

目的地・手段選択モデルを用いたバス路線の便益評価*

Evaluation of the benefit of local route buses estimated by destination-mode choice model*

中村圭祐**, 佐々木邦明***, 丸石浩一**

By Keisuke NAKAMURA**, Kuniaki SASAKI***, Kouichi MARUIISHI**

1. はじめに

現在日本の路線バスは、地方を中心にモータリゼーションの進展に伴う職場や居住地、商業施設の郊外化による移動目的地の多様化によって、乗客の減少傾向が続いている。しかし、交通弱者のモビリティを確保するためには、採算性が悪化したからといって路線を減便・廃止することは難しく、さらに同一の移動を行うのに、一人当たりのエネルギーおよび道路占有面積が自家用車に比較して小さい路線バスは、環境問題の解決のためにも有用である。これまで、多くの地方部での路線バスは税金からの補助金の投入で路線を維持してきた。しかし、地方財政が縮小する中で補助金の増額は困難であり、バスの参入撤退が緩和された 2002 年以降では路線の廃止が増加している。公共性の名の下に補助金を投入してきた自治体も、財政の悪化から補助金を打ち切る例が多く、補助を継続する場合にもその根拠が必要となってくる。

本研究は、バス路線の価値を、選択モデルから計算される消費者余剰を用いて推定する方法を適用し、パーソントリップ調査を用いて実証的に分析を行うことを目的とする。

2. バス評価モデルの構築にあたって

(1) モデル構築の対象エリア

分析対象は人口 20 万人弱の A 市である。A 市を含む都市圏では平成 17 年にパーソントリップ調査が実施されている。そして、A 市内には 28 系統のバスが運行されているが、どの路線も赤字の運営を余儀なくされている。

(2) バス便益算出の基本的考え方

個人のある財一単位について、支払い意思額に対する実際の取引額との差額が消費者余剰であるが、これは消費者の利益になると想定される。個人ごとのある財に対する支払い意思額は異なるため、市場全体でそれを合計

しなければならない。全員の支払い意思額を連続的に表したものが、多くの人が存在する市場における価格と消費量の関係を示す需要関数になる。

実際の価格に変動があった場合には、その変動による消費者余剰の変化量が消費者の便益の差として算出できる。これが、今回の指標の基本的な仕組みである。

交通においては、価格は単純に運賃だけではなく、所要時間など複合的な要因（サービスレベル）を考慮した一般化費用（不効用）というものを想定する。また、消費量は利用者数に相当する。その一般化費用が変化することで利用者数がどのようになるかがバスの需要曲線となる。今回の便益評価については、バスがあるときの一般化費用と廃止された時の一般化費用の差によって、バスの便益を算出するものである。

さて、便益評価を行うには、一般化費用（不効用）と利用者数の関係式が必要である。そのために平日一日の移動に関する総合的な調査である P T 調査の結果を用いて、移動の目的地と手段に関するデータを入手する。また、別途既存データを用いて作成した移動のための費用や時間と P T 調査から得られた目的地や手段の実態を用いて、費用や時間とバス・自動車等の利用を説明する数学的モデルを作成する。これが、需要関数（費用と消費の関係を表す）である。この需要関数は、P T 調査より得られた目的地選択と手段選択の組み合わせを最もよく再現するようにパラメータを推計する。その推計パラメータをもとに、路線バスがある場合（現状）と廃止された場合の、あるゾーン間（パーソントリップ調査のゾーン）の移動での一人当たりの一般化費用（時間等の機会費用を含む）を算出し、それにそのモデルから計算されるゾーン間の交通需要を乗じ、金額換算してゾーン間の一般化費用（バス便益）を算出する。路線ごとのバスの便益は、路線に沿った OD ペアごとの効用を総計する。

(3) ゾーン間での移動と交通手段の選択の構造の分析

最初に移動の構造を分析する必要がある。この分析にはこのゾーンを発着する移動データを用いる。また、各セル別に交通手段の利用割合も得られているとする。

このデータを用いて各ゾーンに居住する人がどのゾーンを目的地として選択するのか、またそのときにどの交通手段を利用するのかを数学モデルで表現する。ただし

*キーワード：公共交通，バス便益評価

**学生員，工学，山梨大学大学院医学工学総合教育部

***正員 工博，山梨大学大学院医学工学総合研究所

(〒400-8511 甲府市武田4-3-11 Tel:055-220-8671)

交通手段はバスと自家用車、鉄道の3種類とする。

なお、本モデルは上位に目的地選択を行い、下位で交通手段選択を行う Nested 型ロジットモデルである。本モデルの構造を図-1に示す。

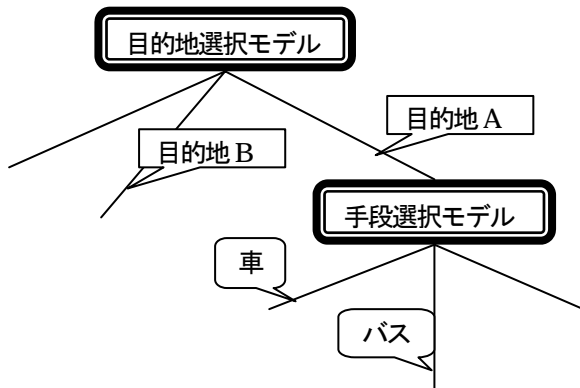


図-1 モデル構造模式図

(4) ゾーン間ごとのバスの便益の計算

3つの手段の一般化費用を用いてゾーン間交通の一般化費用を計算する。それは次の数式で与えられる。

$$\begin{aligned} &\text{ゾーン間交通の一般化費用} = \\ &\ln(\exp(\text{バスの一般化費用}) + \exp(\text{自動車の一般化費用}) + \exp(\text{鉄道の一般化費用})) \end{aligned}$$

ただし、ここまでの計算は基本的にゾーンを単位として交通が分析されているため、バス路線は系統で考えるのではなく、ゾーン間の交通という視点で分解される。たとえば、X・Y・Zという3つのゾーンを想定した例の場合、表-1のように表すことができる。

表-1 ゾーン間交通手段のまとめの例

ゾーン	利用可能手段	
	廃止前	廃止後
X-Y	バス, 自動車	自動車
X-Z	バス, 鉄道, 自動車	鉄道, 自動車
Y-Z	バス, 自動車	自動車
X-X	鉄道, 自動車	鉄道, 自動車
Y-Y	バス, 自動車	自動車
Z-Z	鉄道, 自動車	鉄道, 自動車

このように、バスが廃止された状態ではゾーン間交通の一般化費用が変化する。例えばX-Yゾーン間では、

<廃止前>
 ゾーン間交通の一般化費用=
 $-\ln(\exp(\text{バス一般化費用}) + \exp(\text{自動車一般化費用}))$

<廃止後>
 ゾーン間交通の一般化費用=
 $-\ln(\exp(\text{自動車一般化費用}))$

となる。このとき、一般化費用は「廃止後 \geq 廃止前」が必ず成り立つ。この一般化費用の増加があるゾーン間で一回移動を行う場合の(負の)便益の変化になる。これを用いて各ゾーン間の便益の変化が計算される。

(5) 目的地選択の変化の考慮

移動の総数や、各ゾーンを発着する移動数が変化しないと仮定する。しかし、利用可能な交通手段が変化するので、目的地選択の式に含まれるゾーン間の一般化費用が変化して目的地の魅力度が変化する。そのため、各ゾーン間の移動数は変化すると予想される。そこで、目的地選択のために推定したゾーンの魅力度モデルを用いて、バスが廃止された後のゾーン間の移動の数を推定する。ゾーン間の一回の移動に対する便益変化(一般化費用の変化)はすでに計算されているので、後はこの移動総数の変化を考慮することで、総ての便益変化が計算できる。

今回は最もよく使われるショートカット法と呼ばれる方法(平均値を取る方法)を用いることとする¹⁾²⁾。

$$\begin{aligned} &\text{ゾーン間の便益変化} = \\ &(\text{廃止前の一般化費用} - \text{廃止後の一般化費用}) * \\ &(1/2 (\text{現況のOD交通量} + \text{廃止後の予測OD交通量})) \end{aligned}$$

(6) 貨幣単位への変換と数値例

ここまでの計算で、便益変化が計算されているが、それは一般化費用の単位である。これをお金の単位に直すために一般化費用を計算するときの費用のパラメータを用いる。このパラメータは費用を一般化費用に変換するパラメータであるので、一般化費用をこのパラメータで割ることによって費用に変換される。

廃止前後で便益を比較することによって、一回の移動に対する便益変化(一般化費用単位)を求めることができる。ゾーン間の便益変化をお金に換算するには費用のパラメータで割ることによって求められる。この値はOD交通量を考慮しているので、一日あたりの便益変化となる。

(7) 利用可能性の補正と路線ごとの評価

a) ゾーン内のバス利用可能性

この計算はゾーン内の人すべてが同じ便益をバス路線から得られるという状況を想定しているが、実際にバス路線を利用可能な人の割合はアクセス可能性によって限定されている。そこで、バス路線のゾーン内のカバー率を作成し、便益をバスが利用可能な人の割合で補正した。

b) バス廃止の仮定

本研究の事例のように、バス路線が28系統ある場合には、系統を廃止する組み合わせは、2の28乗個のパターンが存在する。これらすべてを計算することはきわめて困難である。そこで、今回はすべてのバス路線が廃止されたという状況下でのゾーン間の変化から便益計算を行った。そこで、同じOD間に2つ以上バスの系統が存在する場合には、バスの本数の比に応じてバスの利用者が存在すると仮定して、本数比でゾーン間の便益を配分している。

c) 便益の路線ごとの統合

ゾーン間の便益を路線に配分した後、路線ごとにすべてのゾーン間で割り当てられた便益を合計することで、ある路線の総便益を計算する事ができた。

ここまでのモデル構築の流れを図-2にまとめる。

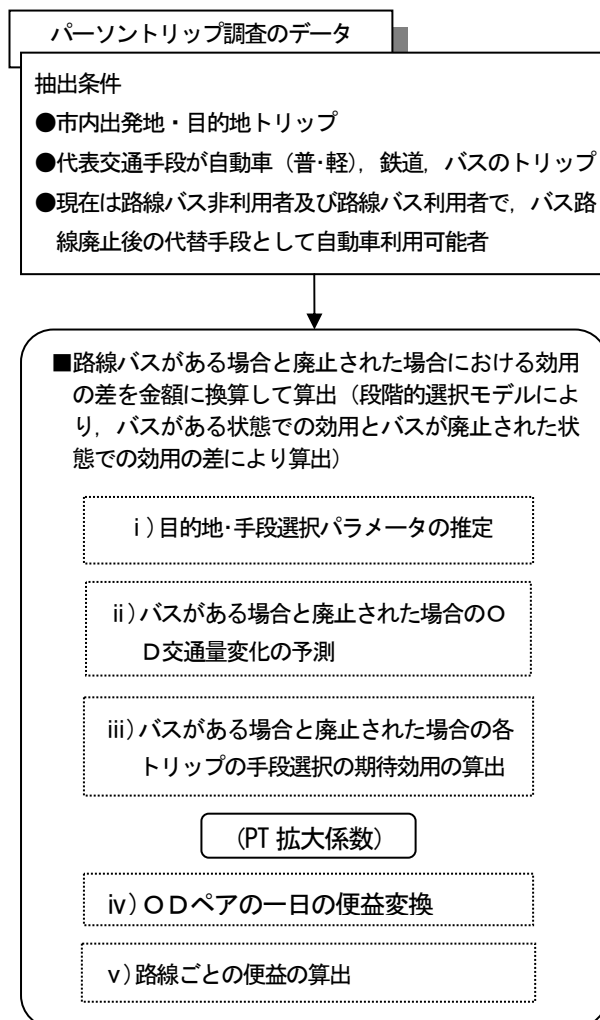


図-2 バス路線評価モデルの構築フロー

3. PT 調査結果に基づくパラメータ推定結果

(1) 個人の期待効用算出モデル式

本節では、A市を含む都市圏のPT調査結果を基に、バスの便益を算出するモデル式を構築し、実際にパラメータ推定を行う。まず、現況再現およびバス廃止後の効用を表す式として、下記を示す。

<現況>

$$EU_{ij} = \mu \ln \left[\exp(V_{ij}^{car}) + \exp(V_{ij}^{bus}) + \exp(V_{ij}^{train}) \right]$$

<バス廃止後>

$$EU_{ij} = \mu \ln \left[\exp(V_{ij}^{car}) + \exp(V_{ij}^{train}) \right]$$

ただし、 $V_{ij}^k = \beta * X_{ij}^k$, $V_{ij}^k = \gamma * X_{ij}^k$

EU_{ij} : あるトリップの目的地と手段選択を含めた期待効用

μ : スケールパラメータ（目的地選択と手段選択の効用の分散の比を表す）

V_{ij} : 個人 i が j ゾーンを目的地として選択する場合の効用の確定項

V_{ij}^k : 個人 i が j に k の手段を用いる場合の効用確定項

β, γ : 推定するパラメータ

X_{ij}, X_{ij}^k : それぞれ目的地選択の説明変数と手段選択の説明変数

(2) 路線バスの効用の金額算出モデル式

(1) を元に、路線バスの効用を金額単位で算出するモデルを以下に示す。バス廃止による便益変化 UB は、交通需要量の変化を反映するため、OD交通量の Q_{ij} を考慮する。ただし、 Q_{ij}^0 および EU_{ij}^0 の右肩添え字は、現状を **[0]** とし、仮にバス路線が存在しない状態では **[w]** となる。

$$UB = \frac{1}{2UC} \sum_{ij} (Q_{ij}^0 + Q_{ij}^w) (EU_{ij}^0 - EU_{ij}^w)$$

Q_{ij} : ij 間の交通需要 (ij はある路線が関係する OD 全て)

UC : 費用を効用に換算するパラメータの推定値

(3) パラメータ推定

(1), (2) を元に、A市を含む都市圏のPT調査のデータより、パラメータを推計した。

推計結果は、表-2、表-3の通りとなった。

表－2 目的地選択パラメータ

目的地選択項目	推定値	T 値
1,000 m ² 店舗	0.1105	52.0
病院数	0.0044	18.2
官公庁数	0.3979	77.8
小中学校数	0.0366	13.9
高等教育機関数	0.1520	31.8
スケールパラメータ	0.2576	26.4

※+だと目的地として選ばれる確率増大 *全て1%有意

このパラメータ推定の結果を基に目的地の魅力度を算出し、目的地選択を行う対象者は、もっともゾーンの魅力度の高いところへと移動するとした。

表－3 手段選択パラメータ

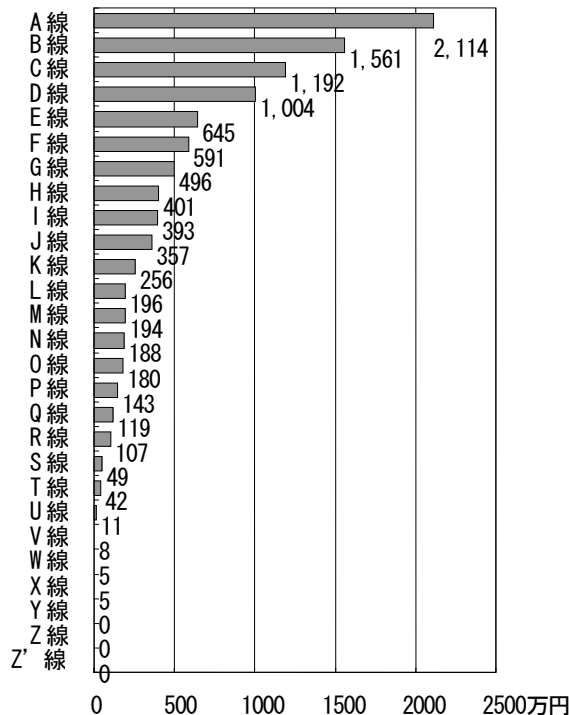
手段選択項目	推定値	T 値
定数	10.4298	17.1
女性ダミー	-0.5918	-2.5
個人特性（職業の有無）	-0.6567	-2.9
所要時間(10分)	-4.3334	-24.7
費用(10円)	-0.0979	-6.1

※定数については+がバスの選択確率を増加させる

※女性ダミーと個人特性は負の値は自動車の選択確率を増加させる

参考：時間価値は1分44.3円 *全て1%有意

手段選択のモデル式においては、各パラメータを導入した式によって一般化費用を計算し、その結果最も一般化費用の低い手段を選択するという仮定である。



図－3 A市におけるバス路線の便益評価結果

4. 各路線の便益評価

ここまでで示したパラメータおよび計算フローにより、A市におけるバス路線28路線について、便益評価を行った。結果を図－3に示す。

もっとも便益が高いA線では、2000万円を超える便益があると推定され、住民にとって無くてはならない路線として評価されているといえる。反面、S線からZ線の各線は、便益が100万円以下ときわめて低い評価であり、特にY線、Z線、Z線の3路線については、便益が0万円となっている。この点については、当該バス路線沿線で測定されたOD分布が、PT調査と実際の利用状況との間で一致していないためであると考えられる。これは、実感と多少異なる点があるため、PT調査の代表性の検討が必要である。

5. 結論と今後の課題

本研究で得られた知見より、バスの路線が廃止になると仮定した際に、市民にとってどの程度の不利益があるのか、評価手法をまとめつつ、路線ごと具体的な数値として表すことができた。今後の検討課題として、今回示したモデルが正確な評価指標として地域の実情を表すことができているかを、これから検討していく必要がある。

また、この評価指標はPT調査の結果をモデル式によって金額に換算したものであり、「公共交通が地域に存在することによる安心感」「ある地域には公共交通が存在するが、別の地域には公共交通が存在しないことに起因する不公平感」などのような明示化できないような概念については、これを表すことができていない。モデルに地域住民の意見を取り入れる工夫をすれば、より優れた評価指標の作成が可能になると考えられ、この点も課題といえる。

参考文献

- 1) 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ー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.
- 2) (財) 運輸政策研究機構:「鉄道プロジェクトの費用対効果分析マニュアル '99」, 運輸省鉄道局, 1999