

わが国の都市間公共交通モビリティに関する時系列分析*

Time Series Analysis of Intercity Mobility by Public Transportation Service in Japan*

荒谷太郎**・轟朝幸***

By Taro ARATANI**・Tomoyuki TODOROKI***

1. はじめに

長距離の都市間移動では、鉄道・飛行機などの公共交通機関の役割は大きく、わが国でも鉄道・空港等のインフラ整備が着実に進められてきた。国民それぞれの移動が円滑になるように都市間交通は整備されてきているが、新幹線や空港整備などの大型プロジェクトは各地域からの政治圧力が強く、計画理念が地域計画や全国レベルの交通計画として動かなかったことも多いと指摘されている¹⁾。また、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²⁾。この結果、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較して都市間移動の利便性が劣っている。空港整備では、ほとんどの都道府県に整備されてきたが、航空分野の規制緩和や事業不振により、地方路線から撤退が相次ぎ、地方都市間での移動利便性が低下してしまったと考えられる。さらに近年の財政状況の悪化から、より費用対効果が重視される傾向にあり、効果が少ない公共事業はますます整備が遅れることが予想される。このような実態から、わが国を全国的に見た場合に、都市間公共交通モビリティは果たして向上してきているのかは疑問である。

そこで、本研究では、筆者ら³⁾が提案しているモビリティの評価手法を用いて、わが国の1971年から2006年までの整備や技術革新による都市間交通の利便性の動向を明らかにすることを目的とする。

2. わが国の都市間交通の変遷

(1) 鉄道ネットワークの変遷

1970年に制定された全国新幹線鉄道整備法では、現在営業中の各線（表1）や整備新幹線の他に、北海道南回り、羽越・奥羽・中央・北陸中京・山陰・中国横断・四国・四国横断・東九州・九州横断の各新幹線が基本計画

*キーワード：都市間交通、モビリティ、交通サービス、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

として示されている⁴⁾（表2）。新幹線の開業は、都市間移動にかかる時間を短縮し利用者にとって利便性の向上をもたらす。例えば、東北新幹線の盛岡―八戸間の開業効果により、東京―八戸間の所要時間が約40分短縮され、同様に北陸新幹線の高崎―長野間の開業効果により、東京―長野間の移動が1時間40分短縮されるなど、新幹線が開業している都市間では、都市間移動の利便性が向上してきている。

表1 新幹線の開業年と主な出来事

西暦	鉄道
1964	東海道新幹線開業(東京―新大阪)
1972	山陽新幹線開業(新大阪―岡山)
1975	山陽新幹線延伸(岡山―博多)
1982	東北・上越新幹線開業(大宮―盛岡、大宮―新潟)
1985	東北新幹線速度向上(210km/hから240km/h) 東北新幹線延伸(大宮―上野)
1991	東北新幹線延伸(上野―東京)
1992	東海道新幹線速度向上(220km/hから270km/h) 山形新幹線開業(福島―山形)
1997	秋田新幹線開業(盛岡―秋田) 長野新幹線開業(高崎―長野)
2002	東北新幹線延伸(盛岡―八戸)
2003	品川駅開業
2004	九州新幹線開業(鹿児島中央―新八代)

表2 全国新幹線鉄道整備法の定める基本計画

路線名	起点	終点	主要な経由地
東北新幹線*	東京都	青森市	宇都宮市附近、 仙台市附近、 盛岡市
上越新幹線*	東京都	新潟市	
北海道新幹線	青森市	旭川市	函館市附近、 札幌市
北陸新幹線*	東京都	大阪市	長野市附近、 富山市附近
九州新幹線*	福岡市	鹿児島市	
九州新幹線	福岡市	長崎市	
北海道南回り新幹線	北海道山越郡 長万部町	札幌市	室蘭市附近
羽越新幹線	富山市	青森市	新潟市附近、 秋田市附近
奥羽新幹線	福島市	秋田市	山形市附近
中央新幹線	東京都	大阪市	甲府市附近、 名古屋市附近、 奈良市附近
北陸・中京新幹線	敦賀市	名古屋市	
山陰新幹線	大阪市	下関市	鳥取市附近、 松江市附近
中国横断新幹線	岡山市	松江市	
四国新幹線	大阪市	大分市	徳島市附近、 高松市附近、 松山市附近
四国横断新幹線	岡山市	高知市	
東九州新幹線	福岡市	鹿児島市	大分市附近、 宮崎市附近
九州横断新幹線	大分市	熊本市	

*は開業済みもしくは部分開業済

このようにもしこの計画が全て実現すれば、日本全国に新幹線ネットワークが整備され、全国各地の都市間移動の利便性は高いものになると考えられる。しかし、現状では整備新幹線の完成ですらかなりの時間を要しており、今後、幹線鉄道サービスの全国的格差が早期に縮小される可能性は極めて小さいといわれている⁵⁾。

(2) 航空ネットワークの変遷

表3に航空の主な出来事について整理を行った。2007年現在、日本には離島を含めて97の空港がある。それゆえ、日本の空港整備は既成したといわれている。しかし、石見、大館能代、能登などのローカル空港は、高い需要見通しに基づいて建設されてきたため、結果的に多くは過大な需要見通しになり、空港建設や改修は無駄な投資であるとの指摘もある⁶⁾。

航空政策では、1986年にそれまでの45/47体制を見直し、航空政策を転換した。その後、段階的に競争政策をとり、1996年に需給調整規制を廃止した。2000年には、新しい航空法が施行され、規制緩和が行われた。その主な内容は、国際線の複数社体制、国内競争促進、日本航空の完全民営化の3点であった。これをきっかけにわが国の航空ネットワークは競争促進と自由化へと進んでいった。この中で特に国内の移動に関わるのは、国内競争促進であり、これは主に参入・撤退の自由、増減・廃止の自由、運賃の自由化のことである⁷⁾。

参入・撤退の自由では、1986年に国内路線参入の基準として、3社運行路線は、年間旅客数100万人以上の路線、2社運行は年間70万人以上の路線が打ち出された。その後、参入基準は段階的に緩和され、1997年に完全廃止された。1998年には新規参入企業としてスカイマークエアラインズが東京ー福岡間に、北海道国際航空が東京ー札幌間に、2002年にはスカイネットアジア航空が東京ー宮崎間、2006年にはスターフライヤーが東京ー北九州間にそれぞれ参入している。これにより、新規参入企業は需要の見込める幹線都市間へ参入を行い、幹線都市間には、多くの航空会社が就航することとなり、運行本数や割引運賃の面から利用者に利便性の向上をもたらした。

増減・廃止の自由化は、航空会社が自由に増便や減便を行うことができることである。羽田空港に関しては、発着枠増加のタイミングに、新規会社への割当てや既存会社の増便などに限定されている。しかし地方空港では、航空会社の事業不振から減便や廃止の要望が徐々に出てくるようになり、地方都市間を結ぶ不採算路線の減便や廃止が進んできている。そのような都市間では、これまで直行便で移動できていたものが、乗り継ぎが必要となり、運賃や所要時間が余計にかかる結果となり、利用者に利便性の低下をもたらしている。

運賃の自由化は、1990年に同一距離・同一運賃帯への移行と遠距離逓減の徹底を目指して標準原価が導入され、それまで起きていた南北格差（北海道や東北を結ぶ路線の賃率が相対的に割高となっていたこと）の是正が図られた。1995年には50%以内の営業割引運賃等が認可制から届出制になり、単身赴任割引や家族割引など新しい種類の割引運賃が生まれた。1996年には標準原価から25%以内の幅で普通運賃設定が自由化され、2000年の航空法改正で運賃はすべて届出制になった。この結果、幹線や新規参入路線などでは割引率が高く設定され、それ以外の地方路線などとの運賃格差が生じることとなった。

1986年からの規制緩和は、同一路線における2社運航、3社運航を推進することで、多様な割引運賃が登場し、航空需要の喚起、消費者利便性の向上につながるという一定の効果をもたらした。一方で航空会社の経営的な観点から、地方・離島路線の減便・廃止という問題や割引運賃の格差という問題を同時に抱えることとなった⁷⁾。

表3 空港の開港年と主な出来事

年	航空の主な出来事
1965	松本空港開港
1986	航空政策の転換
1991	庄内空港開港
1993	石見空港開港 福島空港開港
1994	関西国際空港開港
1996	需給調整規制廃止
1997	羽田C滑走路供用開始
1998	大館能代空港開港 佐賀空港開港 スカイマークエアライン参入
2000	羽田B滑走路供用開始 航空運賃が届出制へ
2002	スカイネットアジア航空参入 北海道国際航空参入
2005	中部国際空港開港
2006	神戸空港開港 スターフライヤー参入

3. 既存研究の整理

都市間交通の既往研究は、奥村ら²⁾や金子ら⁸⁾によって整理されている。その中では、データ整理・交通行動分析・評価手法などにおいて多様な課題があると指摘している。そこで本研究では、まず交通分野における地域格差についてレビューを行い、次に都市間交通の評価に関連する既往研究についてレビューを行う。

交通分野における地域格差を扱った研究としては、移動する際の価格差に注目したAndersonら⁹⁾やKnappら¹⁰⁾の研究がある。これらはいずれも費用（運賃）のみに着目している。移動の容易さを評価する際には価格だけではなく、運行頻度や所要時間といった尺度も含めた評価が必要である。

都市間交通の整備評価に関しては、鉄道・航空それぞれに評価マニュアル^{11) 12)}がある。その評価の中で、運行

頻度や所要時間を含めた評価はされている。しかし、これらをモード別に評価することは、航空、鉄道をそれぞれ整備する2重投資にもなりかねなく、都市間公共交通を整備するという視点からは、複数の交通モードを同時に考える必要がある。

複数の交通モードによる移動利便性を評価している研究としては、栢元ら¹³⁾の研究がある。ある都市間の交通ネットワークが改善されたときに発生する便益を地域別に示す過程において、非集計選択モデルの効用を用いることにより鉄道と航空の2つのモードを考慮している。山口ら¹⁴⁾は交通一般化費用を求める際に交通機関別のシェアを取り入れ、アクセシビリティ指標を算出している。天野ら¹⁵⁾や中川ら¹⁶⁾は、都市間交通における運行頻度を考慮した新たな所要時間指標として、各時刻における目的地までの所要時間を足し合わせた積み上げ所要時間を定義している。菊池ら¹⁷⁾は、この積み上げ所要時間を用いた複数モードの期待一般化費用(EVGC)の算出を行い、都市間交通の利便性が国土構造に与える影響を経年的に明らかにしている。しかし、一般化費用を用いる場合は時間価値を外生的に与えるが必要になる。都市間交通の場合では、地域間で時間価値が異なることから、その扱いが複雑となる。このような問題から、時間価値に頼らない都市間移動の利便性を評価する方法が必要であると考えられる。また、アクセシビリティの総合指標としてはログサム変数を採用している研究^{18) 19)}もある。しかしログサム変数を用いた場合、都市間ごとにパラメータ推定する必要があり、対象ごとに多数のサンプルデータが必要となる。

そこで、本研究では、筆者ら³⁾が提案している都市間移動の地域格差を計測する都市間モビリティ指標を用いて都市間交通の利便性の動向を明らかにする。この都市間モビリティ指標は、DEA手法^{20) 21)}(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。DEA手法は、企業や自治体の相対効率性を評価する分析手法として開発されたノンパラメトリック手法である。DEA手法では、統計的な検定はできないことや、データにエラーがあった場合に結果がそのエラーに影響を受ける可能性があること、また欠損値を含むデータは扱えないという欠点がある。一方で、アクセシビリティ指標の算出に用いられるようなログサム変数などの抽象的統計モデルを決め、残差の分析に基づいてパラメータ推定するという間接的な方法も、DEA手法では回避することができる。つまり、パラメータ推定には多数のサンプルを必要とするが、DEA手法ではサンプルサイズを問題としないといった利点がある。加えてDEA手法では、複数の投入・産出項目を扱える。つまり、航空経路のデータ・鉄道経路のデータというように複数交通モー

ドの経路を扱えることや、輸送実績や人口など評価項目によって変数を加えることが可能であるという利点がある。その上、対象とする事業体(Decision Making Unit以下、DMU)間の効率性の違いを比率尺度によって定量的に評価でき、また条件不利DMUへの改善案を具体的に提言できるといった特徴がある。

4. 都市間モビリティ指標

(1) 都市間モビリティ指標の概要

筆者らは、移動の容易さを表すモビリティ指標として「個人モビリティ指標」「需要考慮モビリティ」「人口考慮モビリティ指標」を提案³⁾しており、本研究では、その評価手法を用いる(表4)。

表4 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)	

個人モビリティ指標は、個人が移動する際の目的地へ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するものである。

需要考慮モビリティ指標、人口考慮モビリティ指標は、それぞれ需要、人口に対して適切な交通サービスが提供されているかを評価する。これは、現実には需要規模や人口規模によって運行本数などの供給サービスが決まっているのが一般的であり、利用者もそのことをある程度受容していると考えられる。そのため、需要規模を考慮した指標および人口規模を考慮した、都市間モビリティを計測する指標も用いる。この2つの指標は、それぞれ輸送人員や人口が少ない都市間でよい交通サービスが提供されている場合、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)と考える。つまり、需要規模や人口規模を考慮することにより、都市間移動の顕在需要や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する指標である。

これらのモビリティ指標は、DEA手法^{20) 21)}*1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、DEAの分析対象としての事業体（DMU）を各都市間の交通サービスと定義する。このサービスは都市間を個人が移動する際に享受可能なものであり、つまり移動者にとってのモビリティを表すものである。

また本研究では、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であり、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。本研究では、このD効率値を用いて都市間公共交通モビリティの動向を考察することとする。

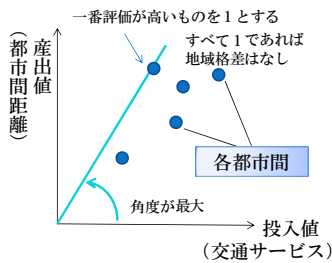


図1 DEA手法を用いた評価イメージ図

(2) DEA手法の概要

DEA手法は、開発された経緯から企業や自治体を評価対象にした研究は多数見受けられるが、評価対象はこれらに限らない。例えば、Chiouら²²⁾は、台湾の国内航空路線を対象に、交通サービス評価を行っている。また、Graham²³⁾の研究の中では、従業員数、車両定員、路線長、客車走行キロを用いて都市鉄道の運行効率を評価している。しかし、DEA手法を複数の交通モードに適用して、モビリティを評価している研究は筆者の知る限り存在しない。

DEA手法には、主としてCCR(Charnes-Cooper-Rhodes)モデル²⁴⁾とBCC(Banker-Charnes-Cooper)モデル²⁵⁾がある。CCRのモデル式を式(1)、式(2)に、BCCのモデル式を式(3)、式(4)に示す。

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

$$\begin{aligned} \text{Subject to: } & \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \\ & \sum_{r=1}^t u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon \\ & i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, n \quad r=1, \dots, t \end{aligned} \quad (2)$$

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

ルキメデス無限小数を示す。

$$\text{Max } \theta = \sum_{r=1}^t u_r y_{r0} + \sigma \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{Subject to: } & \sum_{i=1}^m v_i x_{i0} = 1 \\ & \sum_{r=1}^t u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} + \sigma \leq 0 \\ & u_r, v_i \geq \varepsilon \\ & i=1, \dots, m \quad j=1, \dots, n \quad r=1, \dots, t \\ & \sigma: \text{無制約} \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 σ は、新しく付け加えられた制約条件

$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ に関する双対変数、 λ は、各事業体の入出力変数をつなげるための変数を示す。

2つのモデルの大きな違いは次の2点²⁶⁾である。

- ① 規模の経済性に関して収穫一定を仮定しているか、その仮定をおかないかである。
- ② 一般に効率的前端が決められるとそれによって生産可能領域が決定される。図2は生産可能領域と効率的前端を示しており、図中の点は各都市間である。CCRモデルの効率的前端は、原点と事業体を結ぶ線の角度が最大になるように効率的前端を決定（図の実線）するのに対し、BCCモデルでは、現存する都市間の点の凸包とその凸包より大なる投入と小なる出力をもつ点を結ぶ点から（図の点線）から構成される。そのため生産可能領域がCCRモデルの場合、A+B+Cの領域になるのに対し、BCCモデルの場合はCの領域となる。

このような違いから、CCRモデルで評価した場合、BCCモデルよりも厳しい評価となる。一方BCCモデルでは、規模の変化による効率変動を現存する都市間に準拠して考慮しているため、CCRモデルのものよりD効率値が大きくなるという手法的特徴がある。

本研究では、まず運賃や所要時間は距離によって概ね比例的に増加するのが一般的であることから、距離に応じて交通サービスが一律に変化する規模の収穫が一定と仮定したCCRモデルを用いて分析する。一方で、運行本

数などの交通サービスは需要規模に応じてS字曲線的に変化することも知られており、規模の収穫は一定でない部分もある。そのため、BCCモデルを用いた分析も併せて行う。

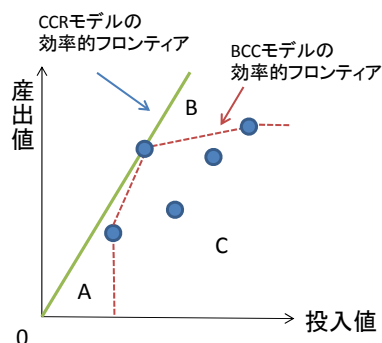


図2 生産可能領域と効率的フロンティア

(3) 時系列分析の方法

DEA手法において、時系列的に効率性の変化を測定する代表的な方法として、マalmquist指数を用いる方法とウィンドー分析法がある。

マalmquist指数は、生産性変化を示す指標であるが、生産性変化を技術効率性変化と技術変化(フロンティア・シフト)に分離して計測することを可能な指標である。またウィンドー分析は、時系列的にデータがある場合に、各時点におけるDMUを独立した活動とみなして時系列的に効率性の測定を行い、その変化の傾向をみることができるとする手法である。

ウィンドー分析では、マalmquist指数では分かるようなD効率値の上昇による理由が技術効率性変化と技術変化(フロンティア・シフト)なのかはわからない。しかし本研究では、出力される結果が単年度で分析されたものと同じD効率値で算出され、結果が直感的に理解しやすい²⁷⁾ というウィンドー分析を用いて時系列分析を行うこととする。なお本研究は、都市間ごとの評価をしているが、鉄道の場合、交通サービスが改善された区間を利用するすべての都市間において改善され効果が広範囲に及ぶことに留意する必要がある。

ウィンドー分析は、隣接する2期を比較対象としたウィンドー分析や総当たり方式のウィンドー分析などがある。後者の総当たり方式のウィンドー分析のほうが、時系列変化をより多く測定でき、実証結果として信頼度を高めることができる²⁸⁾ ことより、本研究では、総当たり方式のウィンドー分析法を用いる。

総当たり方式のウィンドー分析法の手順は、以下のとおりである²¹⁾。説明を簡略化するために3期間の場合を例として説明をする。

- ① まず、1つの期だけを対象にD効率性を計算する。即ち1期、2期、3期の活動を対象として3通り。
- ② 次に、2つの期のすべての組み合わせについてD効率性を計算する。即ち1期－2期、1期－3期、2期－3期の3通り。
- ③ 最後に、3つの期を全部一緒にしてD効率性を計算する。即ち1期－2期－3期の1通り。

表5にその結果を示す。この表の $\theta_{A1,13}$ は、1期－3期の組合せで計算したときの A_1 (Aの第1期)のD効率値を意味する。この表の値を横に平均すれば、各活動の各期の評価値(θ_{A1} など)が得られ、さらにそれを縦に平均すれば、各活動の全期間を通しての評価値(θ_A など)がわかる。ここでは3期間の場合を説明したが、一般にn期間になったときは、期の組合せの総数は $2n-1$ になる。

表5 総当たり式ウィンドー分析の組合せ表

社・期	組合せ				平均	各社平均
A1	$\theta_{A1,1}$	$\theta_{A1,2}$	$\theta_{A1,3}$	$\theta_{A1,23}$	θ_{A1}	θ_A
A2	$\theta_{A2,2}$	$\theta_{A2,2}$	$\theta_{A2,3}$	$\theta_{A2,23}$	θ_{A2}	
A3	$\theta_{A3,3}$	$\theta_{A3,13}$	$\theta_{A3,23}$	$\theta_{A3,123}$	θ_{A3}	
B1	$\theta_{B1,1}$	$\theta_{B1,2}$	$\theta_{B1,3}$	$\theta_{B1,23}$	θ_{B1}	θ_B
B2	$\theta_{B2,2}$	$\theta_{B2,2}$	$\theta_{B2,3}$	$\theta_{B2,23}$	θ_{B2}	
B3	$\theta_{B3,3}$	$\theta_{B3,13}$	$\theta_{B3,23}$	$\theta_{B3,123}$	θ_{B3}	
C1	$\theta_{C1,1}$	$\theta_{C1,2}$	$\theta_{C1,3}$	$\theta_{C1,23}$	θ_{C1}	θ_C
C2	$\theta_{C2,2}$	$\theta_{C2,2}$	$\theta_{C2,3}$	$\theta_{C2,23}$	θ_{C2}	
C3	$\theta_{C3,3}$	$\theta_{C3,13}$	$\theta_{C3,23}$	$\theta_{C3,123}$	θ_{C3}	
D1	$\theta_{D1,1}$	$\theta_{D1,2}$	$\theta_{D1,3}$	$\theta_{D1,23}$	θ_{D1}	θ_D
D2	$\theta_{D2,2}$	$\theta_{D2,2}$	$\theta_{D2,3}$	$\theta_{D2,23}$	θ_{D2}	
D3	$\theta_{D3,3}$	$\theta_{D3,13}$	$\theta_{D3,23}$	$\theta_{D3,123}$	θ_{D3}	

(4) 都市間モビリティの分析条件

本研究では、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⁴²⁾)を対象とした。各都市間の交通サービスは、移動する経路によって異なっている。しかし、実際に利用されている経路に基づいた交通サービスデータを取得することは困難である。そこで本研究では、都市間を移動する利用者がもっとも多く利用するであろう所要時間最小経路の交通サービスデータを用いて分析を行うこととした。その所要時間最小経路の交通サービスデータは、国土交通省が開発したNITAS(総合交通分析システム) Ver. 1.7を用いて算出した。対象の都市間は、都道府県庁を起終点とする200km以上の781都市間とし、DEA手法では欠損値が扱えないため、同一空港が最寄りとなる都市間は除いた。各データは、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、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⁴³⁾(待ち時間、乗り換え時間)である。このその他時間は、便数が多いほど小さくなるような便数サ

ービスの代理変数と考えることができる。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²⁹⁾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³⁰⁾を用いた。なお、物価上昇などに応じた時代間の貨幣価値の相違を考慮して、運賃は内閣府のGDPデフレーターを用いて実質化している。時間に対する価値観も時代によって変化するが、その大きさは物価変動ほど大きくないと思われるため、ここでは考慮していない。

また、3つのモビリティ指標は、それぞれ表6に示す入出力項目を設定した。入力項目は、3つの指標ともに利用者が都市間移動をする際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、鉄道・航空といった公共交通で移動する都市間需要に、どれだけ見合った交通サービスがその都市間に提供されているのかという観点から評価するため、出力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であると評価される。そのため、入力項目には少なければ少ない方がよいもの、出力項目には多ければ多いほどよいものを扱う必要がある。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²¹⁾。本研究では、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）と考える。そのため、出力項目の人口の変数は、人口変数は逆数変換を施すことにした。また、出力項目の輸送人員は、都市間によっては0があり、逆数変換ができない。そのため、式(5)を用いて大小変換^{21) 31)}を行い、輸送人員変数 D^A としてモデル上で扱っている（非負にするため最小の整数値である1を加えている）。

$$D^A = \frac{2\mu - D^A + 1}{2} \quad (5)$$

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6 DEA手法によるモビリティ計測の設定条件

指標	入力項目	出力項目
個人モビリティ	鉄道運賃(円) 鉄道所要時間(分) 鉄道その他時間(分) 航空運賃(円) 航空所要時間(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) 鉄道所要時間(分) 鉄道その他時間(分) 航空運賃(円) 航空所要時間(分) 航空その他時間(分)	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) 鉄道所要時間(分) 鉄道その他時間(分) 航空運賃(円) 航空所要時間(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)

5. 都市間モビリティの時系列分析

図3、図4は、CCRモデル及びBCCモデルを用いて算出した781都市間のD効率値の平均値を示している。この平均値は、わが国全体でのモビリティ水準の変化を表しており、D効率値の変化が上昇していればわが国全体でのモビリティの水準は向上しており、減少していれば悪化したことを示している。また、D効率値の変化は、例えばD効率値0.2から0.4に改善された場合は、1からの乖離度合いが、80%から60%となったことを意味しているため、都市間モビリティが20%改善したことを示している。

2つのモデルの結果をみると、BCCモデルのD効率値はCCRモデルより全般的に高い値を示した。これは、モビリティの向上は交通サービスの向上に対して過増傾向にある（規模の経済性が働いている）ことを表している。しかし、需要考慮モビリティの1991年と2006年では規模の経済性が働いていない結果であった。これは、両年においてCCRモデルのフロンティアに近いフロンティアがBCCモデルにおいても形成されたのではないかと推察できる。

また両モデル共通の傾向として、個人モビリティ、人口考慮モビリティについては1971年から1991年まで上昇傾向にある。これは、GDPデフレーターより物価指数が0.473から1.092（2006年=1とした場合）と2倍以上に上昇しているため、航空・鉄道の運賃が実質安くなったことが影響しているといえる。1991年以降はD効率値が徐々に減少傾向となった。1991年から2001年の間には、山形、秋田、長野新幹線が開通し、加えて1992年には東海道新幹線が最高速度を220km/hから270km/hに、1997年には東北新幹線の最高速度が240km/hから275km/hに速度向上している。航空では1994年に関西国際空港が開港している。そのため、これらによる所要時間の短縮やその他時間の短縮の恩恵が受けられる都市間では、これらの

要因によって都市間モビリティが向上した。しかし、これらの整備効果でのD効率値の改善は一部の都市間に限られ、むしろ1995年にJR北海道、四国、九州が、運賃を7.0%～8.0%の値上げを行っており、その影響がわが国全体の都市間モビリティを悪化させたため、1991年から2001年は減少傾向になったと考えられる。

需要考慮モビリティでは、1991年から2001年にはD効率値が上がっているが、2006年度には再び低下している。これは、国内の輸送人員の減少が影響したためである。

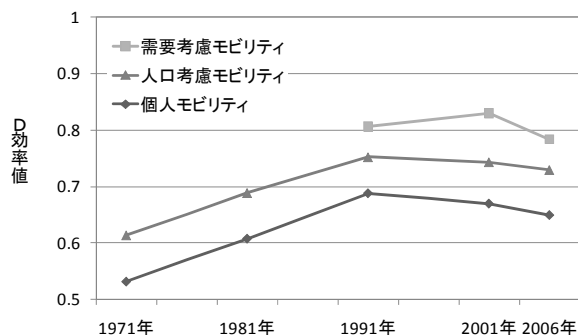


図3 都市間モビリティの時系列変化(CCRモデル)

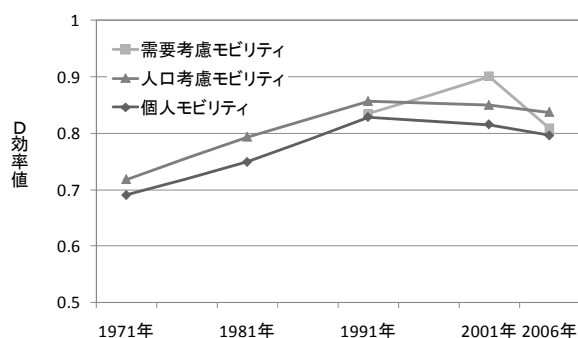


図4 都市間モビリティの時系列変化(BCCモデル)

次に、CCRモデルの結果を用いてD効率値を算出し、その変化に特徴のある都市間について図5～7に示した。

図5は千葉ー長野、新潟ー兵庫の個人モビリティを示している。千葉ー長野は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350分で所要時間最小の経路であったが、新幹線開業により鉄道が205分と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で、D効率値が低下したものと考えられる。新潟ー兵庫においては、1972年に山陽新幹線が新大阪ー岡山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し490分かかっていたものが、東京を経由し新幹線を利用する414分かか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。これらの結果は、所要時間最小経路にて所要時間と運賃を

算出したためとも考えられる。そのため実態を反映した経路のデータを利用した場合、より精緻な結果が算出されるといえる。

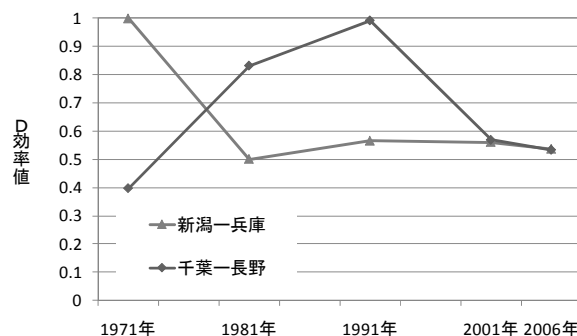


図5 個人モビリティの時系列分析結果

図6は、北海道ー岐阜、三重ー鹿児島需要考慮モビリティの時系列変化を示したものである。北海道ー岐阜は、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、輸送人員は81千人から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おける航空の運航本数の増加によるその他時間（待ち時間）の減少がD効率値上昇の要因として考えられる。

三重ー鹿児島は、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、輸送人員は28千人から31千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。

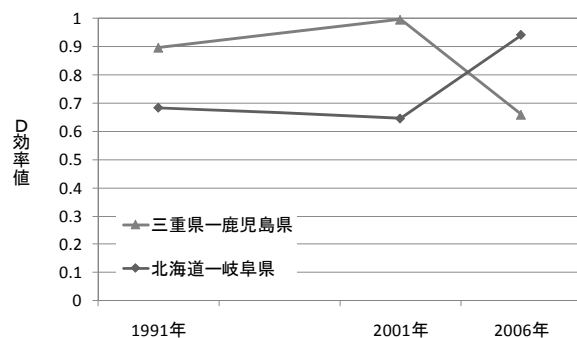


図6 需要考慮モビリティの時系列分析結果

図7は、高知ー佐賀の人口考慮モビリティの時系列変化を示したものである。高知県は1991年より、佐賀県は2001年より人口が減少傾向にあり、人口が減少したことによりD効率値が高くなった都市間であるといえる。愛媛ー鹿児島は、1978年に直行便が就航したことにより、航空の所要時間が46分短くなった。それにより1981年で

の効率値が上昇している。それ以降、直行便は保たれ、徳島、鹿児島両県の人口は減少したため、D効率値は上昇している。しかし、他の都市間の利便性が向上しているため、2001年以降はD効率値が低下したものと考えられる。

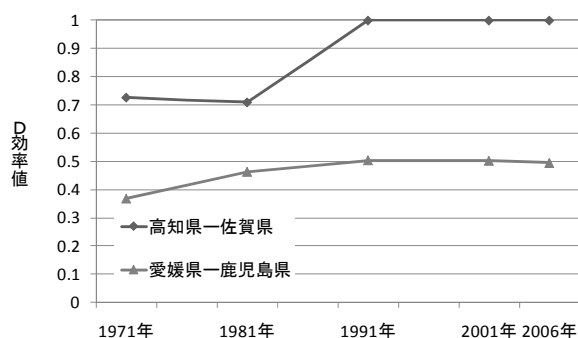


図7 人口考慮モビリティの時系列分析結果

6. おわりに

本研究では、DEA手法を援用したモビリティ指標を用いて、1971年から2006年までの交通施設整備や技術革新などによる都市間交通の利便性の動向を明らかにした。新幹線開業や速度向上によって、1991年まではモビリティが向上していたものの、それ以降は鉄道や航空の運賃が実質的に上昇したことにより再び低下していたことがわかった。しかし、需要考慮モビリティでは、分析結果より、需要の増減と交通サービスの変化が都市間モビリティの変化に与えている影響が明らかになった。

特に迂回経路を利用しなければならない都市間では、運賃や所要時間の増加につながり、モビリティが低下しやすい要因のひとつであるといえる。つまりこのような都市間が存在する場合は、乗り継ぎの割引運賃などを設定することが必要であるといえる。

今後の課題としては、まず、データの精緻化が挙げられる。とくに航空運賃は規制緩和後に多様化しており、実勢運賃を表現できるデータを用いることが規制緩和の影響分析には必要となる。また、都市間の移動経路も多様であり、最小時間経路のみが利用されているとは限らないことから、この扱いについてさらなる検討が必要である。そのため、新たなデータの取得と精緻化を行うことにより、より現実的な結果が算出されるといえる。

2点目は、モビリティの低下を防ぐための割引運賃や乗り継ぎ運賃を用いたモビリティ変化を把握し、より効果的な施策を探ることも今後の課題である。

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。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 具体的な計算例は、参考文献 21 を参照のこと。

*2 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。

*3 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) 高田邦道：豊かな地方にするためには、国土と政策 No. 28、pp. 16-19、2009.
- 2) 奥村誠、中川大、山口勝弘、土谷和之、奥村泰宏、日野智、塚井誠人：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、CD-ROM、2002.
- 3) 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、pp. 807-816、2009.
- 4) 高速鉄道研究会著：新幹線-高速鉄道の技術のすべて、山海堂、2003.
- 5) 波床正敏、中川大：幹線鉄道におけるハブシステム構築の効果と意義に関する研究-スイスの鉄道政策 Rail2000の効果分析を踏まえて-、都市計画論文集 No. 41-3、pp. 839-844、2006.
- 6) （株）ANA総合研究所編著：航空産業入門、東洋経済新報社、2008.
- 7) 山内弘隆：日本の航空事情について、航政研シリーズ、No. 483、pp. 111-129、2007.
- 8) 金子雄一郎、加藤浩徳：我が国の都市間交通研究の系譜、土木計画学研究・講演集Vol. 31、CD-ROM、2005.
- 9) Anderson W. P., GONG G., LAKSHMANAN T. R. : Geographical Variation in Cost of Air Travel. Analysis of the Domestic Airline Fares Consumer Report, Transport Research Record, No. 1788 pp. 13-18, 2002.
- 10) Knapp S. F., Lago A. M. : Results of a Parametric Cost Analysis of Differences between Urban and Rural Transportation Services for Transportation -disadvantaged Persons, Transport Research Record, No. 934 pp. 1-8, 1983.

- 11) 国土交通省航空局：空港整備事業の費用対効果分析マニュアルVer.3、2004.
- 12) 運輸省鉄道局監修：鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル99、財団法人運輸政策研究機構、1999.
- 13) 栢元淳平、塚井誠人、奥村誠：複数経路を考慮した鉄道・航空ネットワークの評価、土木計画学研究論文集No.20、pp.255-260、2003.
- 14) 山口勝弘、幕亮二：都道府県間アクセシビリティ改善の経済効果、交通学研究2003年研究年報、Page.9-19、2003.
- 15) 天野光三、中川大ら：都市間交通における所要時間の概念に関する基礎的研究、土木計画学研究・論文集No.9、pp.69-76、1991.
- 16) 中川大、波床正敏ら：国際交通分析における利便性指標としての積み上げ所要時間に関する研究：土木学会論文集No590/IV-39、pp.43-50、1998.
- 17) 菊池隆史、中川大、大庭哲治：フリークエンシーを考慮した都市間交通利便性と地域発展及び国土構造との関係に関する研究、都市計画論文集No43-3、pp.247-252、2008.
- 18) 宮本和明、北詰恵一、磯野文暁：都市交通基盤および関連施設整備がもたらす便益の相乗効果を考慮した起源別計測、日本不動産学会誌Vol.15 NO.4 pp.59-67、2002.
- 19) 加藤浩徳、金子雄一郎、井上真志：交通プロジェクトの利用者便益評価におけるOD間代表一般化費用に関する諸問題-ロジットモデルを用いる場合のケーススタディー、運輸政策研究 Vol.6 No.1、pp.23-38、2003.
- 20) Charnes A. ら、刀根薫ら監訳：経営効率評価ハンドブッカー包絡分析法の理論と応用一、朝倉書店、2000.
- 21) 刀根薫：経営効率性の測定と改善、日科技連、1993.
- 22) Chiou, Y.-C., Chen, Y.-H. : Route-based performance evaluation of Taiwanese domestic airlines using data envelopment analysis, Transportation Research Part E 42 (2), pp.116-127, 2006.
- 23) Graham Daniel J. : Productivity and Efficiency in Urban Railways: Parametric and non-parametric estimates, Transport Research E Policy, Vol.44 No.1 pp.84-99, 1992.
- 24) Charnes, A., Cooper, W.W. and Rhodes, E.L. : Measuring the Efficiency of Decision Making Unites, European Journal of Operational Research Vol.2, pp.429-444, 1978.
- 25) Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W. : Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, Management Science, Vol.30, pp.401-425, 1984.
- 26) 末吉俊幸：DEA-経営効率分析法-、朝倉書店、2001.
- 27) 杉山学：データ包絡分析法によるJRと大手私鉄の事業活動効率比較、群馬大学社会情報学部研究論集16、pp.61-82、2009.
- 28) 末吉俊幸：DEA/WINDOW分析法による電気通信事業体の経営効率と規模の経済性の比較、検討、オペレーションズ・リサーチ37、pp.210-219、1992.
- 29) 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>
- 30) 総務省：人口推計データ、
<http://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.htm>
- 31) 原潔、黄少雄：包絡分析法(DEA)による船舶運航の効率性評価、日本航海学会論文集No.96、pp.149-155、1997.

わが国の都市間公共交通モビリティに関する時系列分析*

荒谷太郎**・轟朝幸***

わが国の都市間交通は、新幹線を中心とする鉄道ネットワークに加え、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ている。しかし、地域別にみると新幹線のルートから外れた地域や、航空の不採算路線の廃止による地方路線からの撤退により、移動の利便性が低下した都市間もある。

本研究では、DEA手法を援用したモビリティ指標を用いて、1971年から2006年までの交通施設整備や技術革新による都市間交通の利便性の動向を明らかにした。その結果、新幹線開業や速度向上によって、1991年まではモビリティが向上していたものの、それ以降は鉄道や航空の運賃が実質的に上昇したことにより再び低下していたことがわかった。

Time Series Analysis of Intercity Mobility by Public Transportation Service in Japan*

By Taro ARATANI**・Tomoyuki TODOROKI***

In recent years, intercity mobility in Japan has steadily improved as a result of deregulation in the transport sector, improved transportation facilities, technical innovations, and other factors. However, focusing in local intercity mobility, there are becoming low intercity mobility due to the city located off Shinkansen route and withdrawal from less profitable business.

In this study, progressive shifts of intercity mobility in Japan from 1971 to 2006 by the policies for improvement of high-speed railways, deregulation of air services and so on were clarified by using Data Envelopment Analysis. As a result, it is shown intercity mobility becomes higher by improvement of high-speed railways until 1991. However, intercity mobility becomes decrease by rising air and train fare after 1991.
