運行頻度の代理指標として用いている。
- \*3 需要考慮モビリティは全国幹線旅客純流動調査のデータの都合上、1991年～2006年での分析となっている。

参考文献

- 1) 荒谷太郎、轟朝幸、金子雄一郎：公共交通サービスによる都市間移動の地域格差分析、土木計画学研究・論文集 Vol. 26, no. 4, p. 807-816, 2009.
- 2) 荒谷太郎、轟朝幸：都市間公共交通モビリティの地域格差の国際比較、国土と政策 第29号, pp. 29-39, 2010.
- 3) 荒谷太郎、轟朝幸：DEA手法による都市間公共交通のモビリティ分析、土木計画学研究・講演集(CD-ROM) Vol. 39, 2009.
- 4) Charnes A., Cooper W. W., Rhodes, E.: Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research 2/6, 429-444, 1978.
- 5) 筒井美樹：マルムキスト指標を用いた日米電気事業の部門別効率性比較-DEA手法による計測、電力中央研究所報告、2000.
- 6) 末吉俊幸：DEA-経営効率分析-、朝倉書店、2001.
- 7) 国土交通省：全国幹線旅客純流動調査 第1回～第4回 <http://www.mlit.go.jp/seisakutokatsu/jyunryuudou/index.html>
- 8) 総務省：人口推計データ、<http://www.stat.go.jp/data/jinsu>
- 9) 刀根薫：経営効率性の測定と改善、日科技連、1993.