

交通手段の成立可能領域と有利地域に着目した交通政策の有効性の分析

現在、都市域において発生している様々な交通問題解決のためには、交通施設整備を積極的に進めるとともに、交通需要マネジメント(以下TDM)や公共交通の有効利用も効率的に実施する必要がある。一般に交通サービスの供給側は交通手段ごとに異なる採算性や容量制約を有し、都市規模や交通基盤の配置状況でその需要量が決まってくる。この「供給」と「需要」の両者をうまく結ぶ交通政策が現在求められている。本研究では、まず供給側から見た各交通手段の「成立可能領域」と、需要条件から決まる各交通手段の「有利地域」を理論的かつ実証的に特定した。この結果から、交通施設整備やTDMなどの各種交通政策によって両領域に及ぶ影響を検討し、各種政策の実現可能性を検討した。

キーワード 都市交通政策, 成立可能領域, 有利地域, トランスポーターギャップ

石田東生
ISHIDA, Haruo

工博 筑波大学社会学系教授

谷口 守
TANIGUCHI, Mamoru

工博 岡山大学環境理工学部助教授

鈴木 勉
SUZUKI, Tsutomu

工博 筑波大学社会学系講師

古屋秀樹
FURUYA, Hideki

工博 筑波大学社会学系講師

1 はじめに

21世紀を間近に控え、我が国の都市交通政策は一つの大きな節目を迎えている。交通分野は混雑・環境・事故・エネルギー消費など未だに多くの課題をかかえており、積極的な交通基盤整備が必要な状況にある。都市計画中央審議会の平成9年6月の答申では、都市規模に見合った交通システムの構築や、公共交通を都市のインフラストラクチャーとして整備することの重要性を指摘している。また、同じく平成9年6月に示された道路審議会の建議では、都市内経済活動の活発化のため、公共交通投資と道路整備の役割分担(バランス)に留意した整備を行う必要性に言及している。これらはいずれも状況や条件に応じて交通の適正化をはかり、交通施設整備の実効性を高めていくことの重要性を示唆したものと見え、来世紀に向けて都市のリノベーションを進めていく思想の中で、一つの大きな流れとなっている。

しかし、このような指摘に対し、どのような規模や構造の都市に対し、どのような交通システムを配すれば望ましいのかという問いに対し、十分な研究成果や情報が無いのが実状である。そのためには、従来交通の供給側や需要側にそれぞれ着目して別個に進められている諸研究を、交通政策の定量的評価という観点から統合的に見る視点が必要となる。特に、交通サービスの供給主体側の容量や採算性といった諸制約に対し、各都市の交通需要がその制約の範囲内にあてはまるかどうかの確認がまず必要である。しかし、各所で進められてい

るTDMや公共交通機関の有効利用といった交通適正化を目的とした諸方策の中には、各交通サービスの供給側や需要側の諸条件に対する認識が不十分なケースも多く、そのようなところでは方策が有効に機能する可能性は低い¹⁾。実際には一般論として、図1に示すような各交通手段の成立領域のイメージ図に基づいて、どのレベルの交通需要がどのような交通手段に対応しているか(図中の×及び印)という議論が行われている程度で、この図も実際の都市の広がりや具体的な数値を考慮して作成されたものではなく、定量的な観点から政策検討のための根拠とするには十分とはいえない。

本論文では上記のような問題意識のもとで、まず、交通サービスの供給側に着目して各交通手段の「成立可能領域(Domain)」を需要密度や都市規模の面から具体的に明らかにする。この各交通手段の「成立可能領域」を

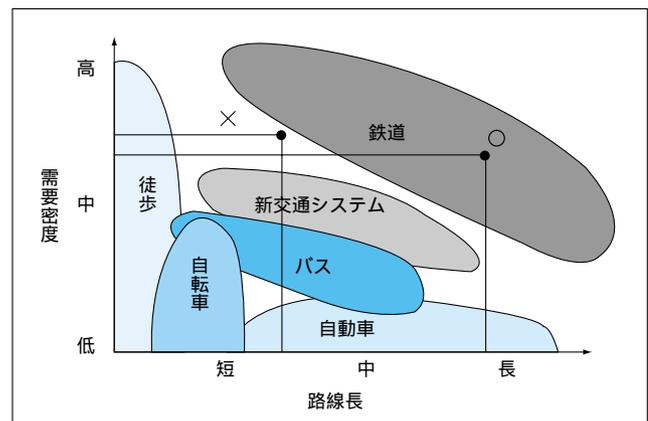


図1 交通手段の成立領域検討のために現在一般に用いられているイメージ図

重ね合わせる事で、いずれの交通手段も「成立可能」ではないトランスポーター・ギャップ領域についても合わせて抽出が可能となる。次に、需要側(利用側)については各都市圏ごとに一般化費用を指標として各交通手段の「有利地域(Dominated Territory)」を特定し、その地域に対応する交通需要を求める。ある交通手段の「成立可能領域」内に、ある都市におけるその交通手段の「有利地域」から求めた交通需要があてはまるなら、その交通手段の成立可能性は高いといえる。さらに、各種交通政策実施時に各成立可能領域や各有利地域の大きさや位置に及ぶ影響を具体的に明らかにすることで、各政策の実現性に対して批判的な検討を行うとともに、効果の期待できる政策と都市の組み合わせを具体的に示す。ここで政策として考慮するのは、公共交通の初期投資補助、運営費補助、運行速度の改善、相乗り政策、自動車に対する料金政策(ロードプライシングや駐車料金)などである。

なお、本研究では「特定の都市のどの地点でどのインフラ整備を行うべき」といった個別の具体的な指摘を行うことは目的としていない。どの程度の規模、交通ネットワークの都市で、どういった交通政策の妥当性が高いかというおおよその方向性を、定量的な観点から検討することを目的としている。供給側、需要側の各モデルはこの目的が達成できる範囲内で極力簡素化をめざした。

2 従来の研究と本研究の分析フレーム

交通サービスの供給と需要に関する研究は、現在までも様々な観点から進められてきた。まず、供給側の視点に立ち、各交通手段間の役割分担のあり方を速度と輸送力の面から検討した天野²⁾の研究があげられる。また、新谷³⁾は、需要密度の高さとトリップ距離から各交通機関の適正な守備範囲を明らかにしている。海外でもVuchic⁴⁾による各交通手段特性に関する研究や、トランスポーターギャップに関するBouladon⁵⁾の研究がみられる。これらの研究で考慮されている事柄に加え、本研究の先行研究では1)交通機関の採算性 2)実際の都市形態との関連づけに着目し、本研究の先行研究として各交通手段の成立可能領域に関する検討と、トランスポーターギャップに関する研究を進めてきた^{6),7)}。本研究ではまずこれらの先行研究の前提条件に様々な改善を加え、実用に耐えるレベルにまで内容の改訂を行う。

一方、交通サービスの需要者(利用者)側の視点に立つ研究は現在までに数多くのものが実施されている。実際の交通データから、都市の交通特性を都市構造や都

市特性に帰着させようとする研究例としては、全国パーソントリップ調査を用いた検討例⁸⁾や、国勢調査を用いた検討例⁹⁾が見られる。また、杉恵ら¹⁰⁾は公共交通のサービス水準と、利用者の公共交通選択状況間の密接な関係を分析し、松原ら¹¹⁾は中核都市における公共交通の利用実態と諸対策について言及している。いずれも交通手段のサービスレベルと交通手段分担率の関係を扱ったものといえる。また、酒井ら¹²⁾は本研究の先行研究として需要側に着目して有利領域の概念を明らかにしている。

本研究は上記のように供給側と需要側で別々に行われていた研究をそれぞれに完成させ、最終的に重ね合わせることで交通政策の実施可能性に対して新たな知見を得ようとするものであり、その基本構成は図2に示す通りである。具体的には次の3つの部分から構成される。

- 1)交通機関の供給側の視点からの成立可能性を成立可能領域モデルによって検討する。このモデルは交通機関別の成立可能領域を、(i)最大輸送可能ラインと(ii)採算維持ラインから主に説明するものである。
- 2)これに対し、各交通機関のサービス水準が与えられた場合、交通機関の一般化費用の比較から都市空間上の各地点で利用者がどの交通機関を選好するかを明確にするのが有利地域モデルである。このモデルから各交通機関を選好する居住者の割合が都市ごとに明らかにできる。
- 3)1)と2)の結果を重ね合わせることで、需要密度と各交通機関の成立領域との比較が可能となる。

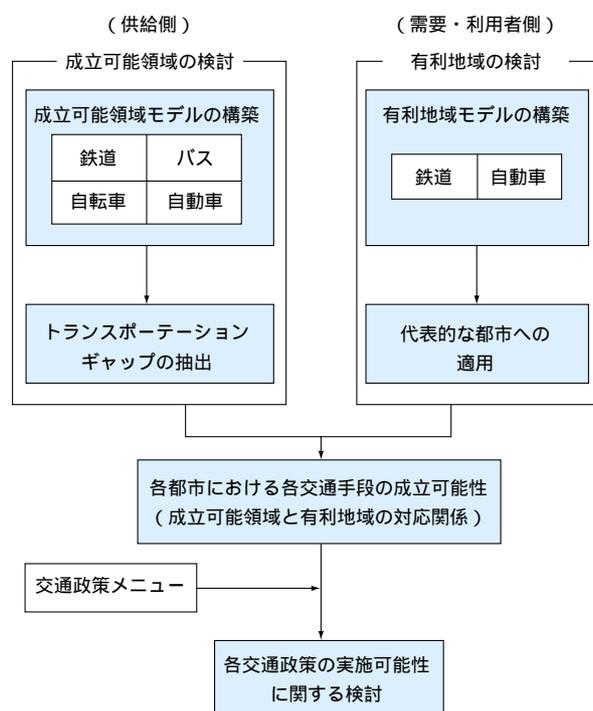


図2 本研究の全体構成

また、本研究は下記のような特長を有している。

供給側、需要側の両方に着目、その結びつきで各都市における各交通手段の成立可能性を評価できる。供給側の成立可能領域モデルの検討では、特定の事業に着目するのではなく、標準的な建設費、運営費等を明らかにし、単年度収支が等しくなるような条件に対応する需要密度の算出を行うことで一般的な分析を可能にする。

一般的な4段階推定法では各交通手段の有利地域を明確に設定することは難しい¹³⁾ので、扇形都市平面において一般化費用により有利地域を算出する。補助金の水準、スピードアップや料金政策などの交通政策が実施された際、各成立可能領域と対象都市での需要密度に及ぶ影響を簡便に明らかにできる。

3 成立可能領域モデル(供給側)の構築

3.1 都市の空間構造等に関する前提

成立可能領域モデルの構築を行うにあたり、都市の空間構造とそこから発生する交通需要、及び交通手段に関して、下記のような前提をおくものとする。これらは図 1のようなイメージ図で示されていた都市間で共通する各交通手段の成立可能領域を定量的な検討が可能なレベルにまで改善するために行うものであり、その目的を達成するための簡略化を行うという位置づけである。

- 1)都市の空間構造を規定するのは「都市圏の広がり(半径)」と「交通手段に対する需要密度」の2指標とする。
- 2)都市には中心に都心(点)が存在し、その都市における居住者は、すべて居住地からその都心へと想定する交通手段で通勤を行うものとする。
- 3)成立可能領域モデルは各交通手段ごとに構築する。換言すると、その都市には想定する交通手段のみが都心から放射状に存在すると考える。
- 4)想定する交通手段は都心から都市の端まで整備される。このため交通手段の路線長は都市圏の半径に等しくなる。
- 5)各交通手段の輸送能力を平等に評価するため、その交通手段の整備に供する用地はいずれも幅員1mに統一する。(いずれの交通手段についても、往復交通を可能とする幅をベースに輸送能力を算出するが、用地幅と交通容量間の線形関係を仮定して換算を行う。)
- 6)公共交通機関については駅や駐車場の位置を特定せず、どこからでも乗車可能であると仮定する。
- 7)各交通手段の最大旅客輸送量は、上記のような前提の結果、都心に入る地点(都心は面積がないため、実質的には都心)で最大になる。この地点においてその

交通手段の容量まで輸送できることになる。

- 8)各交通機関の容量の上限には絶対的な基準は無いが、各交通機関の容量を比較する上で、各交通機関ごとに実質的な混雑と考えられている混雑率で区切りの良い値を用いた。

ここで、交通手段に対する需要密度(トリップ発生密度)に関しては、従来の研究では都心からの距離帯別人口密度について、指数関数のクラーク・モデルや類似したニューリング・モデルが提案されている¹⁴⁾。本研究では、上述の都市に関する前提より、扇形都市圏を実質的に対象にしていることになり、都心から離れるに従い円周方向の広がりを考慮する必要がある。具体的に、都心からの距離 x (km)別の「都市中心部への通勤・通学トリップ発生密度関数」は、式(1)のように表現する。(従来のクラークモデルと比較して、 x を a にかけあわせることで円周方向の広がりを考慮した。)

$$D_x = a \cdot x \cdot \exp[-b \cdot x] \quad (1)$$

ここで、 D_x :距離 x におけるピーク時都心通勤・通学トリップ発生密度(人/h・km)、 a :都心での通勤・通学トリップ発生密度の大きさをあらわすパラメータ、 b :通勤・通学トリップ発生密度の逓減度、である。この都心トリップ発生密度の算出には、国勢調査を用いていることから、通勤・通学トリップが対象となっている。この時、全ての都市圏でトリップ発生密度関数が式(1)のように与えられ、 b が同一と仮定すると、各都市圏の需要密度は a の関数で表現できる。 b の値については、図 3に示すように実際の分布から検討し、0.13という値を用いることにする。

本来 b の値は都市規模に応じて変化するものであるため、0.13という一定値を用いたことにより、郊外部での需要推定において小規模都市では過大側、大規模都市では過小側の結果となることに注意する必要がある。

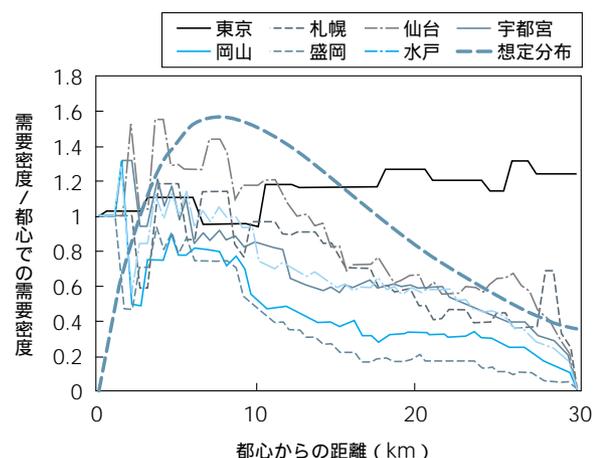


図 3 都市圏の広がりの推定

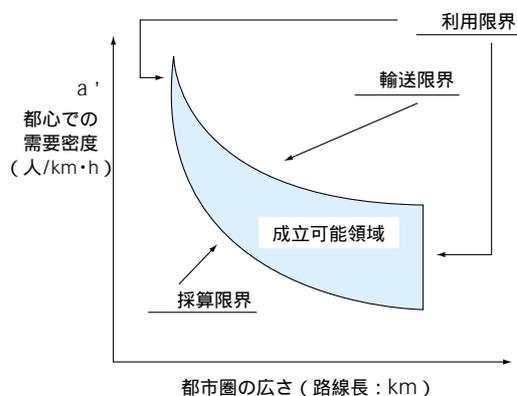


図 4 成立可能領域設定の考え方

3.2 成立可能領域モデルの考え方

各交通手段の成立可能領域は、図 4 に示すように路線長(都市の広さ)と需要密度で規定される空間上に、最大輸送可能ライン(輸送限界)、採算維持ライン(採算限界)、限界的利用可能距離(利用限界)、の3種の線分から形成される。

最大輸送可能ライン

鉄道を例とすると、都心直近で1時間あたり最大輸送力： S_{max} 式は、(2)となる。

$$S_{max} = fn \cdot con \cdot form \cdot pn \quad (2)$$

ここで、 fn ：1両あたり定員、 con ：混雑率、 $form$ ：1編成あたり車両数、 pn ：ピーク時運行本数、である。

これに対して、その断面を通過する人数は沿線の距離と距離別トリップ発生密度によって決定される。トリップ発生密度関数を式(1)と仮定した場合、最大輸送可能量と等しい(すなわち、処理できる)トリップ発生密度と都市圏の大きさとの関係を示したのが、ラインである。具体的には式(3)となる。

$$S_{max} = \int_0^r a' \cdot x \cdot \exp[-0.13x] dx \quad (3)$$

これより、都市圏の大きさが与えられたときの a' が一意的に算出される。(通勤・通学以外のトリップも含まれるため、 a 、 a' 、本文中の図はすべて a' として考えている。)

採算限度ライン

鉄道、バスといった交通機関は、採算性が考慮されなければならない。本研究では採算のバランスがとれることがその交通機関の成立する条件と考え、採算限度ラインを求めた。まず、1つの交通手段を例とするとその収入は、距離帯別トリップ量に料金を乗じ、さらに年間利用者数に換算することによって算出することができる。すなわち、

$$In = \int_0^r (2a'x \cdot \exp(-0.13x)) \cdot CT \cdot x \cdot COV dx \quad (4)$$

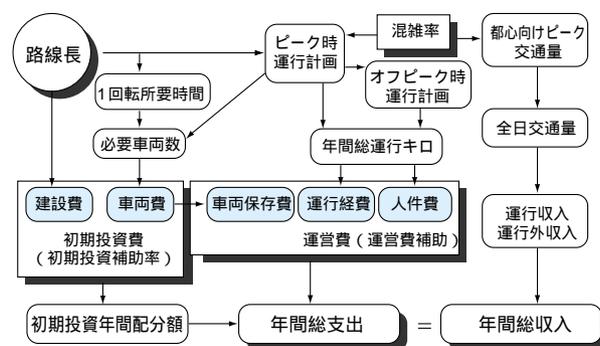


図 5 経営収支の考え方

ここで、 In ：年間収入(円)、 CT ：単位距離あたり運賃(円/Km)、 COV ：ピーク時需要密度から年間収入を求めするための換算係数である。

一方支出： Co は、図 5 に示されるフローによって算出され、建設費、車両費、運営費の合計として表現される。建設費と車両費は、数年にわたって減価償却を行うため、年毎に採算性を検討する場合には単年度換算する必要がある。そこで、この2要因は、資本回収係数を用いてその換算を行う。

採算限度ラインは、「 $In=Co$ 」を解くことにより算出できる。また、これら支出はピーク時本数や1編成車両数によって変化するため、これらケース毎に採算性を検討し、最も需要密度が低い場合の包絡線によって採算限度ラインを算出する。なお、ここでの説明変数は、初期投資補助、運営補助、混雑率ならびに路線長である。

限界利用距離

自転車などの交通手段において、体力的な面からの距離の限界である。

これらの3つのラインで囲まれた領域が、各交通機関が成立可能とするトリップ発生密度を示したものとなっている。これら各交通手段の成立可能領域を同一空間上に描くと、いずれの交通手段の成立可能領域にも属さない部分はトランスポーターション・ギャップに該当する。

4 有利地域モデル(需要側)の構築

本モデルでは、利用者(需要側)の視点から、実際の都市空間上における各地点において、居住者が利用するのに最も有利な条件にある交通手段は何であることを明らかにするものである。換言すると、居住者は一般化費用が最も小さくなる交通手段を選好するという前提に基づく分析であり、居住者の実際の手段選択結果との関連までは言及していない。モデルの議論においては以下に示すように各都市の都市構造をなるべく簡略化して考える(図 6)。鉄道ネットワークや駅の存在条件も下

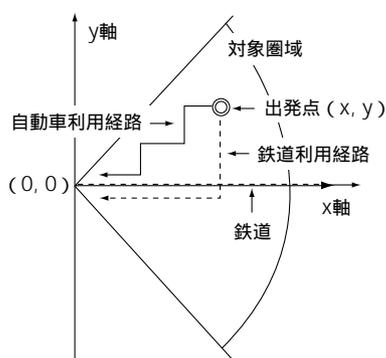


図 6 有利地域算出モデルにおける都市圏設定と都心アクセス距離算出法(4路線乗り入れ時)

記のように簡略化して考えるが、これは本論文が各都市内のどこにどのような具体的な施策を行うべきかを示すことが目的なのではなく、どの程度の規模、交通条件の都市で各交通手段に対して発生する交通需要のレベルを知ることが目的であるために導入した前提である。

- 1) 都市圏は、円形領域を設定し単一中心とする。都市圏の広さはPT調査と通勤圏を参考に決定する。
- 2) 都市内の路線網は、都市圏の中心から均等間隔で放射状に配置され、路線数は、対象都市内の都心部(CBD)に乗り入れている路線の数とする。
- 3) 駅の配置は特定しないが、駅間距離は駅までのアクセス時間に影響を与えるものとする。
- 4) 都市圏の任意の点から発生し、都心中心へ集中するトリップを仮定する。
- 5) 主要交通手段は、自動車と鉄道の2種類とする。
- 6) 鉄道利用の際のアクセス交通手段としては、徒歩、自転車、バス、自動車の4種類を検討する。
- 7) 道路利用トリップの移動距離は、鉄道に平行な軸を一方方向に持つRecti-Linear距離¹⁵⁾を用いる。
- 8) ピーク時通勤時間帯(午前8時台)に着目する。

これらの条件のもとで、鉄道、自動車それぞれに一般化費用を算出し、都市内において鉄道が有利な地域を求める。一般化費用を求める際の基本的な考え方は、移動料金として実際にかかるコストと消費する移動時間を時間価値を用いてコスト換算した値を加えたものである。この扇型平面都市内の任意の点(x, y)から都心へ向かう際に鉄道及び自動車を利用した場合のそれぞれの一般化費用は次のようになる。

鉄道利用の場合

$$GC_R = C_R \cdot x + C_A \cdot y + \omega \cdot \{x/V_R + y/V_A + T_W + (D/2)/V_A\} \quad (5)$$

ここで、 GC_R : 鉄道利用の際の一般化費用(円)、 C_R : 鉄道の運賃(円/km)、 C_A : アクセス交通手段の運賃(円/km)、 ω : 時間価値(40円/分)¹⁶⁾、 V_R : 鉄道

の速度(km/分)、 V_A : アクセス交通手段の速度(km/分)、 T_W : 列車の待ち時間(分)、 D : 駅間距離(km)、とする。

この中で最終項は、駅の密度に対する重みづけであり、駅の密度が高いほど、 D は小さくなり所要時間が減少する。また、駅位置を連続的に表現したことによって簡潔な数式に展開できるようになった。

自動車利用の場合

$$GC_C = C_C \cdot (x + y) + \frac{\omega \cdot (x + y)}{V_C} + P_{CBD} \quad (6)$$

ここで、 GC_C : 自動車利用の際の一般化費用(円)、 C_C : 自動車の移動費用(円/km)、 V_C : 自動車の速度(km/分)、 P_{CBD} : 都心での駐車料金(円)、とする。 $GC_R = GC_C$ となるところが鉄道と自動車の有利地域の境界であり、 λ を鉄道有利地域の出現する割合、 r_1 を鉄道有利地域の出現しはじめる距離と考えると、

$$Y = \lambda \cdot X + r_1 \quad (7)$$

なる関連性が導かれる。ここで、 X 、 Y はそれぞれ図6における出発地の座標と対応しており、 r_1 はそれぞれ次の意味を持つ。

$$\lambda = \frac{C_R - C_C + \omega \left(\frac{V_C - V_R}{V_C \cdot V_R} \right)}{C_C - C_A + \omega \left(\frac{V_A - V_C}{V_C \cdot V_A} \right)} \quad (8)$$

$$r_1 = \frac{\omega \left(T_W + \frac{D}{2 \cdot V_R} \right) - P_{CBD}}{C_C - C_A + \omega \left(\frac{V_A - V_C}{V_C \cdot V_A} \right)} \quad (9)$$

この式より、鉄道有利地域の境界は都心からの距離の1次式で表現できることがわかる。この鉄道有利地域をあらわす式(7)を式(1)に代入することによって、鉄道のトリップ発生密度関数のパラメータ a' が算出できる。この a' を成立可能領域の図にプロットすることで、供給側と需要側の乖離状況を把握することが可能となる。

5 成立可能領域モデルの適用

5.1 鉄道の成立可能領域

鉄道に関しては、交通政策で検討できる変数として初期投資(建設費や車両費)補助、運営費補助、混雑率の3種を考慮する。計算上で関連する諸数値と諸式を表1にまとめる。鉄道の1時間当たりの最大輸送力は、編成あたり最大の車両数で最大の運行本数で運行した場合となる。混雑率を200%まで許すとすると、式

表 1 鉄道の成立可能領域を検討するための諸条件と関係式

部門	項目	数値, 数式	備考, 出所
運行計画部門	表定速度: v	35 (km/h)	東京圏実測値
	定員: fn	140人	相模鉄道
	1編成車両数: form	最大10両	関東大手民鉄ピーク時最大値
	ピーク時運行本数: pn	30本	同上(相模鉄道)
	オフピーク時運行本数: opn	15本	同上(相模鉄道)
	運行時間: oh	20時間	相模鉄道
事業者収入部門		$\int_0^r [(18 \cdot r) \cdot (2 \cdot a' \cdot r \cdot e^{-br}) \cdot 1.07 \cdot 308/0.28] dr$	18: 乗客1人・km平均運賃 1.07: 雑収入を考慮した係数 308: 休日数を考慮した年換算日数 0.28: 乗客ピーク1時間集中度
事業者支出部門	1回転所用時間: prh	$(r \cdot 2/V_R) \cdot 60 + 8$	r: 路線長 V _R : 鉄道の速度 8: 折り返し時間
	必要車両数: nv	$pn/(60/prh) \cdot 1.2 \cdot form$	1.2: 予備編成率
	ピーク時総運行本数: ptn オフピーク時総運行本数: optn	$ptn=pn \cdot 2$ $optn=open(oh - 1) \cdot 2$	
	年間総運行キロ: yok	$r \{ 250 \cdot (ptn+optn)+115 \cdot 0.8 \cdot (ptn+optn) \}$	250: 年間平日日数 115: 年間休日日数 0.8: 平日に対する休日の運行本数の割合
	運輸経費: oc	$125.83 \cdot yok + 3,000,000,000$	大手民鉄データ(運行キロ)で回帰, 決定係数 0.90
	車両保存費: vmc	$3101.5 \cdot nv$	大手民鉄データ(車両数)で回帰, 決定係数 0.67
	総人員数: tnw	$0.0305 \cdot yok$	大手民鉄データ(運行キロ)で回帰, 決定係数 0.97
	人件費: pe	$6,300,000 \cdot tnw$	大手民鉄給与水準平均
	建設費: cc	$14,500,000,000 \cdot r$	R: 路線長, 建設費原単位は常磐新線データより
	建設費配分額: dcc	$cc \cdot (1 - one) \cdot \frac{0.054 \cdot (1+0.054)^{42.7}}{(1+0.054)^{42.7} - 1}$	資本回収法, 0.054: 長期プライムレート, 42.7: 償却年数
	車両費: vc	$150,000,000 \cdot nc$	車両費1億5千万円(常磐新線)
	車両費配分額: dvc	$vc \cdot (1 - one) \cdot \frac{0.054 \cdot (1+0.054)^{13}}{(1+0.054)^{13} - 1}$	資本回収法, 法定耐用年数13年

(2)と表 1の数値を用いることによって鉄道の最大輸送能力は84,000(人/h)となる。この値と式(3)で想定した交通需要の分布から次式を解くことによって、鉄道の成立可能領域の上限が描けることになる。

$$84,000 = \int_0^r a' \cdot r \cdot \exp[-0.13r] dr \quad (10)$$

次に、鉄道の採算性については、年間収入と支出が等しくなるような需要密度を求めることにより、成立可能領域の下限を求めることになる。具体的に、年間収入については(4)式に対応する数値を代入する。年間支出は表 1の数式に従って求める。この中で運輸経費、車両保存費や総人員数については大手民鉄のデータを用いて回帰分析を行うことを通じて得た関係式である。

これらの要素をもとにして、鉄道の総支出は、次のようにして求まる。

$$TC = dcc + dvc + (1 - \alpha) \cdot (oc + vmc + pe) \quad (11)$$

ここで、 α は運営費に対する補助率で、その他の記号は表 1に示す通りである。総収入 = 総支出として解

くことで、鉄道成立領域の下限が描ける。これらの結果図 7のように鉄道成立領域を導くことができた。

5.2 乗り合いバスの成立可能領域

バスは、民営バス事業者の全国データをもとに検討を行った。鉄道での検討例と用いる諸パラメータ値は異なるが、基本的な考え方は同一である。鉄道の場合と計算上最も異なる点は建設費が不要な点であり、諸パラメータ値は主に民鉄バス事業者の全国データより得た。

計算の結果、バスの最大可能輸送能力は、混雑率を100%、定員80人、ピーク時運行本数を60本とし、式(2)より、4,800(人/h)という値を得た。この値と、想定した需要分布から鉄道と同様に(3)式を解くことによって乗合バスの成立可能領域の上限が描ける。また、採算性についてはバス事業者の収入と支出がバランスするラインを求めるため、式(4)の考え方にに基づき、計算を行った。乗合バスの総支出は、運輸経費、車両修理費、人件費に資本回収法を通じて求めた車両費配分額を加えたもので、それが総収入に等しいという式を解くことによって、乗合バスの成立領域の下限が描ける。なお、現

状では、初期投資補助、運営補助とも0%としている。この計算の結果得られたバスの成立可能領域を図 8 に示す。

5.3 自動車及び自転車の成立可能領域

自動車の成立領域は、交通容量にもとづく上限のみを検討する。ここでは、都心へのトリップをになう代表的な街路として、一般的な幹線街路である4種1級、片側2車線の道路を想定した。この際の基本交通容量は、2,200(台/h・1車線)(乗用車換算)となる。沿道条件としては、市街地を想定しているため、駐停車などの影響を考慮した補正率0.8をかけて、交通容量は、3,520(台/h: $2,200 \times 2 \times 0.8$)となる。この際の標準道路断面は12mであるため、幅員1mあたりの最大断面交通量は、自動車の標準乗車人数を1.3人とすれば、 $3,520 \times 1.3/12$ 381.3人となる。以上の分析から、自動車の成立可能領域は図 9 のように描くことができる。

一方、自転車道の規格は1方向の通行帯の幅が約1mと考えられ、往復で2mの幅が必要であるとされている。この際の基本交通容量は、2,000(台/h/2)車線とされている。一方で、自転車道が一方通行であった場合の交通容量については、二方向の1.3倍とされている。ここでは、最大の容量となる一方通行で、2mの幅員の街路として検討を行う。この際の幅員1mあたりの交通容量

は、 $2,000 \text{台} \times 1.3/2 = 1,300 \text{台}$ となる。この結果、自転車の成立可能領域は図 10 に示す形状になった。

5.4 トランスポーターションギャップの実際

上記のように検討してきた4種類の交通手段の成立可能領域を一枚の図に重ね合わせると、図 11 のようになる。この図より、鉄道の輸送力が他の交通手段と比較して非常に大きいことがまず目につく。一方で、鉄道とバスの成立可能領域の間に大きな空白があり、この4種類の交通手段だけではその部分の交通需要に対応できないことがわかる(トランスポーターションギャップ)。

6 有利地域モデルの適用

6.1 対象都市に対する鉄道有利地域の算出

ここでは平成4年度に実施された全国パーソントリップの都市分類を参考に、都市規模や構造上の特性が異なる東京、札幌、仙台、宇都宮、岡山、盛岡、水戸の7都市を対象として検討を試みる。各都市圏についての鉄道、自動車のサービスレベルに関するデータは表 2 に示す通りである。各都市の半径方向への都市圏の広がり大きさはPT調査の結果や通勤圏の大きさに基づいて設定した。また、CBDを通る鉄道路線数に応じて都市圏をスライスした扇形都市で検討を行うこととした。対

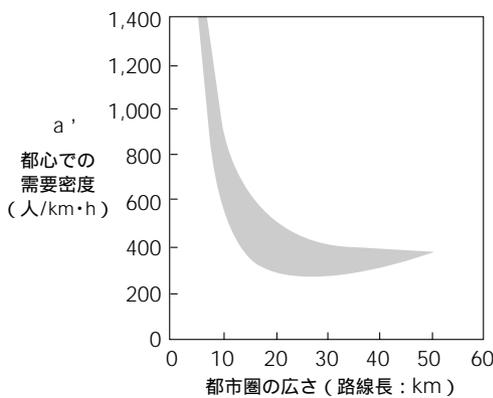


図 7 鉄道の成立可能領域

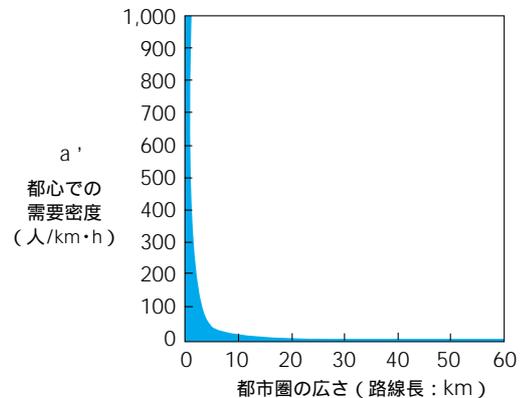


図 9 自動車の成立可能領域

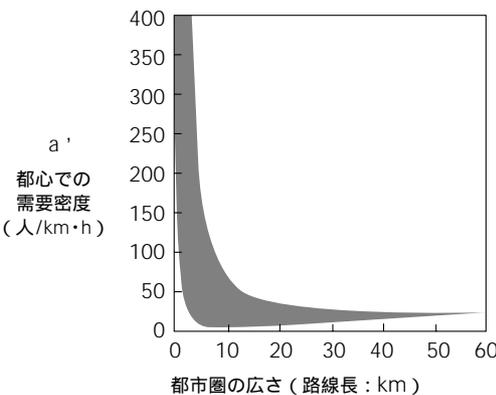


図 8 バスの成立可能領域

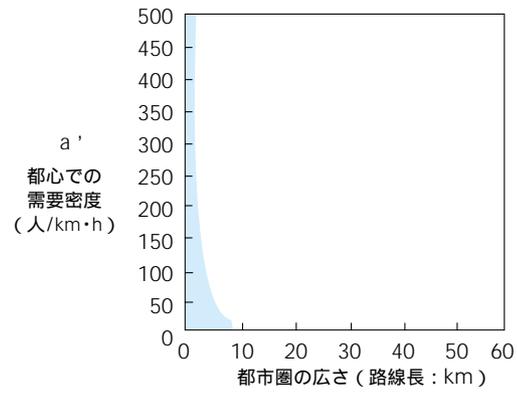


図 10 自転車の成立可能領域

象とした各都市について得られたサービスレベルを表3に示す。

ここでは主に有利地域の中でも特に鉄道有利地域に着目する。鉄道に対するアクセス手段には徒歩、自転車、バス、自動車があるが、図12,13にはアクセス手段としてバスを利用した場合の鉄道有利地域の出現状況を札幌と岡山について示した。

また、表4に鉄道有利地域の人口がその都市の全人口に占める割合と、実際のその都市における鉄道分担率の比較を行った。これらの結果から、東京の鉄道

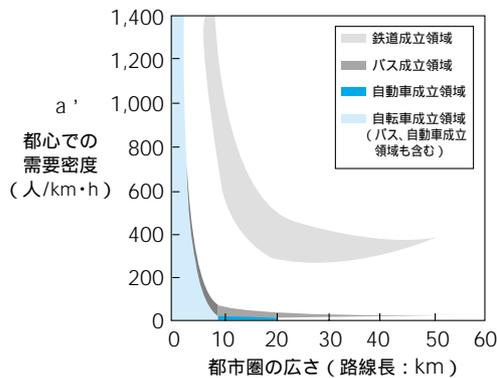


図 11 各交通手段の成立可能領域の重ね合わせとトランスポーションギャップ

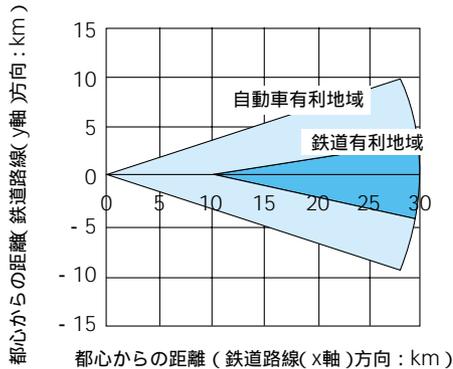


図 12 札幌都市圏における鉄道有利地域と自動車有利地域の出現状況 (アクセス手段: バス)

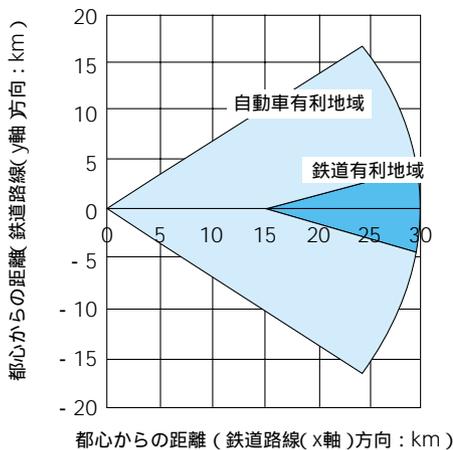


図 13 岡山都市圏における鉄道有利地域と自動車有利地域の出現状況 (アクセス手段: バス)

有利地域の割合は特に高くなっていることがわかる。札幌や仙台が都市圏規模の割に鉄道有利領域が少ないのは、都市圏の端まで地下鉄整備がされていないことが一因と考えられる。また、アクセス手段間の分析では、自動車を鉄道ターミナルへのアクセス手段として利用すると鉄道有利地域の割合が高まることが示された。

6.2 有利地域に着目した発生需要量の検討

鉄道有利地域と自動車有利地域の各々から発生する通勤・通学需要を以下の手順に従って求めた。まず、都心からの距離帯別の通勤・通学総人口分布が式(1)の分布形 ($b=0.13$) で与えられると考える。さらに、鉄道有利地域の面積別評価の際に検討された式と、総人口の関係から、鉄道通勤・通学人口 Y を次の式で推定する。(ここで、 r_1 及び r_2 については、4章に記載した通りである。)

表 2 有利地域モデル適用のための諸条件

分野	変数	内容
都市圏の設定	都市圏の大きさ	通勤圏, PT調査を考慮して設定
	鉄道路線数	CBDを通る鉄道路線数 東京の場合は山手線をCBDとみる 分岐線等は個別に検討
各交通機関のサービスレベル	駅間距離	都市圏内の駅数を全路線延長で割る
	鉄道速度	各路線ごとの値を路線ごとの運行本数で重みづけ
	鉄道運行本数	各路線の朝8時台に中心駅に到着する列車本数
	鉄道待ち時間	ピーク時1時間当たりの平均運行間隔の1/2 運行間隔が大きい際は最大値10分
	自動車速度	各県庁所在地のピーク時旅行速度 (H6道路交通センサス)
	アクセス交通手段速度	徒歩 4(km/h), 自転車 10(km/h) バスは大都市での公表データ等利用
	鉄道運賃	10(円/km)
	自動車移動費用	ガソリン代 100(円/l), 燃費 10(km/l) で 10(円/km)
	バス運賃	全国平均値 3(円/km) (日本のバス事業)

表 3 各都市圏において得られたサービスレベル

都市圏		東京	札幌	仙台	宇都宮	岡山	盛岡	水戸
都市圏域 (km)		50	30	30	30	30	30	30
鉄道	路線数	24	10	6	4	5	4	4
	駅間距離 (km)	2.6	1.6	2	5.6	3.6	4.7	4.1
	鉄道時速 (km/h)	36.3	35.1	36.7	58.8	43.7	44.3	47.4
	待ち時間 (min)	1.4	2.8	2.6	7.5	7.5	10.0	6.7
自動車	自動車時速 (km/h)	15.8	25.8	25.5	26.3	26.3	26.9	26.2
	徒歩時速 (km/h)	4	4	4	4	4	4	4
アクセス	二輪時速 (km/h)	10	10	10	10	10	10	10
	バス時速 (km/h)	11.3	14	13.9	14	13.7	14.1	14
	自動車時速 (km/h)	15.8	25.8	25.5	26.3	26.3	26.9	26.2

表 4 鉄道有利地域の人口(アクセス手段: バス) がその都市全人口に占める割合と実際の鉄道分担率

項目	都市	東京	札幌	仙台	宇都宮	岡山	盛岡	水戸
鉄道有利地域に含まれる人口比		0.97	0.09	0.13	0.26	0.11	0.03	0.17
パーソントリップ調査での鉄道分担率		0.86	0.34	0.22	0.18	0.14	0.04	0.08

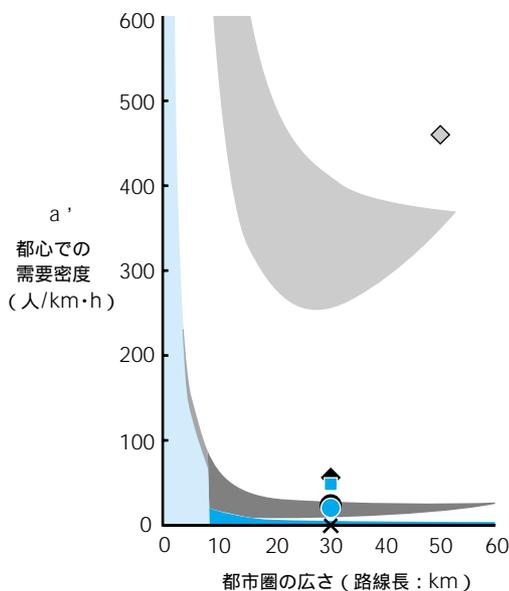


図 14 各交通手段の成立可能領域と各都市圏の鉄道有利地域より発生する鉄道需要の関係

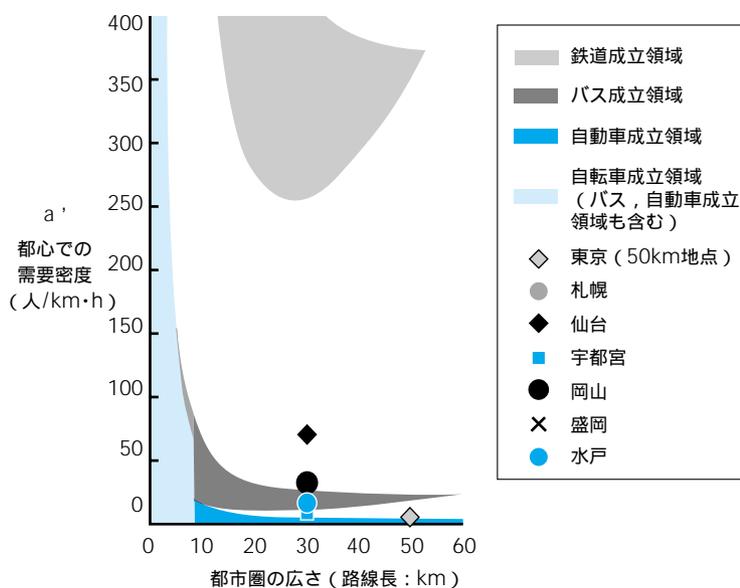


図 15 各交通手段の成立可能領域と各都市圏の自動車有利地域より発生する自動車需要の関係

$$Y = a \cdot \lambda(r - r_1)e^{-br} \quad (12)$$

また、通勤・通学総人口から鉄道通勤・通学人口をひくことで自動車通勤・通学総人口を得ることができる。

6.3 成立可能領域と有利地域モデルから得られた需要密度の関係

以上のようにして、各都市圏ごとの鉄道有利地域と自動車有利地域より求めたそれぞれの需要密度が、5章で求めた各交通手段の成立可能領域に含まれる水準であるかどうかを図上にプロットして検討する。この結果、図 14と図 15が得られ、次のような考察が導かれる。

- 1) 東京都市圏では、輸送力を超過する鉄道需要が発生している。感度分析の結果、これらの鉄道需要にすべて応えるには混雑度を約260%にまで上昇させなければ不可能であることが明らかになった。
- 2) 一方、他の都市圏では鉄道に対する需要が、採算性を満たすラインにまでいたっていない。
- 3) また、自動車需要についてみると、東京都市圏以外はいずれの都市圏でも、需要が道路の容量制約を超過している。
- 4) このことは、鉄道の有利地域を拡大するか、自動車の有利地域を縮小させることで、鉄道と自動車に対する交通需要がそれぞれの成立可能領域に含まれるようになる(分担関係の適正化)可能性があることを意味している。

表 5 検討する政策メニューの一覧

交通機関	鉄道			自動車	
	初期投資補助	運営費補助	速度20%up	相乗り4人	料金政策
現況	36%	0%	0%	1人	0円
設定値	100%	100%	20%	4人	800円

7 各種交通政策の実現可能性の検討

7.1 鉄道に関連する政策に関する考察

以上の成立可能領域と有利地域に基づく交通需要の分析結果に基づき、ここでは様々な交通政策が現実的どの程度の実現可能性を有しているかを都市の特性を踏まえた上で明らかにする。ここで検討した交通政策のメニューの一覧を表 5に示す。

初期投資補助の36%は現在の地下鉄補助の水準を指すが、札幌や仙台などでもこの条件下で採算条件を満たすだけの需要密度は存在しない。図 16のように、初期投資補助を100%のレベルまで上げて初めて鉄道とバスの間のトランスポーションギャップはかなり小さくなり、札幌や仙台クラスの都市における需要密度もカバーできるようになる。

一方、欧米の諸都市では料金収入だけでは不足する運営費に対し、運営費補助が実施されており、図 17にはこのような運営費補助100%化(赤字分補填)に伴って鉄道成立領域が拡大した様子を示した。この結果より、初期投資補助100%化に比較して鉄道成立領域の拡大は限定的で、運営費補助のみでは札幌、仙台クラス都市の需要密度では採算に合わないことがわかる。この結果から、既に地下鉄の備わっているような東京以外の人口100万人クラスの都市であっても、鉄道整備のた

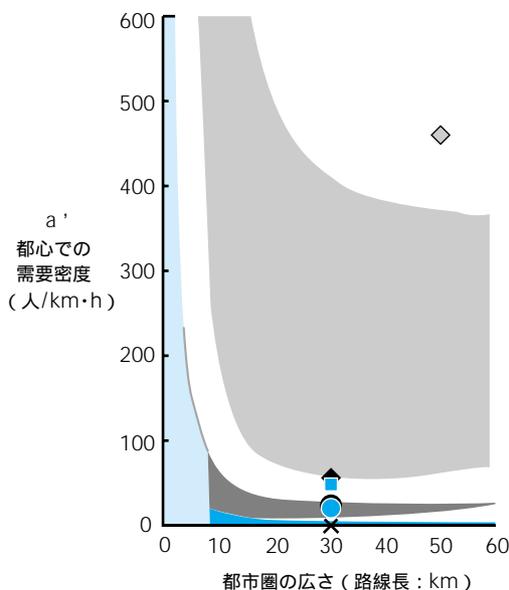


図 16 初期投資補助100%に伴う鉄道成立領域の拡大と鉄道需要の関係

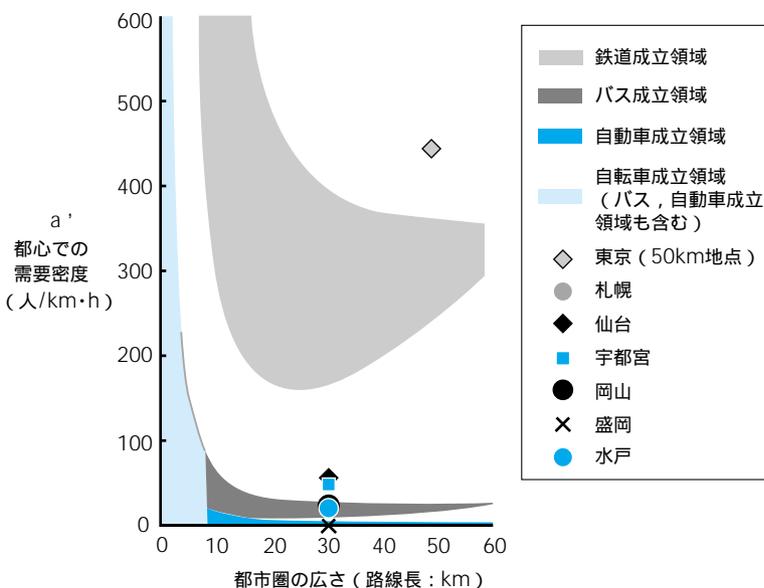


図 17 運営費補助100%化に伴う鉄道成立領域の拡大と鉄道需要の関係

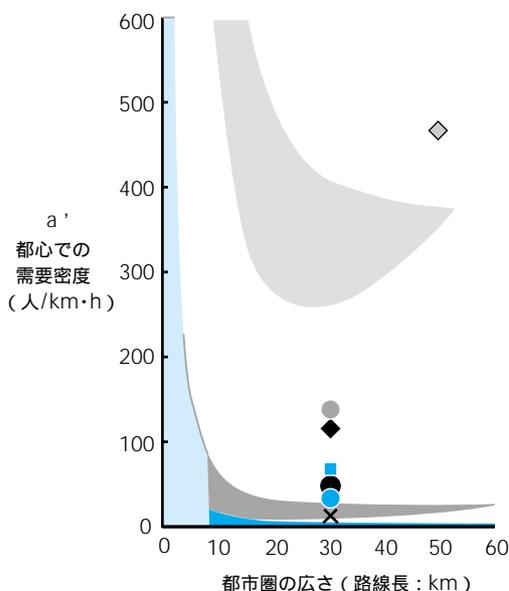


図 18 鉄道運行速度20%アップに伴う鉄道有利地域より発生する鉄道需要の変化

めの初期投資や運営費補助は政策として不可欠であったことがわかる。

今度は鉄道運行速度を一律に20%アップする政策を考える。鉄道運行速度の上昇に伴い、都市の中で鉄道有利領域がカバーする面積の割合が増加する。このため、図 18に示すように鉄道有利領域から算定された各都市の需要密度が上昇することになる。図から明らかのように、各都市の需要密度が上昇しても鉄道の成立領域に含まれるまでは上昇していない。この結果から、鉄道のスピードアップによってより多くの鉄道旅客をカバーしようとする政策は、実際は限界があるといえる。

7.2 自動車に関連する政策に関する考察

交通需要マネジメント政策の一手法として、自動車の

相乗り政策があげられる。この政策は実質的には自動車によってさばくことのできる交通容量を引き上げる効果を持ち、自動車の成立領域を拡大させる。図 19より、相乗り政策を実施することによって、今まで自動車の成立領域に含まれていなかった水戸や宇都宮などの比較的 need 密度の低い都市が新たに取り込まれていることがわかる。この結果から、相乗り政策は need 密度の高い大都市部で適用を行っても抜本的な解決にはならないが、比較的 need 密度の低い中小都市においては一定の効果が期待できる。

次に、料金政策として、自動車の利用に要する一般化費用を1回につき一律800円引き上げる方を想定する。具体的には、ロードプライシングまたはコードンプライシングとして自動車利用料金に均一800円課金するか、都心の駐車場などで800円の利用料金を徴収する政策に相当する。これら料金政策は自動車交通に関して一定の課金を行うため、その一般化費用が上昇し、その結果相対的に鉄道の有利領域が拡大することになる。図 20に自動車トリップに対して800円の課金を行った場合の鉄道有利領域の状況を示す。この結果から、札幌や仙台クラスの都市圏では自動車からの転換により鉄道需要がその成立範囲に到達し得ることがわかる。これより need 密度の低い都市においては、料金政策だけを実施しても鉄道採算ラインにまで需要が届かないことがわかる。

しかし、図 16及び図 17の鉄道への補助によって鉄道の成立可能領域が下方に拡大することを考え合わせると、この料金政策から得られた収入を公共交通への補助に利用することを通じ、岡山、宇都宮クラスの都市圏の鉄道需要も鉄道の成立可能領域の範囲に取り込む

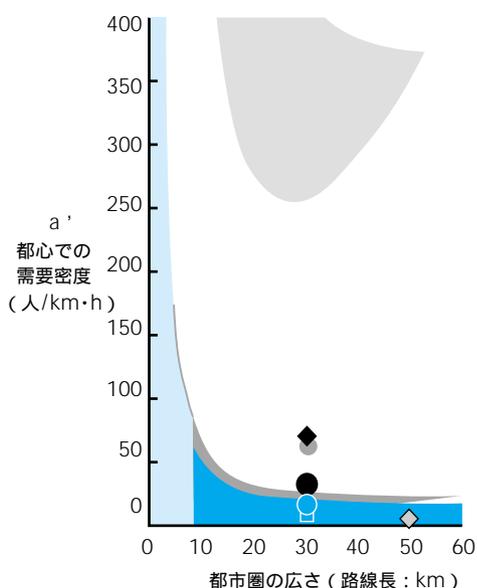


図 19 相乗り(4人)実施に伴う自動車の成立領域の変化と自動車需要の関係

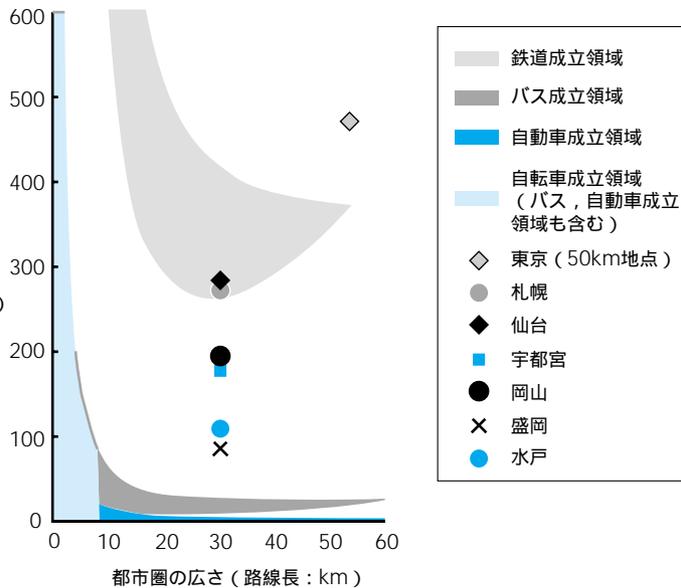


図 20 料金政策の実施に伴う鉄道有利地域より発生する鉄道需要の変化

ことが可能となってくる。これはオスロなどの北欧におけるロードプライシングにおいても部分的に実施されているものであり、比較的鉄道有利領域の小さい中規模クラスの都市においても交通の適正化を進める有効な方法であることが証明された。

8 おわりに

本研究で得られた成果は次の通りである。

- 1)各交通手段の成立可能領域を交通サービスの供給側の視点から設定する方法を改善し、実際に各交通手段の成立可能領域を「需要密度」と「都市の広さ」を示す空間上で特定を行った。この結果、鉄道とバスの成立可能領域の間に、広いトランスポーターギャップが存在することが明らかになった。
- 2)交通サービスの利用者側の視点から、鉄道と自動車の有利地域を一般化費用の概念を用いて実際の都市上で判別した。東京以外の都市では鉄道有利地域が占める割合は低いことが示された。
- 3)有利地域モデルから得られた鉄道と自動車に対する需要密度を成立可能領域のグラフ上にプロットしたところ、東京都市圏では輸送力を超過する鉄道需要が発生しており、この逆に他の都市圏では鉄道需要が採算ラインにまで至っていないことが明らかになった。また、自動車需要は東京都市圏以外のすべての都市で自動車の成立可能領域を越えていることが明らかになった。これらの結果から、一層の交通施設整備がまず必要であることが明らかになった。
- 4)鉄道政策に関する検討より、初期投資補助や運営費補助だけでは交通の適正化をはかるのに十分ではな

いことが示された。また、鉄道のスピードアップによる有利地域の拡大方針についても限界があることが示された。

- 5)自動車交通に関する政策の検討では、中小クラスの都市では自動車の相乗り政策も有効であることが示された。また1回の自動車利用につき800円程度の負担を行う料金政策の実施により、鉄道有利地域が拡大することが明らかになった。これらの料金政策による収入を公共交通に対する補助に利用できればそれらの成立可能領域も拡大し、交通の適正化がそれぞれの規模の都市で可能になることが提示された。

また、今後の課題としては、1)LRTや新交通システムなどの交通手段についても検討を広げる。2)政策シミュレーションのケース設定をより多様化し、利用するパラメータ値などの改善を通じて、一層の分析精度向上を目指す必要がある。3)複数の交通手段から構成されるトリップや、単一中心型以外の都市構造を前提とした検討を行うといったことが考えられる。

謝辞：本研究の実施においては東京工業大学黒川洸教授より有益なコメントをいただいた。また計算作業においては石戸良幸氏(建設省)、酒井浩一氏(首都高速道路公団)、孫莉氏(生物資源研究所)、青木英輔(大日本コンサルタント)のご協力を得た。ここに記して謝意を表したい。

参考文献

- 1)効果的なTDMの定着を目指して [1998], 土木学会ワンデイセミナー。
- 2)天野光三編 [1985], 「都市交通のはなしI」, 技報堂。
- 3)新谷洋二 [1993], 「都市交通計画」, 技報堂。
- 4)Vuchic, R.V.[1992]. "Urban Passenger Transportation Modes". In G.E. Gray and L.A. Hae(eds.), *Public Transportation*, Second Edition, Prentice Hall.

- 5)Bouladon, G.[1967],“ The Transport Gaps ”, *Science Journal*, April 1967, Associated Iliffe Press Ltd.
- 6)谷口守・石田東生・黒川洸 [1995],“ トランスポーターテーションギャップの存在領域に関する基礎的研究 ”,「土木計画学研究・講演集」, No.18(2), 1995.
- 7)M.Taniguchi and H.Ishida[1998],“ Designation of Transportation Gaps and Effects of Policy Changes on them ”, the paper presented at 8th World Conference on Transport Research, Antwerp.
- 8)下田公一・浅野光行・中野敦 [1991],“ 都市交通からみた都市特性の比較, - 全国PT調査結果の分析を通して - ”,「都市計画論文集」, No.26 .
- 9)谷口守・石田東生・小川博之・黒川洸 [1995],“ 通勤・通学交通手段分担率の変化と都市特性の関連に関する基礎的研究 ”,「土木計画学研究・論文集」, No.12 .
- 10)杉恵頼寧・松本隆 [1987],“ 交通機関の選択とサービスレベルの評価の関連分析 ”,「都市計画論文集」, No.22 .
- 11)松原裕太郎・秋元伸裕・原田昇・太田勝敏 [1993],“ 中核都市における旅客交通の現状と対策, - 自家用車か? 公共交通か? 利用の実態と対策の実状を探る - ”,「土木計画学研究・講演集」, No.16 .
- 12)酒井浩一・石田東生 [1997],“ 鉄道が有利となる領域についての考察～旅行時間からの検討～ ”,「交通工学研究発表会論文報告集」.
- 13)東京都市圏交通計画協議会 [1989],「東京都市圏総合都市交通体系調査報告書」.
- 14)大友篤 [1997],「地域分析入門」, 東洋経済社 .
- 15)谷村秀彦・腰塚武志他 [1985],「都市計画数理」, 朝倉書店 .
- 16)労働省 [1996],「平成8年毎月勤労統計調査年報」.
- 17)石田東生・鈴木勉・古屋秀樹・青木英輔 [1998],“ 交通機関の競争を考慮した公共交通の成立性に関する基礎的研究 ”,「土木計画学研究・講演集」, No.21 .

(原稿受付 1998年11月4日)

Transportation Policy Evaluation based on the Relations between Domains and Dominated Territories of Each Transport Mode

By Haruo ISHIDA, Mamoru TANIGUCHI, Tsutomu SUZUKI and Hideki FURUYA

This study aims to evaluate transportation policies such as subsidy to the Public Transport and TDM based on following three steps. Firstly, this study clarifies the domains of different urban transportation modes from supply side point of view, capacity and profitability. Secondly, from trip demand side, this study clarifies the dominated territories of different urban transportation modes. The criteria for this designation are generalized cost for commuting. Thirdly, the effects of various urban transportation policies on each domains and the dominated territory are compared to find applicable and effective policy sets.

Key Words : **transportation policies, domains of transportation modes, dominated territories of transportation modes, transportation gap**
