

バス輸送の路線別生産性評価手法の構築*
An Evaluation of productivity of bus transport by route*

柿本竜治**・溝上章志***

By Ryuji KAKIMOTO** and Shoshi MIZOKAMI***

1. はじめに

近年、乗合バス事業はバス離れによる乗客の減少やバスサービス供給規模の維持の必要性により、営利サービスとしての効率性の低下を構造的に余儀なくされている。特に地方部では乗合バスは交通機関として重要な役割を果たしているが、過疎地域を中心に営利サービスとして成り立たなくなっている。このような現況の中、生活路線の維持方策の確立を前提として需給調整規制が廃止された。これにより事業参加・退出が認可制となった。また、運賃・料金について需給調整規制の廃止と併せ、運輸政策審議会で上限価格制を検討の上その答申に基づき措置することとなった¹⁾。

この規制緩和により、地方部においては既存路線を含めた事業からの退出が容易になるため、赤字路線の整理が急激に進み、地域住民の生活路線が損なわれることが懸念されている。また、補助制度の改定により路線毎の経営評価がこれまで以上に求められる。

補助金投入に際し、従来、路線を評価する指標としては営業係数や輸送密度が用いられてきた。これらの指標は、経営の結果である運賃収入や乗車人員を用いて算出される指標であり、これらは営業費用を最小にする投入や産出がなされているかという企業努力は不問としている。そこで本研究では、バス輸送企業の持つ生産構造を明らかにし、当該路線にかかる標準的な費用を推定し、この値と費用実績値とを比較することによって当該路線の生産効率性を評価しようとするものである。

2. バス輸送事業の生産効率性評価

2.1 費用関数

バス事業の生産構造を特定するため、バス事業の経年データを用いて費用関数を推定する。一般的に費用関数を推定する時には、理論のベースとして生産関数を設定してもそれは一般形としておいて具体的、陽表的には特定しない。そこで、 Q をバスサービスの産出量ベクトル、 N を営業投入量のベクトル、 K を資本投入量のベクトルとし、バス事業の生産関数の一般形を $Q=f(N,K)$ で表す。また、このとき、 C を総費用、 P を労働賃金などの営業投入要素価格ベクトル、 O を利子率といった資本投入要素価格ベクトルとすると、費用の定義式は、 $C=NP+KO$ となる。費用最小化の条件から営業需要と資本需要は、 $N=N(P,O,Q)$ 、 $K=K(P,O,Q)$ となる。これらを費用の定義式に代入すれば、 $C=NP+KO=C(P,O,Q)$ となる。つまり費用は営業投入要素価格、資本投入要素価格および産出量によって構成される。そこで、バス事業の費用関数を、

$$C=C(P,O,Q) \quad (1)$$

という一般形を基本にして推定する。

2.2 トランスログ型費用関数

トランスログ型費用関数は前もってモデルの関数形を特定化できない場合に用いられる関数で、要素間の生産構造特性を推定パラメータや各生産構造指標の算出により検証できるという利点がある²⁾。その一般形は、費用関数の二次のテーラー展開によって得られる。いま、バス事業が n 個の投入要素(営業投入要素+資本投入要素)、および m 個の産出物を持つ場合、式(1)の費用関数は式(2)のトランスログ型費用関数で近似される。

$$\ln C = \alpha + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln P_i + \sum_{i=1}^m \beta_i \ln Q_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \ln P_i \ln P_j + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \varepsilon_{ij} \ln Q_i \ln Q_j \quad (2)$$

*キーワード：バス輸送，補助金，生産性，地方交通

**正会員 博(学術) 熊本大学工学部環境システム工学科
(〒860-8555 熊本市黒髪2丁目39番1号 TEL096-342-3541 FAX 096-342-3507)

***正会員 工博 熊本大学工学部環境システム工学科

ここで、 $\alpha, \alpha_i, \beta_{ij}, \gamma_{ij}, \delta_{ij}, \varepsilon_{ij}$ はパラメータである。

また、総費用 C は投入要素価格 P_i に関して一次同次である。つまり、営業投入要素、資本投入要素のすべての価格をある一定の倍率で増加させると総費用も同じ倍率で増加するということである。そのための十分条件は以下ようになる。

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1, \quad \sum_{i=1}^n \gamma_{ij} = 0, \quad \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} = 0, \quad \sum_{j=1}^m \delta_{ij} = 0 \quad (3)$$

生産活動において、一般に産出量どうし、投入要素価格どうしで以下の対称性が成り立つ。

$$\gamma_{ij} = \gamma_{ji}, \quad \varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji} \quad (4)$$

シェパードの補題により、企業が変化に対して最適行動をとったとき、費用を最小にする生産要素投入量は次式で与えられることが知られている。

$$\partial C / \partial P_i = X_i \quad (5)$$

したがって、費用関数を各営業投入要素価格 P_i について偏微分することにより、企業が変化に対して最適行動をとったとき、各要素の需要関数 X_i を得ることが出来る。いま、式(2)を営業投入要素価格の対数 $\ln P_i$ で偏微分すると、

$$\begin{aligned} \partial \ln C / \partial \ln P_i &= (P_i / C) X_i = U_i \\ &= \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_j + \sum_j \delta_{ij} \ln Q_j \end{aligned} \quad (6)$$

が得られる。 $P_i X_i$ は投入要素 i の費用を、 C は総費用を表していることから、式(6)における $(P_i / C) X_i$ は総費用に占める投入要素 i の費用シェア U_i を表す。以上より費用関数の中には生産関数の技術的要件に関するすべての情報が含まれていることになる。

2.3 推定結果とその考察

費用関数のパラメータの推定にあたっては、熊本市の民間バス事業者K社の表-1に示す1987~96年の10年分のデータ項目を使用する。パラメータを推定する際、投入要素価格と目的関数である総費用については、1985年を100としたデフレータで除し

て、1985年基準価格に修正した単価のデータを用いる。金利については公定歩合の年率平均を代理指標として用いる。また、産出量として分析対象期間の年間乗車人員、年間走行距離のデータを用いる。人件コストシェア、車両コストシェア、および燃料コストシェアは、各年の人件費、車両修繕費、燃料費をそれぞれ総費用で除したものをを用いる。パラメータの推定結果を表-2に示す。また、推定された費用関数が投入要素価格に対して非減少関数であるための条件は、式(7)を満たすことである。

$$\partial \ln C / \partial \ln P_i \geq 0 \quad (i = W, R, F, O) \quad (7)$$

表-3の計算結果より、推定された費用関数は投入要素価格に関して非減少関数であることが確認される。また、表-4に示されるように残差平方和も小さく、費用関数の実績値へのあてはまりはよいと言えよう。

表-1 費用関数のデータ項目

営業投入要素価格	人件費(円/人日)	P_W
	車両修繕費(円/台日)	P_R
	燃料費(円/1)	P_F
資本要素価格	公定歩合(率/年)	P_O
産出物	乗車人員(人/日)	Q_J
	走行キロ(km/日)	Q_S

表-3 式(7)の計算結果

年	W	R	F	O
87	0.652	0.109	0.071	0.175
88	0.656	0.109	0.068	0.189
89	0.654	0.110	0.071	0.205
90	0.643	0.111	0.083	0.120
91	0.630	0.104	0.086	0.109
92	0.642	0.102	0.075	0.098
93	0.640	0.102	0.076	0.108
94	0.643	0.104	0.075	0.099
95	0.643	0.105	0.075	0.080
96	0.633	0.105	0.086	0.161

表-4 費用関数推定に伴う統計量

	残差平方和	DW比
費用関数	7.0×10^{-5}	2.519
人件費のシェア方程式	1.3×10^{-4}	1.710
車両修繕費のシェア方程式	2.0×10^{-5}	1.734
燃料費のシェア方程式	1.0×10^{-5}	1.513

表-2 費用関数のパラメータの推定結果

パラメータ	W	R	F	J	S	WP	WF	WO	
パラメータ (t値)	-211.356 (-2.548)	-0.471 (-1.628)	0.210 (1.728)	1.070 (2.770)	359.988 (5.009)	-303.482 (-5.730)	-0.015 (-0.652)	-0.221 (2.773)	-0.001 (-0.062)
RF	RO	FO	WI	RI	FI	OI	II	IS	SS
0.025 (5.009)	-0.006 (-0.969)	-0.002 (-0.254)	-0.168 (-1.860)	-0.084 (-2.070)	0.084 (2.043)	-0.921 (-2.262)	-178.775 (-5.606)	131.390 (5.819)	-91.316 (-5.598)

表 - 5 K社における価格弾力性・代替弾力性・費用弾力性

年度	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
PE-WW	0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
-RR	1.13	1.29	1.24	1.37	1.46	1.39	1.37	1.31	1.52	1.36
-FF	1.86	2.01	1.84	1.44	1.53	1.72	1.58	1.46	1.72	1.49
-WR	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.07	0.08
-WF	-0.26	-0.26	-0.27	-0.26	-0.27	-0.27	-0.26	-0.26	-0.28	-0.27
-RW	0.53	0.53	0.51	0.49	0.47	0.49	0.51	0.51	0.47	0.48
-RF	0.29	0.30	0.30	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	0.33	0.32
-FW	-2.46	-2.63	-2.46	-2.01	-2.12	-2.32	-2.15	-2.01	-2.33	-2.06
-FR	0.48	0.49	0.47	0.41	0.42	0.44	0.43	0.41	0.44	0.41
MES-WR	-1.04	-1.20	-1.15	-1.29	-1.38	-1.31	-1.29	-1.23	-1.45	-1.28
-RW	0.51	0.51	0.49	0.48	0.47	0.48	0.50	0.49	0.47	0.48
-WF	-2.12	-2.27	-2.12	-1.71	-1.80	-1.99	-1.84	-1.72	-2.00	-1.75
-FW	-2.48	-2.65	-2.47	-2.02	-2.12	-2.33	-2.16	-2.03	-2.34	-2.07
-RF	-1.57	-1.71	-1.54	-1.12	-1.20	-1.40	-1.26	-1.14	-1.38	-1.16
-FR	-0.66	-0.80	-0.77	-0.96	-1.04	-0.95	-0.94	-0.90	-1.08	-0.95
CE-J	-2.07	-0.06	2.78	5.47	-0.84	-1.43	-1.19	1.69	1.34	-0.55
-S	1.73	0.22	-1.98	-4.09	-0.64	-0.26	-0.55	-2.62	-2.31	-0.83

2.4 生産効率性評価

トランスログ型費用関数の推定パラメータを用いて各種の生産性構造を表す指標を容易に導出することができる。ここでは、それらの指標の経年的推移を考察することにより、バス輸送企業の生産構造特性の検討を行なう。

1) 投入量の価格弾力性 (PE)

投入量の価格弾力性とは、投入量が投入要素価格の変化にどれだけ反応するかを示している。価格が1単位変化したときの投入量の変化率によって表現され、トランスログ型費用関数を用いたときは式(8)、(9)のように与えられる。

$$PE_{ii} = \frac{\gamma_{ii} + U_i^2 - U_i}{U_i} \quad (i = W, R, F) \quad (8)$$

$$PE_{ij} = \frac{\gamma_{ij} + U_i U_j}{U_i} \quad (i, j = W, R, F) \quad (9)$$

$PE_{ii} < -1$ のときは奢侈財、 $PE_{ii} > -1$ のときは必需財、 $PE_{ij} > 0$ のときは粗代替財、 $PE_{ij} < 0$ のときは粗補完財である。計算結果を表-5に示す。投入量の価格弾力性は、サンプルの属性を通じて両社とも一定である。ここで、投入要素間の相互関係の結果とその含意は以下の2点である。第一に、投入量の自己価格弾力性 (PE_{ii}) は、すべての投入財において正であり、バスサービスに関する投入要素の投入量は投入要素投入要素価格に非弾力的である。第二に、投入量の交差価格弾力性 (PE_{ij}) は、人件費は燃料の投入量に対して、燃料費は雇用者数の投入量に対しては粗補完財であり、それ以外は粗代替財である関係が得られた。

2) Morishima 代替弾力性 (MES)

代替弾力性とは、複数の生産要素を含む費用関数において産出量を得るためにある財を他財によって代替することの容易さを示す尺度である。補完弾力性とはそのような複数の財を相互に補完しあうことの容易さを示す尺度である。

$$MES_{ij} = PE_{ij} - PE_{ii} \quad (10)$$

$MES_{ij} > 0$ のとき代替性を、 $MES_{ij} < 0$ のとき補完性を表す。計算結果を表-5に示す。代替弾力性の相互関係は価格弾力性のときと同様に、サンプルの属性を通じてほぼ一定である。概ね投入要素間で補完的である。計算結果では、車両が雇用に対して代替的性質を見せているが、数値自体は小さくそれほど強いものではない。したがって、バス事業における投入要素間の代替性は困難であると言える。

3) 費用の産出量弾力性 (CE)

費用の産出量弾力性 (CE)、費用が産出量の変化にどれだけ反応するかを示している。これは、式(7)を産出物 (乗車人員と走行距離) の対数で偏微分したもので、式(11)、(12)のように与えられる。

$$CE_J = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Q_J} = \beta_J + \delta_{WJ} \ln P_W + \delta_{RJ} \ln P_R + \delta_{FJ} \ln P_F + \delta_{OJ} \ln P_O + \varepsilon_{JJ} \ln Q_J + \varepsilon_{JS} \ln Q_S \quad (11)$$

$$CE_S = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln Q_S} = \beta_S + \delta_{WS} \ln P_W + \delta_{RS} \ln P_R + \delta_{FS} \ln P_F + \delta_{OS} \ln P_O + \varepsilon_{JS} \ln Q_J + \varepsilon_{SS} \ln Q_S \quad (12)$$

計算結果を表-5に示す。

3. 生産性構造による路線分類

K社の路線別データを用いて路線別の生産性構造

表 - 6 推定費用と営業実績の比較

	低コスト	高コスト	計
黒字路線	16	11	27
赤字路線	18	9	27
計	34	20	54

表 - 7 判別分析による生産性効率性要因

変数名	判別係数	順位
路線長 (km)	-0.002	5
所要時間 (分)	0.013	4
バス停数	-0.014	3
運行回数	0.027	2
重複数	-0.418	1
定数項	0.193	
的中率	55%	

評価³⁾を行う。これまでに推定された費用関数というのはK社のバス輸送企業としての標準的な費用構造をとっており、この関数にある年の特定路線の路線データを代入することにより、当該路線にかかる標準的な費用を推定することができる。この標準費用（以下推定費用と呼ぶ）と既知である実際値を比較することにより、当該路線の生産性を評価する。ここでは、路線別の営業係数がK社の93年分のみしか入手できなかったことから、93年の路線別データを用いた。そのうち、路線設定要因がすべて既知である54路線のみを取り扱った。まず、路線別費用を式(7)より推定する。労働投入要素価格については路線共通に1985年基準価格に修正した値を用いる。産出量については、費用関数が経年データによって推定されているため単一路線のデータをそのまま用いると誤差が生じる。そこで、各路線の総走行距離をその年の走行距離に等しくなるように倍し、乗車人員についても倍し拡大した値を用いる。つまり、評価対象の各路線を独立した一つのバス企業と考えて当該路線の生産性構造評価を行う。資本投入要素価格の公定歩合（年率平均）をそのまま用いることにする。この結果、標準費用よりも高コスト構造である路線が20路線、低コスト構造である路線が34路線あることが分かった。この結果と黒字および赤字路線の関係を表-6に示す。54路線中、黒字路線にもかかわらず高コスト構造である路線が11路線、赤字路線にもかかわらず低コスト構造である路線が18路線あることが判明した。

最後に、各路線の標準的な費用よりも実績費用の大きい路線群かと小さい路線群かを路線長や所要時

間、バス停数、運行回数、重複数の路線の設定要因だけを用いて判別する判別分析を行い、生産構造に影響を与えている路線設定要因を抽出する。先の54路線のうち各路線の設定要因が既知である47路線について判別分析を行った結果を表-7に示す。これらの路線群の判別には「重複数」が最も影響を与え、次に「運行回数」、「バス停数」、「所要時間」、「路線長」と続く。これらの変数を用いてバス輸送の標準的な生産構造を達成できる路線か否かを的中率55%で判別することができた。結果、「路線長」が短く、「所要時間」が長く、「バス停数」が少なく、「運行回数」が多く、「重複数」が少ないほど、バス路線は標準費用以上のコストを要するとのことが明らかになった。

4. おわりに

本研究では、バス事業者の費用関数を推定し、その生産構造を明かにした。その結果、バス事業は投入要素価格に非弾力的であり、また、投入要素間での代替性が低いことが分かった。このことは、バス事業は公共性が高いため投入要素価格の変化に対して、産出物であるバスサービスの供給を柔軟に調整できないことが起因しているものと考えられる。また、このことと投入要素間での代替性の低さから、産業構造的に高コスト化につながり易い体質にあることが分かる。また、推定した費用関数を用いて既存路線の営業実績を比較したところ、高コスト路線で赤字路線が9路線、黒字路線11路線確認された。これらの路線は赤字・黒字路線に関わらず、判別分析に示された高コスト要因を改善することにより、コストの削減等さらなる営業努力を行なう必要がある。以上のことから、本研究が示した路線別生産性評価手法は、バス事業に対する補助金投入に関して一考を投じる方法として有用であると考えられる。

参考文献

- 1) 地方バスマニュアルー生活交通の確保のためにー, 国交省自動車交通局, 旅客課生活交通対策室, 2001.
- 2) 高瀬浩二: 変数効果をもつ動学的多変量要素需要モデル - 紙・パルプ産業パネルデータへの応用 -, 早稲田経済学研究 50号, 2000.3
- 3) 竹内伝史・山田寿史: 都市バスにおける公共補助の論理とその判定指標としての路線ポテンシャル, 土木学会論文集, 第425号 / -14, pp183-192, 1991.1