

都市圏におけるバス輸送市場のマクロモデル化と その経営戦略および交通政策評価への応用

家田 仁*
渡辺良一** クリスピン・ディアズ***

わが国の地域公共交通は、サービス水準向上を期待されつつも、厳しい経営環境の中にあり、今後の経営戦略や公共交通政策を的確に判断するために使いやすい経営・政策ツールが必要となっている。そこで、本研究では、種々の都市圏バス事業者の経営状況調査を行い、人口密度やサービス水準の程度に応じて、バス事業者の利潤と、利用者便益を含めた社会的な余剰がどのように変化するか出力することのできるマクロ・アセスメント・モデルを開発した。さらに、いくつかの営業所を事例にとり必要となる公共交通事業政策の方向性を分析・提示した。

Macroscopic Modeling of Regional Bus Transport Market and Its Application to the Assessment of Management Strategies and Transport Policies

Hitoshi IEDA*
Ryoichi WATANABE** Crispin DIAZ***

Faced with a harsh economic climate in the face of expectations that it improve its level of service, regional public transport in Japan needs management and policy tools which are easier to use when accurately evaluating future management strategies and public transport policies. In this research project, a survey was conducted to ascertain the business conditions faced by metropolitan area bus operators. A macro assessment models was then developed which could show how social margins, including bus operator profits and user benefits, would change in accordance with the levels of the two fundamental services, routing density and service frequency under population density, traffic and other given conditions. Using several operations as case studies, it analyzes and suggests necessary policies for public transport services.

* 東京大学大学院社会基盤工学専攻教授
Professor, Dept. of Civil Engineering,
University of Tokyo.

** 建設省中国地方建設局
Ministry of Construction

*** 東京大学大学院社会基盤工学専攻
Postgraduate, Dept. of Civil Engineering,
University of Tokyo
原稿受理 1997年5月6日

●この論文は財団法人国際交通安全学会研究調査プロジェクトH
834「成熟社会における地域公共交通の将来を探る」の一環として研究されたものである。

1. はじめに

バスや鉄軌道などといった都市圏の地域公共交通は、社会環境の変化と人々の価値観の変化の中で現在一つの転換期にあるといえる。具体的にいうと、モータリゼーションの進捗による公共交通利用客の減少、高齢化に伴う地域公共交通サービス充実への期待の高まり、少子化・人口減少の動向に基づく政府財政環境の見通しの暗さ、といった社会環境変化の影響や、環境意識の向上に伴い、社会的外部不経済の大きなマイカー依存型の地域交通から公共交通への需要の一部転換を期待する声が増えたこと、人へのやさしさが志向されるにつれ、地域公共交通の施設・設備面で、移動制約者を含めた利用者サービスの質的向上が要請されるようになったこと、社会全般で一層の市場競争活力が重視されるようになり公共交通の経営活力も改善が期待されていることなど、価値観や社会状況の変化の影響が挙げられる。

このような中で、地域公共交通は、今まさに「サービス向上への社会的期待」と「経営環境・公的支援環境の困難」に挟まれた、いわばジレンマに置かれている。こうした状況を建設的に打開していくためには、ナイーブな「公的助成拡大論」や同じく単純な「市場競争絶対論」を超え、地域公共交通市場の分析に基づく合理的で状況に適合した公共交通政策の充実が求められているといえよう。

このような認識に基づき、本研究では、現在の都市圏地域の公共交通の中心的存在であるバス輸送に着目して、東京都市圏、関東の地方都市圏、仙台都市圏のバス事業者を対象とする独自の調査を実施し、「地域バス輸送市場マクロモデル」を構築・推定した。これは、地域公共交通の市場環境を理解し、交通政策効果の評価を容易にするための基礎ツールとして用いることを念頭に置いている。さらにその実際の地域への適用を試みることで、適用地域における今後の地域公共交通政策のあるべき方向性を検討した。本稿は、2章：研究およびモデルのフレーム、3章：モデルの構築と推定、4章：モデルの適用、の三部から構成される。また、読者の便宜を図るためモデル等についての詳細は、末尾の補遺にとりまとめた。

なお、ご関心の向きは、本稿の他に、本誌の太田勝敏氏、秋山哲男氏の論文、および同プロジェクト研究報告書をご参照いただきたい。

2. 研究のフレームと地域バス輸送市場マクロモデルの概要

地域公共交通の改善方策としてはきわめて多様なものが考えられるが、本研究では、特に都市バスのサービス水準のあり方と、都市バスの経営に関する公共交通政策の方向性に着目する。本研究の主な関心は以下の三点である。

(1)地域公共交通のサービス水準や、人口密度や道路走行速度等の地域特性に応じて、地域公共交通の供給費用や利用者需要はどのように変化するのか？

(2)公共交通事業者の経営改善（利潤）あるいは社会的厚生を増大というスタンスに立った場合、地域の状況に応じて、それぞれどのような方向にサービス水準を改善すべきなのか？

(3)この二つの異なるスタンスに立ったサービス変更施策はどのような場合に一致するのか？ 一致するのであれば、事業者の自由な経営行動を促進する政策をとればよい。そうでない場合、社会的厚生を増大を図るには、どのような公共交通政策が必要なのか？

このような問題を検討するため、本研究では、Fig.1に概要を示す「地域バス輸送市場マクロモデル」を構築し、研究フレームとして用いる。この「地域バス輸送市場マクロモデル」は、基本的なバスのサービス変数であるバス路線への空間的アクセス性を規定する「路線密度」、および時間的アクセス性を規定する「運行頻度」、および運賃水準や運行速度、その他の地域特性などを入力として、需要量および供給費用を出力する需要サブモデルと供給費用サブモデル

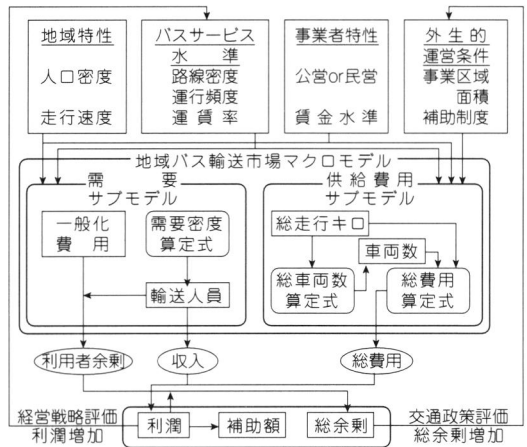


Fig.1 地域バス輸送市場マクロモデル

ルを核心部としている。また、これらの出力変数から事業者の利潤と、利用者余剰と事業者余剰を加えた総余剰が算出され、これにより事業者の経営戦略や社会的厚生立場に立った行政の交通政策の評価が可能となる。本稿のプロトタイプが文献1)および2)に発表されているが、本稿では特に、交通モード間の競争や補完の関係をマクロな表現によって取り込むことにより需要サブモデルが大幅に改善されたことなど、種々の点で改良されている。

本モデルの特長としては、以下が挙げられる。

①バス事業者の営業所を分析の単位とすることにより、運輸および地域統計や営業報告等といった比較的入手容易なマクロな集計データを用いることが可能である。②その結果、従来の需要予測および政策評価の場合に、(仮に行われる場合でも)個別の地域について個々に非集計的な調査を実施して推定されるミクロなモデルに比べると、モデルの操作性が大幅に向上している。このため、地域間や事業者間の比較、あるいはサービス変数変更の影響のシミュレーションなどをきわめて簡便に行うことができる。したがって、個々の輸送市場の現況の大局把握や必要な政策の方向性検討を迅速にかつフレキシブルに行うことが可能となる。

なお、いうまでもなくサービスの要素としては、上記の他にも、運行の信頼性、安全性、車内の快適性、乗降の容易さ、車両のデザインなど、多くのものが挙げられる。しかし近年のバスロケーションシステムや低床式バス導入などの動きの中で、ともすると、より本源的な交通サービス特性の重要性が軽視されがちな現況を踏まえて、あえて、運行頻度、路線網の密度、運行速度および運賃を取り上げた。さらに個々の事業者や路線の改善方法などの分析をミクロに進めていく場合には、こうしたその他のファクターの考慮も必要ではあろう。

3. 地域バス輸送市場マクロモデルの構築と推定

3-1 モデル構築の基本的考え方

1) モデル構築における基本的前提

マクロモデルとしての特長を活かすために以下の前提を置く。これらの前提を越えたミクロな分析のためには、個々のケース毎により詳細な分析を行えばよい。

(1)バス事業者の「営業所」を、分析する輸送市場の単位とする。その中では、人口密度などの地域特性や、バス輸送サービスの水準など、あらゆるファ

クターが均質であるものとする。

(2)バス輸送は、自家用車や鉄道など他の交通モードと、状況によって競争し、または補完しあう。

(3)バス事業者間で、路線等の競合や旅客をめぐる競争はないものとする。(現実には路線などが部分的に競合する場合には、競合部分の営業路線長や区域面積を、事業者に適宜割り振ることによって処理する。)

(4)バスのサービス水準の変更が土地利用の変化や居住人口・従業人口あるいはトリップ発生率に及ぼす影響は無視できるものとする。つまり、サービス水準はバスの輸送分担率のみに影響することとする。また、輸送市場における諸変化が外部条件(道路混雑、労働市場等)に及ぼす影響も無視できるものとする。

2) 供給費用サブモデルと需要サブモデルの構築

供給費用サブモデルでは、サービス水準をはじめとした諸条件を入力として、総供給費用を出力する。まず、路線密度(km/km²)、営業エリア面積、および運行頻度(回/方向/日)から車両総走行キロを算出し、平均運行速度および予備車率等を用いて総車両数を求める。さらに、給与水準、車両サイズ、公営・民営の違いなどを考慮して、人件費、燃料費などランニングコスト、および車両費など資本関連費の別に、供給費用を算出する。

需要サブモデルでは、同じくサービス水準や、人口密度などの諸条件のもとに利用者数を算出する。需要は、運転免許保有者のグループと非保有者のユーザーグループの別に算出され、さらにそれぞれのグループの中では、バスが鉄道など幹線的な交通機関へのフィーダーとして利用される側面と、バス自体が市街中心部への幹線輸送的な役割を担う側面の両者が反映されている。マイカーとはいずれのケースでも競争的な関係にあるのに対して、鉄軌道とは、前者のケースでは補完的な、後者のケースでは競争的な関係がモデル構造に反映されている。また、地域の昼夜人口比を取り込むことにより、通勤通学利用客に加えたデイトタイムの利用客の多少を考慮している。

モデルの詳細を補遺1に記述する。

3-2 供給費用サブモデルと需要サブモデルの推定

1) 調査対象の選定と調査概要

上述の二つのサブモデルに含まれる未知のパラメータを推定し、さらに推定されたモデルの費用と需

Table 1 対象事業者の諸特性

| 事業者 | 企業形態 | 営業所数 | 営業地域面積 km ² | 人口密度 人/km ² | 営業キロ km | 路線密度 km/km ² | 平均運行頻度 回/片道/日 | 総車両数 台 | 運賃率 円/km | 輸送人員 千人/年 | 収支状況 |
|-------|------|------|---------------------------|---------------------------|------------|----------------------------|------------------|-----------|-------------|--------------|------|
| M 1 | 民営 | 7 | 1,437 | 373 | 964 | 0,67 | 19 | 295 | 38,40 | 20,184 | 赤字 |
| M 2 | 民営 | 1 | 188 | 562 | 65 | 0,34 | 24 | 25 | 29,20 | 4,895 | 赤字 |
| H 1 | 民営 | 3 | 510 | 595 | 372 | 0,73 | 23 | 177 | 36,00 | 14,469 | 赤字 |
| M T 1 | 民営 | 3 | 1,247 | 251 | 210 | 0,17 | 12 | 49 | 46,50 | 1,519 | 赤字 |
| M T 2 | 民営 | 3 | 549 | 657 | 238 | 0,43 | 15 | 85 | 40,10 | 3,626 | 赤字 |
| M T 3 | 民営 | 3 | 386 | 1,480 | 131 | 0,34 | 13 | 49 | 37,40 | 1,284 | 赤字 |
| U 1 | 民営 | 7 | 1,419 | 603 | 691 | 0,49 | 20 | 274 | 40,10 | 24,897 | 赤字 |
| U 2 | 民営 | 2 | 1,623 | 270 | 459 | 0,28 | 13 | 119 | 44,60 | 4,217 | 赤字 |
| S 1 | 公営 | 5 | 748 | 1,172 | 671 | 0,90 | 49 | 644 | 37,40 | 64,155 | 赤字 |
| T 1 | 民営 | 11 | 1,171 | 5,634 | 1,223 | 1,04 | 31 | 755 | 23,80 | 128,093 | 黒字 |
| T 2 | 民営 | 4 | 120 | 5,906 | 361 | 3,01 | 29 | 199 | 31,60 | 27,603 | 赤字 |
| T 3 | 民営 | 14 | 756 | 4,444 | 1,822 | 2,41 | 68 | 1,946 | 29,30 | 286,201 | 黒字 |
| T 4 | 公営 | 12 | 243 | 8,026 | 558 | 2,29 | 102 | 1,005 | 均一 | 170,153 | 赤字 |
| T 5 | 民営 | 3 | 154 | 6,233 | 529 | 3,43 | 27 | 283 | 33,70 | 44,375 | 赤字 |
| T 6 | 民営 | 1 | 34 | 6,367 | 35 | 1,01 | 64 | 57 | 21,50 | 10,671 | 黒字 |
| T 7 | 民営 | 3 | 271 | 2,301 | 195 | 0,72 | 37 | 102 | 27,90 | 12,081 | 赤字 |
| T 8 | 民営 | 1 | 17 | 6,899 | 38 | 2,21 | 85 | 60 | 24,50 | 9,925 | 赤字 |

注) 本研究の分析は営業所単位で行っているが、ここでは事業者別に取りまとめる。なお事業者名は伏せさせていただいた。

要の現状再現性を確認するため、関東地方および仙台都市圏を対象にしてバス事業者の経営実態調査を実施した。調査対象事業者および対象営業所の選定に当たっては、都市規模、人口密度、あるいは鉄軌道の運行状況などといった地域特性と、バス事業者の事業規模、公営・民営の別、収支状況といった事業者特性のバラエティを考慮した。この結果、調査対象は、関東および東北地方の計17事業者（内訳：東京都市圏8、前橋・高崎都市圏3、水戸都市圏3、宇都宮都市圏2、仙台都市圏1、日立都市圏1）の計83営業所となった。このような対象事業者に対して1995年5月から1996年12月にかけて独自の調査を実施し、営業所を単位としてバス事業の需要・供給に関わるマクロ諸データの収集、供給費用構造に関する詳細調査、バス事業における諸問題および将来展望等に関するインタビューを実施した。また、地域特性については種々の統計数値などの調査により把握した。

Table 1に対象事業者の基本的特性を示す。なお、表中の路線密度は、営業キロを事業区域の面積で除した値、また平均運行頻度は、総走行キロを営業キロで除した値として算出した。

2) 供給費用サブモデルと需要サブモデルの推定

以上の調査によって得られたデータを用いて、二つのサブモデルの未知のパラメータを推定した。パラメータ推定は、サブモデルの各ステップ毎に、被説明変数の実現値とモデルによる推定値との誤差二乗和を目的関数として、準ニュートン法によるパラ

メータの逐次改善法を用いて推定した。推定結果を末尾の補遺1に記す。

供給費用サブモデルと需要サブモデルから得られる、収入と費用のサービス水準に対する変化の様子のあらましを、人口密度の高低などの需要環境の良否に応じて、模式的に示したのがFig.2である。需要環境にかかわらず、費用はサービス水準の向上に対して一様に増加していく。これに対して、収入(すなわち需要)は、免許保有者と被保有者で異なる曲線を描き、二つのコブを持つ曲線として増加する。すなわち、免許を持たないグループでは比較的低レベルのサービス水準でも一定程度の利用量を期待できるキャプティブな需要となっているのに対して、免許保有者では相当程度のサービス水準でないと利用

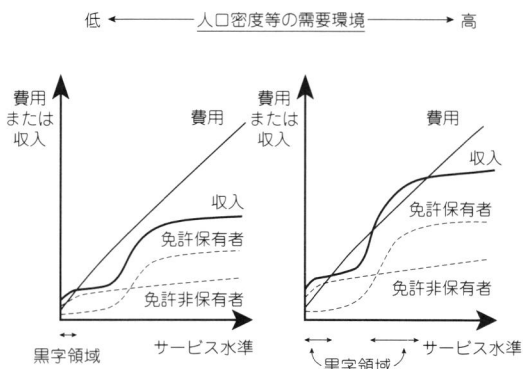


Fig.2 需要・供給費用の特性

が進まない。そして、この利用需要は地域の人口密度の高低など需要環境の良否に応じて上下に変動する。左の図のように需要環境がブアな地域では、利潤をもたらすサービス領域は比較的低レベルとなる。右の人口密度が高く恵まれた地域では、利潤をもたらす領域が低レベルのサービス水準の領域と高レベルのサービス水準の二つになり、その間には利潤の谷が現れている。この性質が次章のアセスメントでは非常に興味深い結果をもたらす原因となっている。

3-3 総余剰の算出方法

事業者の経営にとっての第一義的な評価指標は利潤の大小である。この利潤は需要と費用から簡単に算出される。しかし、交通政策の善し悪しを評価するには、利用者の便益を含めた総合的な社会的厚生的大小を示す指標が必要である。ここでは、Fig.3に模式的に示すように、よく知られたHarberger台形公式により一般化費用に対するいわゆる「利用者便益」(すなわち利用者余剰の変化量)を求め、これに事業者余剰(すなわち利潤)の変化量を加算することによって、総余剰の変化量を算出し、社会的厚生という視点からのサービス水準評価の指標とした。算出方法の詳細を末尾の補遺2に示す。

なお、本来であれば、これに乗用車からバスへの需要転移による環境コストの軽減分などといった外部効果も総余剰に含めるべきであるが、これらの算定根拠が現在のところ必ずしも確立されていないことなどを考慮し、ここではより確実な直接的なファクターのみを取り上げ総余剰の算定に用いた。マストランジットは、一般に混雑や環境などの面でプラスの外部効果を及ぼすことが普通であるから、ここの総余剰の算定は下限値を与えているものと理解される。

4. モデルの適用による経営戦略アセスメント および地域交通政策の検討例

以上によって得られた地域バス輸送市場マクロモデルを典型的なケースに適用して、事業者が積極的に制御することの可能なサービス変数として、路線密度と運行頻度の二変数をとって、各営業所の経営状況および経営戦略と必要となる交通政策について検討を行う。

【例1】大都市圏近郊における積極的な経営の事例
(T3交通・T営業所)

Fig.4(グラビア頁参照)は、人口密度の高い大都市圏近郊部における営業所の一例である。サービス

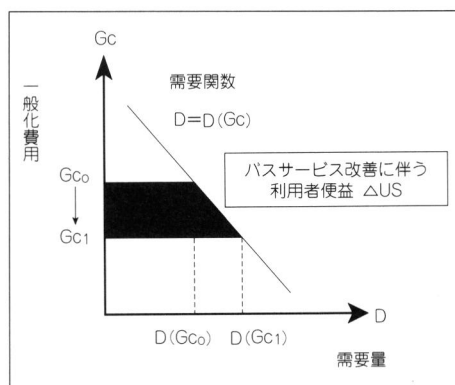


Fig.3 利用者便益算定の概念図

水準を表す変数である路線密度および運行頻度の構成する平面上の任意点は、一つのサービスの状況を表す。その各点には得られる事業者の利潤と総余剰が対応するから、サービスの平面上に利潤(左の図)と余剰(右の図)のコンターを描くことができる。前章で述べた理由により、利潤については左上方から右下方にかけて利潤の峰が存在している。また、原点の近くにも利潤の高所が存在している。同時に右方から左上方に向かって利潤の谷(赤字)が存在しているのがわかる。右上方にも赤字の領域が広がっている。それに対して、総余剰は左上方にピークをもち、右下方に向かってゆるい峰が伸びている。

図中の黒点は、現在実現されているサービスの状況である。矢印は、それぞれ現在のサービス状況から利潤と総余剰を増大させる最急勾配ベクトルの方向を示している。もし、事業者が積極的に利潤の拡大を図ろうとするならば、当然このベクトルの示す拡大再生産型のサービス改善の方向にサービスを変更して行くのが合理的である。(もちろんサービスの変更に応じてベクトルの方向が変わっていくのはいうまでもない。)

ここで注目すべきことは、このケースの場合、たとえ事業者が利潤を追求する方向でサービスの変更をしていったとしても、その方向は大局的にみると社会的厚生指標である総余剰増大の方向と一致していることである。つまりこの場合、事業者の利潤追求経営行動は、利用者の便益を含めて社会的な厚生改善の視点から見ても望ましいことになる。したがって、この場合に必要なのは、事業者のより自由で積極的な経営行動を喚起することである。

わが国のバス事業は、路線については免許制、運行頻度等の事業計画は認可制がとられている。しか

し、ここであげたようなケースでは、事業者が試行錯誤的にサービスを拡大したり、あるいは状況によってはサービス水準を元に戻すといったフレキシブルなサービス設定の運用を可能とする事業の規制緩和と利潤追求動機の促進の方向が指向されるべきである。

【例2】大都市圏近郊における消極的な経営のケース (T1交通・O営業所)

このケースも人口密度の高い典型的な都市バスのケースである。Fig.5(グラビア頁参照)をみると、利潤、総余剰ともに例1と同様の様子になっているのがわかる。ただし、このケースでは、利潤の谷でもまだ正の利潤が得られている。また、例1の場合と異なり、総余剰の現在からの改善の余地が大きいことも注目される。

例1と最も異なることは、現在のこの事業者のサービスが利潤の谷の原点側で行われていることである。この事業者の真の最適戦略は、いうまでもなく利潤の谷を乗り越えて、利潤の峰上の点にまでサービス変数を拡大方向にジャンプさせることである。しかし、そのためには現在の経営規模の二倍にも及ぶ大規模な拡大が必要であり、一般に経営体力が強固とはいえないバス事業者にとって、このような急激な事業拡大は容易なことではない。また、事業者が以上のようなグローバルな市場状況を把握できないか、あるいはもし事業者がより慎重な経営戦略を採るとすると、事業者は、現状から少しずつ逐次的にサービスを変更し、利潤を拡大していこうとするであろう。その場合、事業者は現状の近傍でのみサービスを改変することになり、サービス状況は、矢印の方向、すなわち縮小再生産の方向に向かわざるを得ないことになる。

これは総余剰を増大させる方向とは大きくかけ離れており、交通政策サイドとしては事業者のサービス供給点を例1と同様に利潤の峰上に誘導することが必要となる。そのための施策としては、①輸送市場の詳細調査やマーケティングを支援することにより、「谷のむこうの楽園」の存在を確認し、あるべき経営戦略方向を事業者・行政ともども理解することと、②このようなケースの事業者に対するサービス規模拡大への支援を目的とした公的な融資制度・債務保証制度の適用など、が挙げられる。この場合、利潤の谷を越えて峰に至ることができれば現状以上に利潤がえられるのであるから、いわゆる「公的補助金」を行う必要がないことはいうまでもない。

【例3】地方都市部のケース (M1交通・O営業所)

このケースでは、相対的に人口密度が低く、道路交通速度の高い地域で事業が行われ、現在運営補助金が授給されている。

Fig.6(グラビア頁参照)でわかるとおり、このケースの場合、人口密度の低さを反映して、正の利潤を出すことのできるエリアがきわめて狭く、また現在の供給点では若干の赤字が発生している。総余剰にもとづく最適供給点もかなり低いサービスレベルの供給点となっている。これは、現状の路線密度を維持しつつ、運行頻度をほぼ倍増することにより達成される。しかしながらこの供給点においては事業者の赤字は現在よりも拡大するから、事業者の経営努力だけでは社会的な視点から望まれるサービス水準を維持しえない。このような地域では、マーケットサーベイを実施して過剰供給とならないように注意しつつ「公的助成」を充実させることが必要であると考えられる。

【例4】大都市圏の公営事業者のケース (民営化シミュレーション) (T4交通局・W営業所)

この事業者は例1、例2と比較しても人口密度の高い地域を事業区域としている。しかしながら、Fig.7(グラビア頁参照)に示すように正の利潤を獲得可能なサービス領域は、キャプティブディマンドのみを市場とする原点近傍の領域に限られている。これは、供給費用サブモデルに示されたとおり、公営事業者であることによる賃金水準の高さと生産性の低さによるコスト高が原因である。サービス水準は、総余剰の視点からは問題が少ない。収支上は大幅な赤字が発生している。また、収支状況の悪さから、利潤改善のベクトルは左下方を向き、この事業者には、たえず縮小再生産、特に路線網の縮小への経営モチベーションが作用している。

もし、この公営事業者が民営事業者なみのサービス生産効率を達成したらどのような結果となるであろうか？ ここでは、総費用算定式の人件費項に取り込まれた企業形態を示すパラメータを公営から民営に変化させてみる。この場合、Fig.8(グラビア頁参照)のとおり、例1、2と同様に利潤の峰の領域が発生し、現在の供給点は利潤の谷を越え、一気に利潤の峰の近傍に位置することができる。これによって利潤拡大のベクトルの方向は、総余剰拡大のベクトルの方向と一致するようになるから、例1と同様に事業者が利潤追求経営行動をとるようになれば社会的に望ましい方向にサービスが改善されるよ

うになる。赤字額も年間約5億円の削減が予想される。

5. 結語

本研究の成果を以下にまとめる。

(1)地域のバス輸送の経営アセスメントや交通政策アセスメントを容易に行うことのできる、実用的で適合性の高いバス輸送市場のマクロモデルが構築・推定された。

(2)需要サブモデルにおいては、運転免許保有の有無による交通手段選択行動の違い、およびバスと鉄道の状況に応じた競争・補完関係が明示的に表現され、需要関数の複雑な挙動が再現された。

(3)供給費用サブモデルにおいては、①総費用が事業規模にほぼ比例的に増加していくこと、②賃金水準の違いを考慮した上でも、公営事業者の労働生産性が民営事業者よりもかなり低いこと、③車両サイズの小型化や運行速度の向上が費用削減効果をもたらすこと、などが定量的に確認された。

(4)モデルを実際の営業所に適用し、収支や社会的余剰の視点から分析した結果、以下のような特性が確認された。

- ①人口密度に代表されるような需要特性と事業者の経営形態や経営スタンスなどに応じて、路線密度や運行頻度といったサービス水準に対する利潤や余剰の特性は、非常に大きく様相を変える。従って、必要な交通政策も状況に応じて規制緩和の方向から公的助成の方向まで変化する。
- ②人口密度の比較的高い、潜在需要に富んだ地域では、低サービス水準の領域と高サービス水準の領域との二つの領域で高利潤が得られる。後者のサービス水準が社会的余剰最大化の領域に近い。二つの高利潤領域の間には「利潤の谷」が現れる。
- ③事業者が「利潤の谷」よりも高サービス側でサービス供給している場合、利潤拡大のためのサービス改善方向は、社会的余剰最大化の方向ともほぼ一致する。このようなケースでは、諸事業規制の緩和を基調とした交通政策が必要となる。逆に「利潤の谷」の低サービス側で供給する消極的な事業者の場合、利潤拡大の方向は、社会的余剰拡大方向と乖離の大きい縮小再生産戦略となる。この場合には、マーケットサーベイの支援あるいは、事業拡大のための公的利融資等の政策が必要となる。
- ④人口密度が低く潜在需要の少ない地域では、利

潤を得ることのできるサービス領域は、低サービス水準領域に限られる。社会的余剰拡大のサービス領域はそれよりも少し高サービス領域にあり、その実現のためには公的助成による経営支援政策が必要となる。

末筆ながら、本研究で実施した調査では、対象バス事業者の関係の方々、運輸省関東運輸局および東北運輸局の方々に、資料提供やインタビュー調査あるいは現地視察など種々の点で御協力いただいた。また、本研究のとりまとめに当たっては、慶應義塾大学・中条潮教授、東京都立大学・秋山哲男講師、東京商船大学・寺田一薫助教授とのディスカッションが参考になった。合わせて、深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) S.JEYANDRAN et al. 「Management Analysis of Public Bus Transport System」 土木計画学研究講演集、No.18(2)、P. 357、1995年
- 2) H.IEDA et al.: Macroscopic Modeling of the Bus Transport System and Its Application to Management Assessment in Suburban Bus Services, IATSS RESEARCH Vol.20, No.2, 1996
- 3) 家田仁他 「道路空間を利用する地域公共交通政策の分析と評価」 土木計画学研究講演集、No.19 (1) スペシャルセッション、P. 641、1996年
- 4) 国土庁計画・調整局総合交通課 『交通システムの信頼性向上に関する調査』 P. 65、1997年

補遺 1 供給費用サブモデルと需要サブモデルの推定結果

(1)供給費用サブモデルの推定結果

本サブモデルは事業者（営業所）が一定水準のサービスを供給するのに要する総費用を算出する。ここで総費用は、乗合バス部門（長距離バスは除く）における人件費、燃料油脂費、車両修繕費、減価償却費、一般管理費、税金・金融費等から構成される。なお、数値は1995年から1996年時点のものである。

a) 総車両数の算定式

まず、総車両数を次式で算定する。

$$Fl = 1.96 \cdot \frac{Vkd}{Ho \cdot V} \cdot (1 + r_{add}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{ここで、} Vkd = 2 \cdot Nd \cdot Area \cdot Fr \dots\dots\dots(2)$$

- Fl : 総車両数 (台)
 Ho : 営業時間 (h)
 V : 平均運行速度 (km/h)
 r_{add} : 予備車比 (予備車数/稼働車両数)
 Vkd : 日総走行キロ (台km/日)
 Nd : 路線密度 (km/km²)
 $Area$: 事業区域面積 (km²)
 Fr : 平均運行頻度 (本/片道/日)

総車両数は日総走行キロに比例し、平均運行速度に逆比例する形とした。また予備車両台数を考慮するために予備車比を変数として取り込んでいる。一般に予備車比は車検制度、車両の故障および事故率、車両の維持検修効率などに依存する変数である。一方、日総走行キロは、基本的サービス変数である路線密度と運行頻度、および事業区域面積より算定される。

b) 総費用の算定式

総費用を人件費、燃料費、車両償却費等その他費用の三種類の費用の和として表現し、各費用項目別にモデルの推定を行った。その結果を以下に示す。

$$Tc = Cp + Cf + Co \dots\dots\dots(2)$$

$$Cp = 1.98 \cdot W \cdot Fle^{1.05} \cdot Mt^{0.168} \dots\dots\dots(4)$$

$$Cf = 0.0446 \cdot Pr_{fuel} \cdot Vkd \cdot Size^{1.12} \cdot V^{-0.194} \dots\dots(5)$$

$$Co = Fl \cdot (127 \cdot Pr_{bus} \cdot Age_{bus}^{-9.57} + 3.62 \times 10^4) \dots\dots(6)$$

- Tc : 総費用 (千円/年)
 Cp : 総人件費 (千円/年)
 Cf : 燃料油脂費 (千円/年)
 Co : その他費用 (千円/年)
 W : ドライバーの平均給与年額 (千円/年)
 Fle : 稼働車両数 (台)
 Mt : 企業形態
 $Mt=I$: 民営事業者
 $Mt=IO$: 公営事業者
 Pr_{fuel} : 燃料単価 (円/ℓ)
 Vkd : 日総走行キロ (km/日)
 $Size$: 車両の平均客室床面積 (m²)
 V : 平均運行速度 (km/h)
 Fl : 総車両数 (台)
 Pr_{bus} : 車両購入価格 (千円/台)

Age_{bus} : 平均車齢 (年)

賃金水準を表す変数には、最も人数を要すると考えられるドライバーの平均給与年額を用いた。また、人件費 (乗務員・車両整備員・一般事務員等) は、要員規模と等価と考えられる稼働車両数と、労働生産性に影響があると考えられる企業形態 (公営事業車or民営事業者) の2変数で表現することができた。結果的には、民営事業者の労働生産性は公営事業者と比較して約47%も高くなった。

燃料油脂費は、燃料単価と燃料消費量により算定される。本モデルでは、燃料消費量を総走行キロ、車両サイズおよび走行速度の関数として表現した。推定結果より、車両の小型化や走行速度の向上による燃料費の削減効果が確認される。

その他費用とは減価償却費、整備・事務にかかる諸経費、各種税金、金融費用等をさす。本モデルにおいては、括弧内の第1項が非常に小さくなるため、その他の費用も総車両数にほぼ比例する形で算定されることとなった。Fig.9(グラビア頁参照)は、供給費用に関するモデルの再現性の確認のため、モデルによる再現値と実現値との関係を示したものである。図から明らかのように、賃金水準差や経営形態の差異に基づく生産性の違いなどを考慮した後も、事業者間に生産効率の差が若干残っているが、これらは今後ハンドル時間/拘束時間等の指標などを取り入れることにより内生化できるものと考えられる。いずれにしろ、マクロモデルとしては概ね十分な適合性を見せている。

(2) 需要サブモデルの推定結果

本サブモデルでは、サービス水準や地域の特性をあらわす変数として、バス輸送の分担率、地域の発生トリップ密度、輸送人員、収入の順で算定する。ここでは、説明の都合上、算定式を逆の順序で述べる。

a) 輸送人員および収入の算定式

年間収入および年間輸送人員は次式で算定する。

$$Rev = Rs \times Fare \dots\dots\dots(7)$$

$$Rs = Area \times \sum_i Dd_i \dots\dots\dots(8)$$

- Rev : 年間収入 (円/年)
 Rs : 年間輸送人員 (人/年)
 $Fare$: 平均運賃 (円/人/乗車)
 $Area$: 事業区域面積 (km²)
 Dd_i : 属性*i*のユーザーの年間バス需要密度 (人/km²/年)
 $i=I$: 自動車運転免許保有者

$i=2$: 自動車運転免許非保有者

収入を計算する際に必要となる1人あたり平均運賃は、外生的に与えられる初乗り運賃や運賃率、利用者の平均乗車距離によって算定する。年間輸送人員は運転免許保有者による需要密度と非保有者による需要密度の和に事業区域面積を乗ずることにより求められる。このように属性を二つに分けてモデル化した理由は、以下に述べるように免許保有・非保有の属性によって交通手段選択の様相が大きく異なるものと考えられるためである。

b) 需要密度の算定式

各ユーザー属性毎の需要密度は当該ゾーンの総トリップ密度とバスの輸送分担率の積で算定される。

$$Dd_i = Td_i \times Share_i \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{ここで、 } Td_1 = 184 \cdot Pd_1 \cdot (1 + r_{dn}) \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$Td_2 = 93 \cdot Pd_2 \cdot (1 + r_{dn}) \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dd_i : 属性*i*のユーザーの年間バス需要密度 (人/km²/年)

Td_i : 属性*i*のユーザーの年間総トリップ密度 (人km²/年)

$Share_i$: 属性*i*のユーザーのバス輸送分担率

Pd_i : 属性*i*の人口密度 (人/km²)

r_{dn} : 昼夜人口比 (= 昼間人口/夜間人口)

$i=1$: 自動車運転免許保有者

$i=2$: 自動車運転免許非保有者

c) バス輸送分担率の算定式

バス輸送分担率については、複数の式形のモデルを構築したが、試行錯誤の結果その中で最も再現精度の高かったモデルを以下に示す。

$$Share_i = trunk \cdot 1 / [1 + \exp\{-(U^{bus} - U^{rail} - d_i \cdot U^{car})\}] + (1 - trunk) \cdot 1 / [1 + \exp\{-0.00298 \cdot Fr^{rail} \cdot (U^{bus} - U^{access}) - d_i \cdot U^{car}\}] \quad \dots\dots\dots(12)$$

$Share_i$: 属性*i*のバス分担率

$trunk$: バス輸送の特性を表す内生変数 ($0 \leq trunk \leq 1$)

U^{bus} : バスのサービス水準の内生変数

U^{rail} : 鉄道のサービス水準の内生変数

U^{car} : マイカーのサービス水準の内生変数

U^{access} : バス以外の鉄道駅へのアクセス交通のサービス水準を表す内生変数

$d_i = 1$ at $i=1$: 自動車運転免許保有者

$= 0$ at $i=2$: 自動車運転免許非保有者

ここで、

$$U^{bus} = 0.00586 \cdot Nd^{0.988} \cdot Fr^{1.14} \cdot Fa^{-0.0893} \cdot V^{-0.327} \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$U^{rail} = 3.25 \cdot Los^{rail 0.163} \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$U^{car} = 0.284 \cdot Car_p^{1.16} \cdot V^{0.650} \quad \dots\dots\dots(15)$$

$$U^{access} = 4.90 \cdot Sd^{0.0633} \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$trunk = 1 - \exp(-7.77 \cdot Tl^{-0.307} \cdot r_{dn}^{1.35} \cdot Sd^{-0.0838} \cdot Fr^{rail-0.495}) \quad \dots\dots\dots(17)$$

Nd : バス路線密度 (km/km²)

Fr : バス平均運行頻度(回/片道/日)

Fa : バス平均賃率 (円/km)

= (初乗り運賃 + 賃率 * 平均乗車距離) / 平均乗車距離

V : ピーク時平均道路速度 (km/h)

Los^{rail} : 鉄道サービス変数 (= $Sd \times Fr^{rail}$)

Car_p : 乗用車保有台数 (台/人)

Sd : 鉄道駅密度 (駅/km²)

Fr^{rail} : 鉄道平均運行頻度(回/片道/日)

Tl : 平均トリップ長 (km)

r_{dn} : 昼夜人口比 (= 昼間人口/夜間人口)

バス分担率は、バスサービスレベルと競合交通手段のサービスレベルを変数とする指数関数で表現することができた。バスを市街地中心部への幹線交通手段として利用するか、あるいは鉄道駅への末端交通手段として利用するかによって、バスと鉄道の競争・補完関係が変化する。そこで、バスの全体としての分担率を、バスを幹線交通手段として利用するケースでの分担率と、鉄道駅への末端交通手段として利用するケースでの分担率を、バス輸送の特性を表す内生変数 $trunk$ によって重み付けして算出する式形を採用した。変数 $trunk$ が1に近づくると幹線的な利用が卓越し、0に近づくると末端輸送的な利用が卓越することを表している。 $trunk$ の値は、昼夜比、バスのトリップ長、地域内の鉄道サービス水準など地域の特性によって算出される結果となった。

ピーク時平均道路速度は、道路交通センサスから各営業所の事業区域内の調査地点の速度データを抽出しその平均値として算出した。また、鉄道平均運行頻度は各営業所の事業区域内に存在する各駅の日運行本数の平均値をとっている。

Fig.10(グラビア頁参照)は、需要密度について、モデルによる再現値と実現値とを比較し、モデルの適合性を示したものである。

補遺 2 総余剰変化量の算定方法

総余剰は、利用者余剰と事業者余剰の和で定義される。従って、サービス水準の変更によってもたらされる、総余剰の変化量は、利用者余剰と事業者利潤のそれぞれ現状からの変化量の和として定義される。

$$\Delta TS = \Delta US + \Delta OS \quad \dots\dots\dots(18)$$

- ΔTS : 総余剰の変化量
- ΔUS : 利用者便益 (利用者余剰の変化量)
- ΔOS : 事業者利潤の変化量(事業者余剰の変化量)

サービス水準の変化に伴う利用者便益 ΔUS は、利用者の一般化費用に対して以下のように Harberger 台形公式により算定する。

$$\Delta US = \int_{Gc_1}^{Gc_0} D(Gc) dGc$$

$$\approx \frac{1}{2} \cdot (Gc_0 - Gc_1) \cdot \{D(Gc_0) + D(Gc_1)\} \dots\dots(19)$$

ここで、

Gc : 一般化費用

$D(Gc)$: 一般化費用が Gc の時のバス輸送の需要関数 (需要サブモデルから算出)

添え字 $i=0$ は現状、 $i=1$ はサービス水準の変更後の状態を表す。

利用者の一般化費用 Gc_i は、以下によって算出する。

$$Gc_i = Time_i \cdot Vt + Fare_i$$

$$= (Time_i^{access} + Time_i^{wait} + Time_i^{bus}) \cdot Vt + Fare_i \dots\dots\dots(20)$$

- $Time$: アクセス時間と待ち時間を含む平均総所要時間 (時間/乗車)
- Vt : 時間価値 (円/時間)
- $Fare$: 平均運賃 (円/乗車)
- $Time^{access}$: バス停までの平均アクセス時間 (時間/乗車)
- $Time^{wait}$: バスの平均待ち時間(時間/乗車)
- $Time^{bus}$: バスの平均乗車時間(時間/乗車)

ここで時間価値 Vt には2,600円/時間⁴⁾を用いた。平均運賃は、初乗り運賃、運賃率、平均乗車距離より求められる。一方、平均総所要時間は、バスの路線密度とバス停間隔により決まるバス停への平均アクセス時間、バスの運行頻度によって決まるバスの平均待ち時間、バスの平均乗車距離と平均運行速度により決まる平均乗車時間の和で計算される。平均アクセス時間は、バス停密度 (箇所/営業区域面積) の逆数として算定されるバス停勢力圏 (面積) をバス停を中心とした円形であると仮定し、勢力圏内の任意点から中心にあるバス停までの距離の期待値(これは、勢力圏面積から算出される半径の2/3倍となる)を算出し、それを徒歩速度で除すことによって求める²⁾。また、バスの平均待ち時間は運行間隔 (運行頻度と営業時間により決まる) の1/2とした。