

DEA手法による都市間公共交通のモビリティ分析*

An Analysis on Intercity Mobility by Public Transportation Service Using Data Envelopment Analysis*

荒谷太郎**・轟朝幸***

By Taro ARATANI**・Tomoyuki TODOROKI***

1. はじめに

わが国では新幹線を中心とする鉄道ネットワークが着実に整備されてきた。また、ほとんどの都道府県に空港が整備され、航空ネットワークも充実してきた。それゆえ、全国的に都市間移動の利便性は高い水準にあると考えられる。しかし、地域別にみると新幹線のルートから外れた地域は、新幹線が整備された地域と比べて都市間移動の利便性は劣っている。また、航空輸送でも経営的観点により、地方路線から撤退する動きも出てきており、移動の利便性が低下した都市間もある。これは、整備新幹線・空港など整備計画やサービス提供などの運行計画において、費用便益分析や財務分析などといった効率性や採算性を評価基準としてきたためである。

このような現状に対し、わが国では効率性・採算性が都市間交通整備の唯一の評価基準であるかのような議論も少なくないとの指摘もある¹⁾。地域公平性の観点から移動の地域間格差も考慮することは重要である。しかし政策提言として交通インフラの地域格差是正を論じられることはあっても客観的データに基づいた分析は必ずしも十分とは言えない。地域間や地域に住む個人の公平性の観点から、格差の是正といったような事項が抽象的に主張されることが多く¹⁾ 定量的に示されることは少ないのが実態である。

そこで本研究では、まず、公共交通サービスによる都市間移動の利便性の違いを移動の地域格差として捉えることとする。そして都市間の公共交通サービスによる移動の容易さを定量的に示す指標として個人が移動するといった観点からの個人移動のモビリティ指標を提案する。また、交通の需要規模を考慮しないことは非現実的であることから、需要規模を考慮した指標および人口規模を考慮した指標も提案する。これらを用いて、おもに公平性の観点から都市間移動の地域格差について分析することを目的とする。

2. 都市間モビリティ指標について²⁾

本研究では、移動の容易さを表すモビリティ指標を提案する。公共交通を利用して都市間を移動する場合、利用者は交通サービスに対して運賃を支払い、都市間を移動する。都市間同士で比較した場合、例えば、同距離を移動するならば、より早く移動できたほうが移動の容易な都市間であるといえる(図-1)。これは運賃に関しても同様である。つまり単位距離あたりでよい交通サービスが提供されていれば、その都市間の移動は容易であると考えられる。これは単純に個人が移動する際の目的地への移動の容易さを示したことになる。これを「個人モビリティ」と定義し、都市間モビリティ指標の基本として考える。

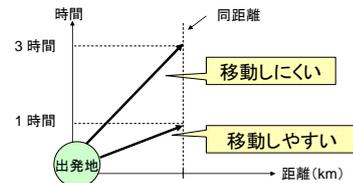


図-1 都市間移動の比較例

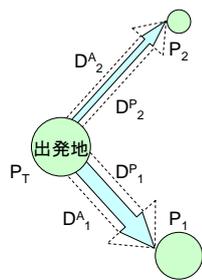
次に、前述したように、需要規模を考慮したモビリティ指標を提案する。図-2に顕在需要と潜在需要の2つの需要を考慮したモビリティ指標の概念図を示した。一般に、需要規模が大きく人口規模が大きい都市間では、交通整備が進められ、設備増強による時間短縮や運行頻度の向上などのサービス向上がなされている。公共交通利用者はこのような需要規模によるサービスの違いをある程度は許容しているのが一般的である。そこで個人モビリティに都市間において顕在化している需要(D^A)を考慮する。これにより、現状の交通サービスが需要規模に見合っているのかを評価する。これを「需要考慮モビリティ」指標として定義する。

また、都市間のなかには、現状の交通サービスの不便がゆえに顕在化していない需要、つまり潜在需要(D^P)が存在している場合もあると考えられる。都市間交通の潜在需要は都市の人口規模に左右されるのが一般的である。そこで、個人モビリティに都市間に存在している潜在需要を、人口を考慮することにより評価する。これを「人口考慮モビリティ」指標として定義する。

*キーワード：都市間交通、モビリティ、地域格差、包絡分析法(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



図一 2つの需要を考慮したモビリティ指標の概念図

3. 都市間モビリティの地域格差分析の方法

(1) 分析手法

本研究では、モビリティ指標を計測する方法としてDEA手法（包絡分析法）を採用する。一般に、移動を評価する場合、旅行時間や運賃などを一元化した一般化交通費用を求める方法がある。しかしこの方法では、旅行時間を金銭価値に換算するために時間価値を外生的に与える必要がある。時間価値について、Kato³⁾が、旅行時間が長くなると時間価値が増加する場合と減少する場合の2つの研究が存在していると指摘している。加えて都市間交通の場合では、時間価値が異なる地域間での扱いが複雑となる。これらの理由により、時間価値を外生的に与えない評価が必要であると考え。そこで、企業や自治体の相対効率性を評価する分析手法としてCharnels et al.⁴⁾により開発されたDEA手法を採用することとした。なお、本研究では、DEAの分析対象としての事業体（以下、DMU）を都市間移動する個人と設定して分析を行うこととする。

(2) DEA手法の概念

DEA手法は、線形計画法によって構築されたフロンティアに基づいて各分析対象の効率性の評価を行う手法である。フロンティア上の分析対象は、最も効率的に生産を行っていることを示し、その効率値は1と定義される。また、DEA手法では、一般に分析対象の活動は資源を投入（以下、入力）し便益を産出（以下、出力）する変換過程とみなす。そのときの「出力/入力」という比率尺度を用いて、効率性の測定を行う。この比率尺度は、より少ない入力でより多くの出力を得られれば効率的になる指標である。DEA手法では入力・出力項目数を複数設定しても、比率尺度による効率性の値（以下、D効率値）を算出することが可能な分析手法である。

DEA手法にはCCRモデルとBCCモデルの2つの代表的なモデルがある。CCRモデルは効率的フロンティアにおいて規模の収穫を一定と仮定したものである。一方BCCモデルは規模の収穫を一定とせず、その生産可能集合は現存する集合の点の凸包と、その凸包の点より大なる入力と小なる出力を持つ点から構成されることになる。本研

究では、距離に応じて交通サービスが変化し、その変化が一定とする規模の収穫が一定と仮定してCCRモデルを採用する。CCRのモデル式を式(1)、式(2)に示す。

$$\text{Max } \sum_{r=1}^t u_r y_{r0} \quad (1)$$

$$\text{Subject to: } \sum_{i=1}^m v_{ij} x_{i0} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{r=1}^t u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_{ij} x_{ij} \leq 0$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon$$

$$i = 1, \dots, m \quad j = 1, \dots, n \quad r = 1, \dots, t$$

ここで、 x_{ij} 、 y_{rj} は各DMU_jの変数 i 、 r の入・出力量、 u_r は出力変数 r に対する最適ウェイト、 v_i は入力変数 i に対する最適ウェイト、 n は対象DMU_j数（ $j=1, \dots, n$ ）、 m 、 t は入出力変数の数、 ε は非アルキメデス無限小数を示す。

4. 都市間モビリティ指標の計測について

(1) DEA手法による分析条件

本研究では、都道府県庁を起終点とする200km以上の都市間を対象とし、欠損値を含む都市間は除いた。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^{*1}）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. 1.7より算出される、1971年度、1981年度、1991年度、2001年度、2006年度の結果を用いた。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^{*2}（待ち時間、乗り換え時間）である。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⁵⁾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⁶⁾より得た。

また、提案した3つのモビリティ指標は、それぞれ表一1に示す入出力項目を設定した。入力項目は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。出力項目は、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させると考え、出力項目に鉄道と航空のそれぞれの輸送人員を採用した。人口考慮モビリティも同様に考えるが、両都市の人口を扱う際には、重力モデルを参考にし、両都市の人口の積を都市間人口変数と定め出力項目として採用した。

DEA手法で算出される結果は、より少ない入力で多くの出力を得られれば効率的になる。そのため、一般に入力項目には少なければ少ない方がよい項目を、出力項目

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⁷⁾。出力項目の輸送人員、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、人口は逆数変換を施すことにした。輸送人員は0の都市間もあり、逆数変換ができないため、式(3)を用いて大小変換を行い、輸送人員変数 D^A としてモデル上で扱っている（非負にするため100を加えている）。

$$D^A = 2\mu - D^A + 100 \quad (3)$$

ここで、 D^A は輸送人員、 μ は最大値と最小値の平均を示す。

表-1 モビリティの分析の条件

| 種類 | 入力項目 | 出力項目 |
|-----------|--|--|
| 個人モビリティ | 鉄道運賃(円) 鉄道平均所要時間(分) 鉄道その他時間(分) 航空運賃(円) 航空平均所要時間(分) 航空その他時間(分) | 都市間距離(km) |
| 需要考慮モビリティ | 鉄道運賃(円) 鉄道平均所要時間(分) 鉄道その他時間(分) 航空運賃(円) 航空平均所要時間(分) 航空その他時間(分) | 鉄道輸送人員(千人) 航空輸送人員(千人) 都市間距離(km) |
| 人口考慮モビリティ | 鉄道運賃(円) 鉄道平均所要時間(分) 鉄道その他時間(分) 航空運賃(円) 航空平均所要時間(分) 航空その他時間(分) | 都市間人口変数(千人) ²⁾ 都市間距離(km) |

(2) 2006年度におけるモビリティの分析結果

2006年度における都市間モビリティを分析した結果（一部抜粋）を表-2に示す。まず個人モビリティにおいては、東京-福岡や神奈川-福岡など関東圏と福岡、鹿児島を結ぶ都市間でD効率値1を示した。岩手-埼玉がD効率値1を示したのは、東北新幹線の速度の速さが影響しているといえる。一方、D効率値が低くなった都市間は四国と中国、九州を結ぶ都市間が多いという結果になった。これらの都市間は、都市間距離は近いが、海を隔てるため鉄道網を利用した場合遠回りになり、航空の直行便が少なく乗り継ぎとなることが多いためにD効率値が低くなったと考えられる。

次に、需要考慮モビリティでは、108都市間においてD効率値1を示した。これらの都市間は需要にあった交通サービスが提供されているといえる。一方、D効率値が低くなった都市間では、個人モビリティでD効率値が低い傾向にあった四国と九州を結ぶ都市間の他に山形-富山、秋田-福井、新潟-鳥取といった日本海側の都市間が含まれる結果となった。これらの都市間は需要がある程度あるにも関わらずモビリティが低い都市間といえ

る。

人口考慮モビリティでは、39都市間においてD効率値が1という結果になった。一方、D効率値が低くなった都市間は茨城-新潟、茨城-長野、群馬-岐阜、群馬-愛知というような、北関東と中部地方を結ぶ都市間、また、愛媛-福岡、愛媛-長崎というように、愛媛と九州北部を結ぶ都市間となった。これらの都市間は両都道府県にある程度人口が多いにもかかわらず交通サービス水準が低く需要が顕在化していない都市間であるといえる。

表-2 都市間モビリティの算出結果（一部抜粋）

| | 個人のモビリティ | | 輸送考慮モビリティ | | 人口考慮モビリティ | |
|-----------------|----------|--------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Rank | DMU | DMU | DMU | DMU | D効率値 |
| モビリティの高い都市間 | 1 | 岩手-埼玉 | 1 | 愛媛-福岡 | 1 | 福井-山梨 |
| | 1 | 神奈川-福岡 | 1 | 鳥根-山口 | 1 | 高知-佐賀 |
| | 1 | 東京-福岡 | 1 | 兵庫-鳥根 | 1 | 鳥根-山口 |
| | 1 | 千葉-福岡 | 1 | 福島-埼玉 | 1 | 徳島-佐賀 |
| | 1 | 茨城-福岡 | 1 | 宮城-茨城 | 1 | 鳥根-高知 |
| | 1 | 茨城-佐賀 | 1 | 長野-三重 | 1 | 三重-鳥取 |
| | 1 | 千葉-鹿児島 | 1 | 福岡-宮崎 | 1 | 青森-宮崎 |
| | 1 | 宮城-福岡 | 1 | 山形-埼玉 | 1 | 岩手-埼玉 |
| | 1 | 茨城-鹿児島 | 1 | 宮城-栃木 | 1 | 鳥取-高知 |
| | 1 | | | ほか99都市間 | | ほか30都市間 |
| モビリティの低い下位10都市間 | 772 | 高知-鹿児島 | 0.375 | 長野-鳥取 | 0.621 | 新潟-愛知 |
| | 773 | 山口-高知 | 0.374 | 高知-長崎 | 0.616 | 茨城-長野 |
| | 774 | 愛媛-佐賀 | 0.368 | 徳島-大分 | 0.611 | 山形-長野 |
| | 775 | 高知-熊本 | 0.361 | 高知-熊本 | 0.602 | 山梨-大阪 |
| | 776 | 愛媛-鹿児島 | 0.361 | 鳥取-大分 | 0.600 | 高知-熊本 |
| | 777 | 山梨-三重 | 0.349 | 山形-富山 | 0.588 | 愛媛-福岡 |
| | 778 | 愛媛-熊本 | 0.337 | 秋田-福井 | 0.586 | 愛媛-長崎 |
| | 779 | 高知-宮崎 | 0.336 | 秋田-長野 | 0.579 | 群馬-岐阜 |
| | 780 | 愛媛-宮崎 | 0.325 | 新潟-鳥取 | 0.575 | 群馬-愛知 |
| | 781 | 石川-山梨 | 0.315 | 高知-鹿児島 | 0.554 | 茨城-新潟 |

5. 都市間モビリティの時系列分析

都市間移動の利便性は時代とともに変化している。本研究では、それらによる都市間モビリティの変化を把握するために、CCRモデルによって求められるD効率値の時系列変化を、ウィンドー分析法を用いて考察を行う。

本研究では1971年度から2001年度までの10年おきに加え、2006年度を合わせた時系列変化（需要考慮モビリティは1991年度から）を考察することにより、各都市間のモビリティによる地域格差の変化を把握することとする。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。

(1) 個人考慮モビリティの時系列分析結果

図-3はD効率値の変化に特徴のある都市間について示したものである。千葉-長野は1991年度から2001年度にかけて、D効率値が低下している。これは、1997年に長野新幹線が開業する前は、高速バスが所要時間最小経路であったが、新幹線開業により鉄道が所要時間最小経路となり、それによって移動費用が大幅に上昇したことにより、D効率値が低下したものと考えられる。新潟-兵庫においては、1972年に山陽新幹線が新大阪-岡山間が開業したことにより、所要時間最小経路が今までの富山を経由するものから、東京を経由し新幹線を利用する経路に変化したため運賃が上昇し、D効率値が低下したものと考えられる。

個人モビリティの全体傾向としては、1971年度から

1981年度の増加率（前後年度のD効率値の差の合計）が、59.21と個人モビリティが上昇している都市間が多く見られた。同様に1981年度から1991年度の増減率は62.66と上昇傾向である。しかし1991年以降は増減率が-14.29、-15.80と減少に転じており、個人モビリティによる地域格差が広がっている傾向にあるといえる。

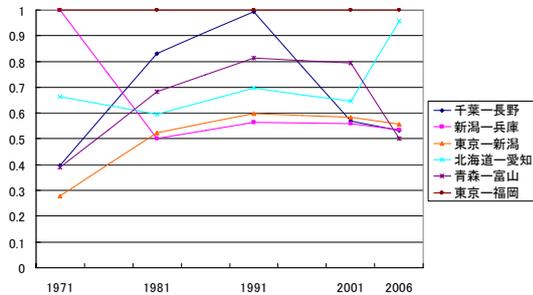


図-3 個人モビリティの時系列分析結果

(2) 需要考慮モビリティの時系列分析結果

図-4は需要考慮モビリティの時系列変化を示したものである。北海道-岐阜は、D効率値が、2001年度から2006年度にかけて上昇している。これは、需要は77千人から71千人と減少しているが、航空その他時間が改善されており、中部国際空港開港により航空運行本数が増加してその他時間（待ち時間）が減少したことがD効率値の上昇した要因として考えられる。

三重-鹿児島は、2001年度までは大阪国際空港を利用する経路だったが、2006年度では中部国際空港を経由するルートの方が30分早くなった。これにより利便性が向上し、需要は28千人から30千人と若干増えたにも変わらず、航空運賃が上昇したためD効率値が低下したものと考えられる。

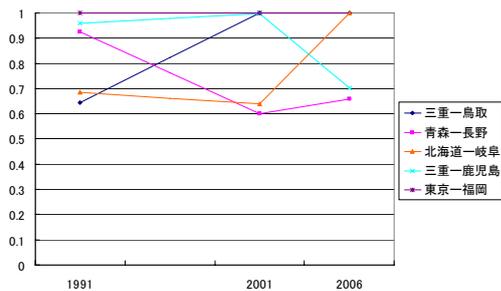


図-4 需要考慮モビリティの時系列分析結果

(3) 需要考慮モビリティの時系列分析結果

図-5は人口考慮モビリティの時系列変化を示したものである。1971年度から1981年度にかけて千葉県や神奈川県、埼玉県では1,000千人を超える人口増加であったが、個人モビリティが全体的に上昇傾向にあるように、交通サービスが改善されたため、人口増加の影響はさほど見られなかった。これは、1991年度から2001年度にかけての三重-鳥取の上昇、千葉-長野の減少、2001年度から2006年度にかけての北海道-愛知の上昇、青森-石川の減少についても同様のことが考えられる。

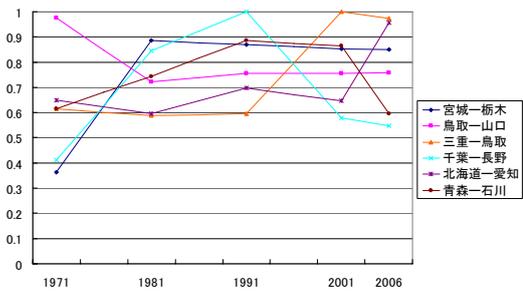


図-5 人口考慮モビリティの時系列分析結果

6. おわりに

本研究では、都市間の公共交通サービスによる移動の容易さを表す指標として3つのモビリティ指標を提案した。提案した指標はDEA手法をベースとすることで、各都市間モビリティの相対的な位置づけを分析できるものである。その指標を用いて都市間移動の地域格差について分析した。これにより、公共交通サービスによる都市間移動の地域格差を定量的に示すことができた。個人の公平性の観点の基本と考えてはいるものの、都市間の需要規模を考慮して、サービス提供の地域格差も定量的に分析することができた。提案した指標を用いることにより、地域格差問題を考える上で一つの指標になり得ると考えられる。

今後の課題としては、交通インフラ整備や規制緩和の影響を把握するため、提案したモビリティ指標を用いて時系列分析を行う必要がある。そのため、規制緩和の影響をより的確に把握するには、割引運賃を考慮した効率性の違いの比較分析を行う必要がある。

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）Ver1.7 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。

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。

参考文献

- 1) 奥村誠、中川大ら：都市間交通の分析と評価の課題、土木計画学研究・講演集Vol. 25、2002。
- 2) 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・講演集Vol. 37、2008
- 3) Hironori Kato : Nonlinearity of the Utility Function and the Value of Travel Time Savings: Empirical analysis of interregional travel mode choice of Japan, Proceedings of European Transport Conference 2006, 2006.
- 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) 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>
- 6) 総務省：人口推計データ、<http://www.stat.go.jp/data/jinsu>
- 7) 刀根薫：経営効率性の測定と改善、日科技連、1993。