

交通機関の競合を考慮した公共交通の成立性に関する基礎的研究*

Financial Analysis of Public Transportation Considering Competition among Modes*

石田東生**, 鈴木 勉***, 古屋秀樹****, 青木英輔*****

By Haruo ISHIDA**, Tsutomu SUZUKI***, Hideki FURUYA**** and Eisuke AOKI*****

1. はじめに

現在、道路混雑問題が一層深刻化し、TDMや鉄道をはじめとする公共交通機関の有効利用が検討されている。このような都市における交通システム整備を考える場合、需要的側面(交通行動者の視点)と供給的側面(交通事業者からの視点)の両面から検討を行う必要がある。

本研究では、需要と供給の両者を比較的簡便に考慮できる2つのモデルを用いて、採算性も考慮可能な交通機関の成立性を検討できるシステムを提案する。これらにより、プライシングや駐車料金政策の実施、列車運行速度・運転頻度などの変化や都市特性が交通需要に与える影響とともに、各交通機関の成立領域との関連性を明らかにすることを目的とする。

2. 本研究の分析フレーム

本研究では、公共交通機関の成立性を推定するために2つのモデルを用いるが、それらの関連性を示したのが図-1である。

まず、交通機関の採算性を検討するのがTG(Transportation Gap)モデルである。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)採算を維持できる最低輸送量(採算維持ライン)によって説明するものである。

それに対して、各交通機関のサービス水準や具体の交通施策が与えられた場合、都心までのトリップを行う際に鉄道が自動車に対して一般化費用が小さ

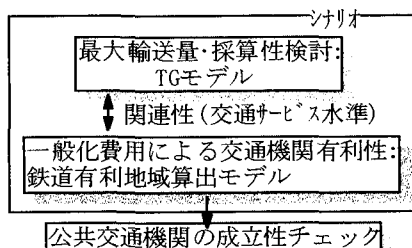


図-1 公共交通の成立性に関する分析フロー

くなる領域を求めるのが、鉄道有利地域算出モデルである。このモデルにより、鉄道が有利となる地域の面積やその地域における居住者の鉄道分担率が算出されるが、これをTGモデルアウトプットと比較することにより、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。このようなモデルの構築において留意した点は、以下の3つである。

- (1)補助金の水準などによる交通機関の採算性評価が可能なモデルであること
- (2)交通整備などが及ぼす影響を簡便に算出できること
- (3)需要と供給の相互作用を考慮した交通機関の成立性評価システムであること

(1)についてみると、主として採算性を評価する経営収支分析は通常具体的に地域が設定され、人口分布、地域特性および交通施設の詳細に基づいてOD表や需要特性、運行計画が推計・設定され、詳細な収支計算が行われている。

本研究では、特定の事業に着目するものではなく、地域特性の把握や資本に関する検討も困難なため、事業者の支出計算に工夫が必要となる。そこで、標準的な建設費ならびに車両費、運営費を仮定して、単年度収支が等しくなるような条件下における需要密度の算出を行った。そして、各交通機関それぞれの輸送能力や採算維持ラインを明示するため、谷口ら¹⁾、石戸・石田²⁾の提案するTGモデルの概念を用

* キーワード: 公共交通計画, 公共交通需要, 交通計画評価
** 正会員, 工博, 筑波大学社会学系教授
*** 正会員, 博(工), 筑波大学社会学系講師
**** 正会員, 博(工), 筑波大学社会学系講師
(〒305-8573 つくば市天王台1-1-1 Tel. & Fax. 0298-53-5007)
***** 正会員, 修(学術), 大日本コンサルタント

いて各交通機関の成立性に関して分析を行うものとする。

次に、(2)についてみると、多くの適用例が見られる4段階推計法では、データ数の多さや構造の複雑さなどにより、複数代替案が存在した場合、各々のケースについて鉄道が有利な領域や人口比率の算出は困難である³⁾。そこで、鉄道と自動車の2種の代表交通手段を前提に扇型都市平面において一般化費用によって鉄道の有利地域の面積比率や人口比率を考える「鉄道有利地域算出モデル」⁴⁾を改良して用いるものとする。

最後に(3)であるが、(1)、(2)で述べた改良の結果、需要と供給を統合して交通システムの成立性検討を可能としている。これにより、需要と供給を同時に考えられるため自由度が高い状態で地域の交通システムを考えたり、地域間比較が可能となる。

3. TGモデルについて

3.1 交通需要条件等の設定

TGモデルによる交通機関の成立性検討にあたり、以下の仮定を設ける。

- ①想定する交通手段は、都心から都市の端まで整備される。また、輸送能力を正しく比較するため幅員を1mに統一して考える。
- ②最大輸送可能ラインを考える場合のトリップ発生密度関数の算出は、すべてのトリップが居住地から都心まで想定する交通手段により移動するものと仮定して行う。
- ③採算性の検討は、全日の需要量から算出される運賃収入と初期投資費用と運転費用の和を用いてなされる。この時、全日の運賃収入はピーク1時間の都心向き需要密度の関数として表現できるとする。
- ④鉄道は駅を特定せず、どこからでも乗降可能とする。

3.2 都市形態、トリップ密度の設定

本研究では、都市特性と交通機関の成立性との関連性を明らかにするために、都市圏を「都市圏の広がり」と「都市の需要密度」という2つの指標で特徴づける。具体的には、都市から公共交通の周辺部をコリドーとして切り取り(後述する有利地域モデル

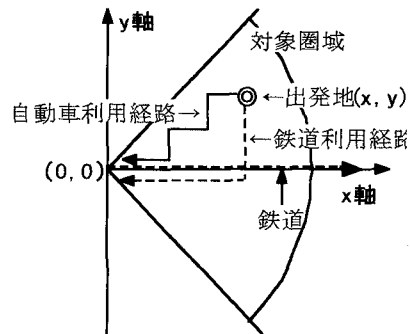


図-2 都市圏の設定および都心アクセス距離算出方法(4路線乗り入れ時(鉄道有利地域モデル))

の扇型領域に相当(図-2))、都市圏の広がりには交通手段の「路線長」として表現することができる。

また、都市の需要密度は「都心中心部へのトリップ発生密度」に影響を与え、これは需要密度に比例すると仮定する。一般的に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^{5),6)}。本研究では、扇型都市圏を考えているので、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。そこで、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)のようにならわされるものとする。

$$Dx = a \cdot x \cdot \exp(-b \cdot x) \cdots \text{式(1)}$$

ここで、 Dx : 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 : 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低減度、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($b=0.13$ とすると)、各都市圏の需要密度は a の関数で表現できる。

3.3 成立可能領域の考え方

各交通手段について算出される成立可能な領域は、以下に述べるように(A)最大輸送可能ライン、(B)採算維持ライン、(C)限界の利用可能距離、の3点から考察する(図-3)。

(A) 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} は、式(2)となる。

$$S_{max} = fn \cdot con \cdot form \cdot pn \cdots \text{式(2)}$$

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(A)である。具体的には式(3)となる。

$$S_{max} = \int_0^r a' \cdot x \cdot \exp(-0.13 \cdot x) dx \cdots \text{式(3)}$$

これより、都市圏の大きさ: r 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ので、厳密には $a \neq a'$ となる)。

(B) 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。この採算性は、個々の交通機関毎に収入と支出が等しい場合となる。

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、

$$In = \int_0^r (2 \cdot a' \cdot x \cdot \exp(-0.13 \cdot x)) \cdot CT \cdot x \cdot COV dx \cdots \text{式(4)}$$

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るための換算係数、である。

一方支出: Co は、図-4に示されるフローによって算出され、式(5)式のように書き表せる。

$$Co = (\text{単年度} \text{建設費} + (\text{単年度} \text{車両費} + \text{運営費}) \cdot \text{式(5)})$$

この中で、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、費用回収係数を用いてその換算を行っている。

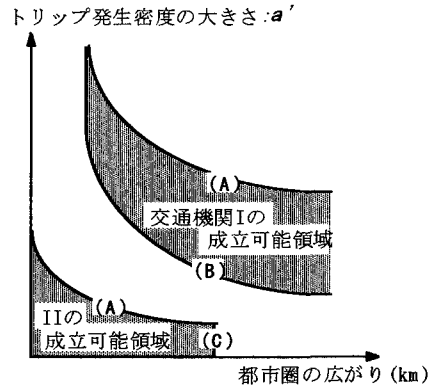


図-3 交通機関の成立領域について

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した。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。

(C) 限界利用距離

徒歩、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。ある交通機関の成立性を検証するためには、都市圏の大きさとその交通機関の需要密度に関するパラメータ: a' によってプロットされる点が成立可能性領域に含まれるか、否かで確認することができる。成立性の検討で重要となる a' の算出

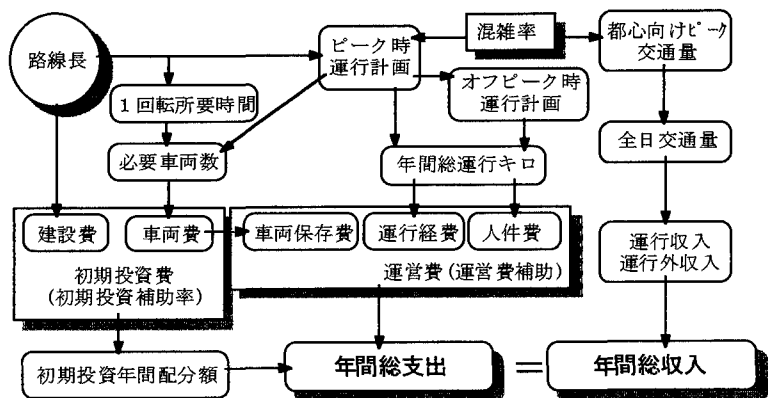


図-4 経営収支の考え方

方法について、次章で述べる。

4. 有利地域算出モデルについて

本モデルでは、都市における鉄道有利地域を把握するために、都市圏を次のように設定する(図-2)。

①都市圏は、円形領域を設定し単一中心とする。

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⁷⁾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、鉄道が有利な領域を求める。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およ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。

(1) 鉄道利用の場合

$$GC_R = C_R \times x + C_A \times y + \omega \times \{x/V_R + y/V_A + T_w + (D/2)/V_A\} \quad \dots \text{式(6)}$$

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)⁸⁾、 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、「 $(D/2)/V_A$ 」というのは、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。

(2) 自動車利用の場合

$$GC_C = C_C \times (x+y) + \omega \times (x+y)/V_C + P_{CBD} \quad \dots \text{式(7)}$$

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。

これを用いると、「鉄道」が有利となる領域を算出すると、「 $GC_R > GC_C$ 」であるから、

$$Y = \lambda \cdot X + \gamma_i \quad \dots \text{式(8)}$$

なる関連性が導かれる。ここで、

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

$$\gamma_i = \left\{ \omega (T_w + D/(2 \cdot V_R)) - P_{CBD} \right\} / \left\{ C_C - C_A + \omega \left(\frac{V_A - V_C}{V_C \cdot V_A} \right) \right\}$$

つまり、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(a' とした)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' を図-3中にプロットすることにより、現状の鉄道成立領域と鉄道需要密度との乖離状況を把握することが可能となる。

5. まとめ

本論文は、公共交通の成立性を分析するのに必要なTGモデルならびに有利地域算出モデルについて説明を行った。両者を用いた公共交通機関の成立性と現状のトリップ需要密度との関連、施策実施による影響が交通機関の成立性や交通需要に与える影響など、具体的な分析事例については発表時に譲る。

参考文献

- 1) 谷口守、石田東生、黒川洗: トランスポーションギ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)、
- 2) 石戸良幸、石田東生: 公共交通政策がトランスポーションギギャップの存在領域に与える影響に関する考察、平成8年鉄道連合シンポジウム、pp. 137-140、1996
- 3) 東京都市圏交通計画協議会: 東京都市圏総合都市交通体系調査報告書、1989
- 4) 酒井浩一、石田東生: 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、
- 5) 大友篤: 地域分析入門、東洋経済社、1997
- 6) 秋元伸裕、原田昇、太田勝敏: 通勤密度関数を用いた交通施策のマクロ評価に関する基礎的研究、第28回日本都市計画学会学術研究論文集、pp. 301-306、1993
- 7) 谷村、腰塚ほか: 都市計画数理、朝倉書店、1985
- 8) 労働省: 平成8年毎月勤労統計調査年報、1996