路線別特性評価に基づくバス路線網再編計画手法の提案*

A Method of Characteristic Evaluation by Bus Line and Reorganization Plan*

溝上 章志**・土田 直樹***・橋本 淳也****・柿本 竜治*****

Shoshi MIZOKAMI, Naoki TSUCHIDA, Junya HASHIMOTO and Ryuji KAKIMOTO

1．はじめに

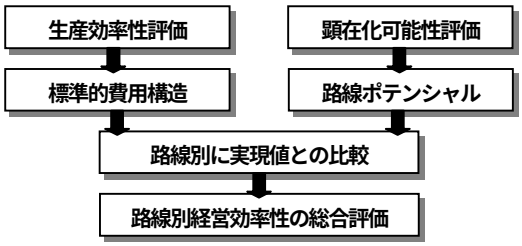
都市圏の路線バスは公共輸送サービスの重要な一翼を担ってきた．しかし，乗用車の利便性の向上だけでなく地下鉄などの代替的公共交通サービスの発達により，全国の都市で路線バス離れが深刻化している．このような中，平成14年2月に生活路線の維持方策の確立を前提にした需給調整規制が撤廃されて許可制になり，路線への参入退出が容易になった．また，運賃制度については，運輸政策審議会の答申に基づく上限価格制の措置がなされるようになった．路線への新規参入を容易にしてバス事業の自由競争を促すことで，路線沿線のニーズに応じた高サービス・低料金のバスシステムへの転換が期待される．その反面，需要の多い都市中心部では供給過剰による混乱が生じるとか，不採算路線からの撤退が急増して地域住民の日常生活に必要なモビリティの維持が困難になるなどの懸念もある．

また，生活交通確保のための新しい補助制度が平成 13 年 4 月から開始され，これまでは内部補助を前提とした事業者であったものが，黒字・赤字事業者を問わず，生活交通確保のため地域にとって必要な赤字路線を補助対象とするようになった．新制度への改正により，今まで以上に路線ごとの経営効率性の評価が求められる．

２．路線別経営効率性の評価方法

（1）路線別経営効率性評価指標の提案

従来，路線ごとの経営効率性の評価指標としては営業係数や輸送密度が用いられてきた．しかし，これらの評価指標は経営の結果として得られる指標であるから，当該路線の持つ本質的・潜在的な特性を評価している訳でない．たとえ営業係数が1.0を上回っていたとしても，それが収入に対して過大な費用を要しているために生じているのか，つまり生産性が低いのか，または費用に対して収入が少ないために生じているのか，つまり潜在需要の獲得に成功していないのかの判別ができない．そこで，**図－１**に示すように，以下の２つの視点から路線別経営効率性の評価を行う必要がある．



図－１　路線別経営効率性の評価手法

1)バス輸送企業が平均的に持っている生産性と比較して当該バス路線の輸送生産性がどの程度かという生産効率性

2)当該路線のもつ潜在需要をどれだけ実需要として顕在化させているかという潜在需要の顕在化可能性

生産効率性の視点からの評価方法は以下の通りである．まず，経年データを用いて生産理論と整合的なトランスログ型費用関数を推定し，バス輸送企業が標準的に持っている生産性構造を特定化する．この関数に各路線別の説明変数データを代入することによって，当該路線の標準的な費用を推定する．この標準的費用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する．

一方，潜在需要の顕在化可能性の視点からの評価方法は下記の通りである．各路線の持つ潜在需要を表す潜在集客能力路線ポテンシャルを後述の方法で推計する．推計値と乗車人員の実績値とを比較をすることにより，潜在需要の顕在化可能性を評価するものである．

本研究では，公営バス企業の熊本市交通局，民間バス事業者KS社，KD社，KB社の路線別評価を行う．路線とは通過ルートや停車バス停の一部が異なるだけでほぼ同一と見なせる１つ，または幾つかの系統を統合したものをいう．

（2）費用関数を用いた路線別生産効率性評価

ある企業の生産性構造を分析する場合には通常，生産関数が用いられるが，企業が費用最小化行動を行っている場合はその双対関係にある費用関数を用いても同じ結果が得られる．この費用関数の中でも，トランスログ型の費用関数は生産と資本投入要素価格，および産出量の関数であり，

*keywords：バス輸送，路線網再編計画

**正員　工博　熊本大学工学部環境システム工学科（熊本市黒髪 2-39-1, Tel:096-342-3541, E-mail:smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp）

***正員　修(工)　北九州市

****正員　博(工)　八代工業高等専門学校

*****正員　博(学)　熊本大学工学部環境システム工学科

表－１　生産効率性の評価結果

生産効率性	市交通局		KS社		KD社		KB社	
	高	低	高	低	高	低	高	低
黒字路線	21	8	12	34	5	3		
赤字路線	37	11	6	32	14	19		
計	58	19	18	66	19	22	13	8

表－２　生産効率性の判別要因

説明変数	判別係数	順位
路線長（km）	-0.075	1
運行回数	0.055	2
重複数	-0.042	3
バス停数	-0.007	4
定数項	-0.034	
的中率（%）	68.6	

前もってその関数形を特定することなく，生産構造特性を推定されたパラメータや各種生産構造指標により検証できるという利点がある．

このトランスログ型費用関数を用いて各社の費用関数の推定を行った．ここでは，産出物としては乗車人員と走行距離を，生産要素価格としては人件費と工事費（車両修繕費と減価償却費の合計を車両数で除した値）と燃料油脂費の単価を，資本投入要素価格として公定歩合を使用した．

各社ごとに投入要素量シェア式との連立型重回帰式を3段階最小自乗法により推定した．説明変数のパラメータのt値はおおむね高く，残差平方和の値も小さく，費用関数として有用であると判断される．

この費用関数は時系列データを用いて推定されており，各社別の標準的な長期費用構造を表しているといえる．この関数にある年の特定路線の特性データを代入することにより，当該路線の標準的費用を推定することができる．このとき，産出量については単一路線のデータ値は推定時のデータの値域とかなり異なるため，各路線の総走行距離をその年の総走行距離に等しくなるようにα倍し，乗車人員についてもα倍に拡大した値を用いた．

この標準的費用と既知である実績値を比較することにより，当該路線の生産効率性を評価する．本研究では，H12年度の市交通局85路線，KS社84路線，KD社41路線，KB社21路線の生産効率性を評価した．各社ごとの各路線の実績費用と推定費用の比較，および収支についての関係を**表－１**に示す．全社では推定費用よりも高コスト構造である路線が115路線，低コスト構造である路線が108路線であった．民間企業では低コスト構造で運行されている路線が多いが，市交通局では高コスト構造で運行されている路線が多いこと，高コスト構造であるにもかかわらず黒字である路線が市交通局に多いことも分かった．

標準的な費用よりも実績費用が大きいか否かは，路線長や運行回数など，路線の物理的設定特性に依存すると考えられる．そこで，路線長やバス停数，運行回数，重複数などの路線固有の物理特性要因を用いて両者の判別分析を行った．要因が既知である223路線についての判別分析の結果を**表－２**に示す．路線長が短く，運行回数が多く，重複数が少なく，バス停数が少ない路線ほど，標準的費用より低コストで運行できることが判明した．ここで，運行回数は一日の運行回数（本/日），重複数は通過ノード数が全線の7割以上同じである路線の数である．これらの結果は後述する路線再編のための対応に活用される．

（３）路線ポテンシャルを用いた路線別需要顕在化可能性の評価

路線ポテンシャルとは，各バス停の沿線に居住，あるいは従業している人口などに依存し，当該バス路線が需要として獲得可能な潜在需要を表す．ここでは，竹内らの方法を参考に，以下の4段階で路線ポテンシャルを計測する．

① バス停勢力圏内の交通発生力の算出を行う．このバス停勢力圏とは，バス停を中心とした半径500mの円を基本としており，各産業従業者数に基づく業務地系，学校の在籍生徒数に基づく文教，病院の病床数に基づく医療，主な公共施設の利用者数や観光地訪問者数に基づく施設などの非自宅ベースのポテンシャルも考慮する．

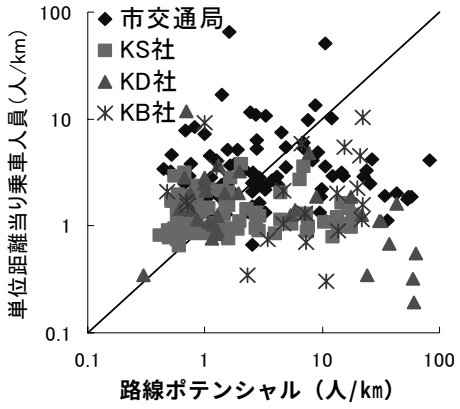
② バス停勢力圏内交通発生力に，交通発生強度を表す平均交通発生頻度，および公共輸送選択性向を表すバス分担率を乗じてバス停ポテンシャルを算出する．

③ 任意の路線の通過するバス停ポテンシャルの総和を重複数で除して路線ポテンシャルの算出を行う．

④ 各路線に含まれる路線の路線ポテンシャルをその路線の運行頻度で重み付き平均した値を算出し，一方各路線の延長を路線について運行頻度で重み付き平均した値で除して，単位距離当たりの路線ポテンシャルを算出する．

ここでは，市交通局85路線，KS社84路線，KD社41路線，KB社21路線の平成12年度路線別データを用いて各路線別の路線ポテンシャルを算出した．

まず，丁目別人口は100人を一つのドットとして当該丁目内にランダムに分散させ，それらの点をすべて2次元座標でデジタル化した人口ドットマップを作成し，バス停周り500mの居住人口，および産業別従業者数を算出する．学校在籍生徒数，病院病床数，その他公共施設利用者数は地図上の所在地をもとにして，各バス停の勢力圏人口算出のためのデータとする．交通発生強度と公共輸送選択性向については，第3回熊本都市圏パーソントリップ調査Cゾーン



図－２　需要顕在化可能性の評価結果

表－３　顕在化可能性の判別要因

説明変数	判別係数	順位
路線長（km）	0.008	3
運行回数	0.029	2
重複数	0.184	1
バス停数	-0.002	4
定数項	-1.992	
的中率（%）	72.7	

ごとの発生原単位の平均2.57（トリップ/人）とバス利用分担率の平均0.0675を用いた．

以上の手順で算出した単位距離あたりの路線ポテンシャルの推定値と当該路線の顕在化需要を示す路線単位あたりの乗車人員の実績値との比較を**図－２**に示す．平均6.82，分散204.20，最大116.67，最小0.41であった．図中の直線より上側にある路線は潜在需要を効率的に顕在化しており，下側にある路線はその逆であることを示している．路線ポテンシャルが実績乗車人員よりも低い路線が106路線，高い路線が125路線であった．

路線単位距離当り乗車人員と比較して潜在需要を顕在化しているか否かは，主として当該路線が適切なサービスを提供しているか，あるいは競合路線の存在に依存すると考えられる．そこで，路線別単位距離当り乗車人員が単位距離あたり路線ポテンシャルよりも大きい路線とそうでない路線を，路線長，バス停数，運行回数，重複数などのサービスレベルを用いて判別分析を行った．その結果を**表－３**に示す．的中率は72.7%であり，路線長が長く，運行回数が多く，重複数が多く，バス停数が少ない路線ほど潜在需要を顕在化できていないことが判明した．

３．バス路線別特性評価と路線網再編の考え方

黒字か赤字かという現在の経営状況，および前章で示した生産効率性と需要顕在化可能性という2つの評価指標を併用して，熊本都市圏のすべてのバス路線を**表－４**に示すようなA～Hの8つのカテゴリーに分類した．それぞれのカテゴリーの路線特性と，市交通局，民間バス会社ごとの路線数を示す．例えば，評価Bに属する路線は現在，黒字経営であるが，潜在需要の顕在化が十分ではないために増便や潜在需要の高い地域に経路を変更することによってより効率的な経営が可能になると思われる路線である．この評価Bに分類された路線網を**図－３**に示した．

各カテゴリーに属する各路線は，**表－４**に示すような改善策や判別分析から得られたサービスレベルの改善要因を基にして路線再編やサービス水準設定を行うことにより，単に経営指標や事業者の経験的判断だけでなく,客観的な視点から合理的に路線再編を実現することができる．

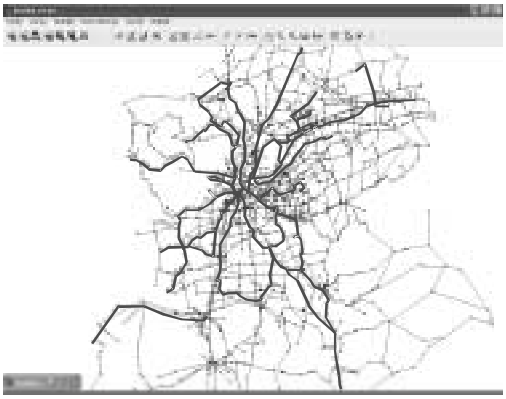
４．路線別特性評価法に基づくバス路線網の再編計画

（１）路線再編の基本的考え方と手順

熊本都市圏の現況のバス路線網は，交通センターを中心として放射状に4社が独自に系統を設定しているため，熊本市内を運行している系統だけでも約400もある．また，1路線あたりの平均運行回数は5.5本/日と停頻度である一方で，幹線の競合区間では事業者間の過剰競争が見られ，乗客の取り合いや無駄な停車時間などのために効率的な運行の妨げとなっている．そこで，都市圏総合交通計画では，バス

表－４　特性別路線分類と改善のための対応策

評価	経営状況	生産効率性	顕在化可能性	路線数		路線特性，および改善のための対応策
				市営	民間	
A	黒字	高	大	7	17	生産効率性，需要顕在可能性とも高く，このまま存続させても良い路線
B	黒字	高	小	1	20	潜在需要の顕在化が十分ではないため，増便や潜在需要の高い地域に経路を変更することによってより高い経営が可能になると思われる路線
C	黒字	低	大	9	11	生産効率性を向上するために，路線長やサービスレベルを調整することによってより経営が向上すると思われる路線
D	黒字	低	小	12	6	抜本的な路線再編，およびサービス水準改善により経営状況をより向上させることが可能と思われる路線
E	赤字	高	大	5	17	生産効率性，需要顕在化可能性ともに高いにも関わらず，経営状況は赤字であるので，地域のモビリティ確保のために補助・存続すべき路線
F	赤字	高	小	6	34	需要の顕在化可能性が小さいため，増便や潜在需要の高い地域に経路を変更すべき路線
G	赤字	低	大	20	14	生産効率性を向上するために，路線長やサービスレベルを調整すべき路線
H	赤字	低	小	15	4	抜本的な路線再編を行うか廃止の対象とする路線



図－３　評価Ｂに分類された路線網（JICA STRADA で作成）

運行の効率性を図るために，乗客が多くシャトル的サービスを行う幹線区間とアクセスサービスを行う末端区間とに分割したゾーンバスシステムの導入が検討されている．このような基本理念の基に，以下のような条件を考慮しながら路線の再編案を作成した．

1)バス停は現在設定されているものを使用し,新設しない．
2)バス事業者が所有している従業員，車両等の資産を大幅に変更せず，総走行キロは現行に近い値に設定する．
3)バス事業者内で2)が調整可能な範囲での路線再編を行う．

以上の路線再編の基本条件と考え方に従って作成した再編案の一日走行台kmを現況と比較したものを**表－５**に示す．全社合計で108％の走行台kmの増加となっている．その後, 再編された路線網に公共交通利用OD交通量を配分して路線別の単位距離当り乗車人員を予測し，この値と再編案に対して計算される路線ポテンシャルとを比較することにより，再編後の潜在需要顕在化を検討する．公共交通機関路線網への配分にJICA STRADAを用いている. 生産効率性については再編後の標準的費用を示すことにする．

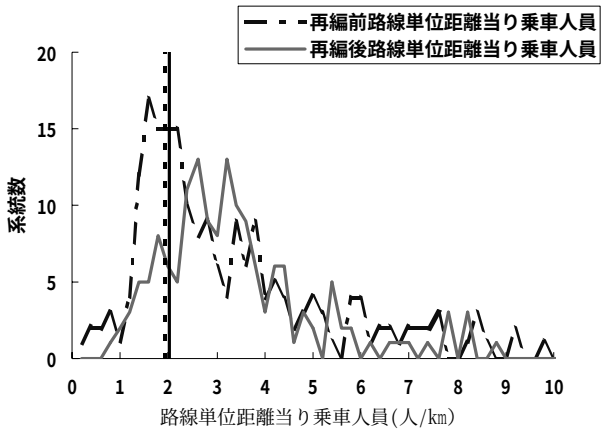
（２）路線網再編の効果分析

以下では，評価Ｂに分類された路線の再編例を示す．Ｂに分類された路線は，サービス水準を改善することによって潜在需要の顕在化をより高めることが可能になると考えられる路線である．**図－４**には，サービス水準を上げるために競合路線を考慮しながら運行回数を向上させ，かつ潜在需要があると考えられる経路に変更した系統6‐8（交通センター～水前寺駅～小峯営業所）を示す．路線再編の結果, 路線ポテンシャルは1.89から2.49に, 単位距離当り乗車人員も1.39から2.61となり, 潜在需要を乗客として顕在化することに成功した．再編後の標準的費用は4,060千円となり，この費用を超過しない運行を行うことが求められる．次に，再編前後の路線ポテンシャルと路線単位距離当り乗車人員の分布や，単位距離当り乗車人員／路線ポテンシャル，および各社ごとの標準的費用と運賃収入など，路線全体についての総合的な効果分析を行う．ここでは路線網再編前後の路線単位距離当り乗車人員の分布を**図－５**に示す．再編前には頻度の大きい領域が1.0～3.0であったものが再編後には1.5～4.0に改善され，平均値は再編前1.93から再編後2.01へと増加させることに成功している．

表－５　再編前後の走行台km

	市交通局	KS社	KD社	KB社	合計
再編後	17425.8	30366.9	10870.9	6561.8	65225.4
再編前	18058.5	27491.2	9156.4	5592.1	60298.2

図－４　系統６－８の路線再編



図－５　再編前後の路線単位距離当り乗車人員の分布

５．おわりに

生産効率性, および沿線潜在需要の顕在化可能性という2つの視点から路線別経営効率性を総合評価する方法を提案した．この方法で分類された路線の経営効率を改善するための合理的な路線再編計画手法を提案し，熊本都市圏のバス路線網に適用した結果，その実用可能性，有用性が検証された．