

路線別特性評価に基づくバス路線網再編手法の提案

溝上章志¹・柿本竜治²・橋本淳也³

¹正会員 工博 熊本大学教授 工学部環境システム工学科 (〒860-8555 熊本市黒髪2-39-1)

E-mail: smizo@gpo.kumamoto-u.ac.jp

²正会員 博(学) 熊本大学助教授 工学部環境システム工学科 (〒860-8555 熊本市黒髪 2-39-1)

³正会員 博(工) 八代工業高等専門学校助教授 (〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627)

本研究は、バス輸送の持つ平均的生産性構造と実績費用とを比較することによる当該路線の生産効率性、および路線沿線の潜在需要と実際に獲得した乗車人員との比較による潜在需要の顕在化可能性という2つの視点から、バス路線別の特性評価を行う方法を提案したものである。さらに、この特性評価法による路線の分類、および分類された路線を改善する合理的でシステマティックな路線再編方策を示す。熊本都市圏を対象として汎用交通需要予測パッケージの一つである JICA STRADA を利用し、この路線分類別の改善方策にしたがったバス路線網の再編を試みた。再編バス路線網に対して交通需要予測を行った後の路線別、および路線網全体の乗車人員や営業係数などについての効果分析を行い、本手法の実用可能性と有用性を検証した。

Key Words: bus route reorganization, transit latent demand, transit production effectiveness

1. はじめに

(1) バス事業に関する最近の情勢

乗合バスは地域の日常生活を支える公共輸送サービスの役割を担ってきた。都市部では、自動車の代替手段として、交通混雑の解消や NO_x などの環境改善に貢献しているだけでなく、若年層や高齢者などの交通弱者に対する移動手段としてもその役割は極めて重要である。地方部では地域住民のモビリティを保証する唯一の公共交通機関でもある。しかし、乗用車の利便性の向上やより利便性の高い新たな公共交通手段の導入により、全国の都市でバス利用需要の減少が深刻になっている。一方で、従来、公共性の高いバス事業は、サービス規模の維持の必要性から「免許制」による事業者数の調整（需給調整）規制が実施されていた。また、運賃は認可制であり、その基準は能率的経営の下における適正な原価を償いかつ適正な利潤を含むものであること（道路運送法第9条）という総括原価に基づく運賃であった。このように、乗合バス事業は、サービス供給規模を自由に調整するのが難しい反面でバス利用需要は低下して収益減になるという矛盾を持ち、営利サービスとしての効率性の面で非常に厳しい構造を余儀なくされている。

このような中、平成14年2月には生活路線の維持方策の確立を前提にして、需給調整規制が撤廃された。これによって、従来の認可制から、輸送の安全の確保と安定的なサービス提供、および利用者保護に関する一定以上の能力などの要件を満たすものには乗合バス事業への新規参入・退出を認める許可制になった。運賃制度についても、運輸政策審議会での答申に基づいて上限価格制の措置がなされるようになった。これによって、路線への新規参入を容易にして事業の自由競争を促すことで、バス輸送は路線沿線のニーズに応じた高サービス・低料金のシステムへ改善されることが期待される。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その沿線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。

平成13年4月からは、生活交通確保のための新しい補助制度が開始された。従来の補助対象が内部補助を前提とした事業者であったものを、新補助制度では黒字・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とするようになったのが特徴である。上記の規制緩和に加えてこの補助制度の改正により、バス事業全体ではなく、個別路線の特性把握や経営効率性の評価が今まで以上に厳し

く求められるようになったといえる。

(2) 従来の路線別評価・計画手法と本研究の目的

従来の伝統的なバス路線サービスの評価・計画手法^{1), 2), 3)}は、その数学的取り扱いや解法に幾つかのバリエーションはあるものの、基本的には総走行時間などのシステム効率性指標を最適化するような路線網や運行頻度を決定する数理最適化手法が用いられている。これらの研究では、バス路線網設定問題を設定可能リンク上で路線を敷設するか否かを0-1変数とする整数計画法によって定式化し、その解法として分枝限定法やGAによる近似解法を提案するなど、問題の定式化や解法の開発に研究の目的があったといえる。その中には、個別路線の特性を詳しく分析・評価しようという視点はあまりない。また、システム効率化の結果は、現実的でない経路網やサービス水準となることもあるなど、実際の都市圏では計算可能性や適用可能性に課題がある。さらに、利用者需要は固定であるのが一般的であり、路線網再編後のバス分担需要の変動は考慮されていない。また、このような数理的手法では、都市軸には幹線サービスを導入すると同時に主要ターミナルからは面的なフィーダーサービスを徹底するなど、その都市圏総合交通体系における公共交通サービスの基本戦略を考慮することは容易ではなかった。

これに対して、路線ごとの補助の妥当性を検討するにあたり、路線ポテンシャルという指標を用いて、名古屋市営バス路線を競争的で経営可能な企業路線と市民のモビリティ確保のためのシビルミニマム路線とに分類した竹内らの研究⁴⁾は先駆的である。路線ポテンシャルとは、経営効率性の主要な指標である営業係数(=収入/経費)を(収入/旅客キロ)・(旅客キロ/潜在沿線需要)・(潜在沿線需要/営業キロ)・(営業キロ/乗務時間)・(乗務時間/経費)に分解したとき、路線ごとに固有と見なすことができる(潜在沿線需要/営業キロ)値を示す指標である。これは、ひとたび路線が設置された後は当該路線の潜在的集客能力を示すので、路線の素質を評価する指標として有用である。しかし、補助対象路線や路線別補助額を現況の収支額をもとにして決定している点は路線ポテンシャルによる路線特性評価法と整合しない。なぜなら、収支額は顕在化した需要からの収入とサービス提供に必要な経費の差であり、その絶対額では投入や産出が効率的になされているかという生産性の程度と潜在需要量発掘のための営業努力の程度とを分離することができないからである。また、収支額の実績値は営業の結果として得られた指標であり、当該路線が持つ潜在的な能力を評価する指標と

しては適切でない。

GISを用いたバス路線網計画支援システムを構築して路線ポテンシャルと限定依存人口をシステムティックに計測し、その結果をバス路線網代替案作成に活用しようとする試みは杉尾ら^{5), 6)}によってもなされている。この研究では、路線ポテンシャルを企業経営性、限定依存人口を公共性を表す指標とし、両者の視点から個々の路線を評価・分類している。しかし、限定依存人口の定義は当該路線の廃止によって公共輸送サービスを受容できなくなる人口であるから、その値は人口密集地域に設定された路線で大きな値をとる場合もあるため、果たして人口低密地域におけるモビリティ水準などを示す公共性指標として合理的であるかは疑問である。この研究では、路線特性による分類結果を個々の路線の改善策に用いるという概念を示している点で有益であるが、実際には路線再編やサービス改善計画に適用されていない。

本研究では、各路線が本質的に持つ素質によって路線を評価・分類し、その結果を路線網代替案作成の基礎資料にするという竹内らや杉尾らの考え方を踏襲するが、営業係数を構成する生産効率性と潜在需要の顕在化可能性という2つの視点から個々の現況バス路線の路線特性を評価・分類する方法、およびその特性に即した改善案を個別路線に実施することによって路線再編を行う合理的なバス路線網代替案提示手法を示す。2.ではバス輸送の持つ平均的な生産性構造と実績費用とを比較することによる当該路線の生産効率性、および路線沿線の潜在需要と実際に獲得した乗車人員との比較による潜在需要の顕在化可能性という2つの視点から路線別の特性評価を行う方法を提案する。3.では、この路線別特性評価法による路線分類、および分類された路線を改善する合理的でシステムティックな路線再編方策を示す。4.では汎用交通需要予測パッケージの一つであるJICA STRADAを利用し、この路線分類別の改善方策にしたがって熊本都市圏バス路線網の再編を試みる。さらに、5.では、再編バス路線網に対して交通需要予測を行った後の路線別、および路線網全体の乗車人員や営業係数などについての効果分析を行い、本手法の実用可能性と有用性を検証する。最後に、6.では本手法を実用化するに当たっての課題を明らかにする。

従来の同様の研究と比較して本研究が持つ有用性は以下の点である。

- 1) バス路線ごとの経営状況を、費用と収入の両方に対する素質の達成度によって評価している。
- 2) 路線別に経営改善の方策を示すことができる。

3) 路線別特性評価と改善方策に基づいて実際の都市圏バス路線網の再編を行い、その効果を分析するまで実用可能なシステムにしている。

路線別特性評価と路線網再編計画の対象は熊本都市圏のバス路線網であり、熊本市交通局、およびKA、KB、KC社という3つの民営バス企業による約400系統で構成されている。需給調整規制の撤廃後も際だった路線の新規参入・退出や料金の改訂はないが、需要の少ない路線の統廃合や運行頻度の削減などは進行している。また、上記の4バス輸送事業者の総料金収入の約40%を占める大手民間バス企業が実質的な債務超過に陥っており、今後、産業再生機構の支援を得て再建するために大幅な路線再編が実施されると思われる。

ここで、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い、以下では系統と区別して用いる。

2. 路線再編のための路線別特性評価の方法

(1) 路線別特性評価指標

従来、路線ごとの特性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、当該路線の持つ潜在的な資質を評価している訳でない。また、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経費を要しているために生じているのか、または経費に対して収入が少ないために生じているのかの判別ができない。そこで、本研究では図-1に示すように、

1)バス輸送システムの平均的生産性と比較して当該バス路線の生産性水準はどの程度である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というの2つの視点から路線別特性の評価を行う。

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。この費用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。この標準的費用と実績費用とを比較することによって当該路線の生産効率性の程度を評価するというものである。

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。各路線の持つ潜在集客能

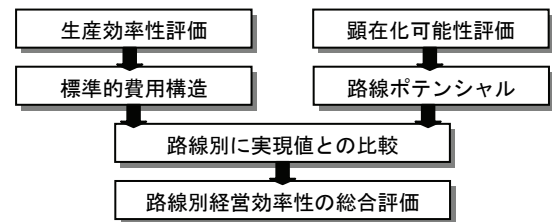


図-1 路線別特性の評価手法

力を表す路線ポテンシャルを後述の方法で推計する。この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の程度を評価する。

(2) 費用関数を用いた路線別生産効率性指標

a) トランスログ型費用関数

企業の生産構造を分析するために、生産関数の双対関数であり、生産理論と整合的な費用関数を分析するという手法が開発されてきた。特に、公益事業の分野で、トランスログ型費用関数を用いることによって規模の経済性などの生産構造を直接的に推定するという試みがなされている。

トランスログ型費用関数は、生産要素価格 P_i ($i=1, \dots, n$) と産出量 Q_i ($i=1, \dots, m$) の関数であり、前もって関数形を特定化することなく、生産構造特性を推定パラメータ値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。一般形は費用関数の2次のテーラー展開によって得られ、次式のように表される。

$$\begin{aligned} \ln C = & \alpha_0 + \sum_i^m \alpha_i \ln Q_i + \sum_j^n \beta_j \ln P_j \\ & + \frac{1}{2} \sum_i^m \sum_i^m \delta_{ij} \ln Q_i \ln Q_j + \frac{1}{2} \sum_j^n \sum_j^n \gamma_{ij} \ln P_i \ln P_j \\ & + \sum_i^m \sum_j^n \rho_{ij} \ln Q_i \ln P_j \end{aligned} \quad (1)$$

各バス輸送企業の費用関数を推定する際の説明変数には、産出物 Q_i として乗車人員 J と走行台キロ S を、投入要素価格 P_j としては総費用の構成比率の上位から、労働費 W (円/人)、工事費 R (車両修繕費と減価償却費の合計で円/台)、燃料費 F (円/kl) を使用した。このとき、産出量と投入要素価格それぞれについての対称性、および総費用の投入要素価格に対する1次同次条件を考慮すると、最終的に費用関数は以下ようになる。

$$\begin{aligned} \ln C - \ln F = & \alpha_0 + \alpha_J \ln J + \alpha_S \ln S \\ & + \beta_W \ln W (\ln W - \ln F) + \beta_R \ln R (\ln R - \ln F) \\ & + \delta_{JJ} (\ln J)^2 / 2 + \delta_{JS} \ln J \ln S + \delta_{SS} (\ln S)^2 / 2 \\ & + \gamma_{WW} (\ln W - \ln F)^2 / 2 \\ & + \gamma_{WR} (\ln W - \ln F) (\ln R - \ln F) \\ & + \gamma_{RR} (\ln R - \ln F)^2 / 2 \\ & + \rho_{WJ} (\ln W - \ln F) \ln J + \rho_{RJ} (\ln R - \ln F) \ln J \end{aligned}$$

$$+ \rho_{WS} (\ln W - \ln F) \ln S + \rho_{RS} (\ln R - \ln F) \ln S \quad (2)$$

一方、総費用に対する労働と工事と燃料の費用シェア関数は、それぞれ次式で表される。

$$S_W = \beta_W + \gamma_{WW} (\ln W - \ln F) + \gamma_{WR} (\ln R - \ln F) + \rho_{WJ} \ln J + \rho_{WS} \ln S \quad (3)$$

$$S_R = \beta_R + \gamma_{RR} (\ln W - \ln F) + \gamma_{RR} (\ln R - \ln F) + \rho_{RJ} \ln J + \rho_{RS} \ln S \quad (4)$$

$$S_F = \beta_F + \gamma_{FF} (\ln W - \ln F) + \gamma_{FR} (\ln R - \ln F) + \rho_{FJ} \ln J + \rho_{FS} \ln S \quad (5)$$

費用シェアの和は 1.0 という制約による冗長性をなくすために、パラメータ推定の際は、費用関数式(2)と燃料に関するシェア関数(5)を除いた費用シェア式(3), (4)を用いた。また、これら複数の方程式体型の回帰モデルを同時推定するために、3段階最小2乗法を用いた。トランスログ型費用関数の特性については付録1や参考文献7)を参照されたい。

b) 推定結果とその考察

費用関数を推定するためのデータは企業ごとの平成5年から平成13年の時系列データであり、投入要素価格と総費用についてはH12年を100としたデフレーターで除してH12年価格に基準化している。産出量には年間の乗車人員と走行距離のデータを用いている。路線別のクロスセクションデータではなく企業全体の時系列データを用いるのは、バス輸送企業ごとの平均的な費用構造を示す長期費用関数を推定するのが目的であるからである。データの詳細については付録2を参照されたい。各社ごとの費用関数の推定結果を補表-2に示す。各社とも説明変数のパラメータのt値はおおむね高く、残差平方和も小さいので、統計的な回帰式の当てはまりも良いといえる。DW比はいずれも2.0に近い値を示しており、残差系列にみられる規則性はないといえる。

次に、各パラメータに関する簡単な検討を行う。産出量に対するパラメータ α_J, α_S を見てみると、市交通局では、乗車人員の増加に伴って総費用は増加するという構造になっている。民間企業のKA社とKB社では、乗車人員が減少し、走行台キロが増加するほど総費用が増加するのに対して、KC社はこれとは逆の構造となっている。ただし、式(2)からも分かるように、これらの変数は単独で総費用に影響するのではなく、その他の変数との組み合わせで影響を及ぼす。次に、投入要素価格に対するパラメータ $\beta_W, \beta_R, \beta_F$ について見てみると、各社ともにそれぞれの投入要素価格を増加させるとコストも増加するという構造になっている。このように、運行主体ご

と異なる生産構造を持っており、特に公営か民営かによってその構造がかなり異なることが分かる。これらの生産構造特性についての詳細な分析は他に譲る。

(3) 路線ポテンシャルを用いた路線別潜在需要の顕在化可能性指標

路線ポテンシャルとは需要に対する各路線の素質とでもいうべきもので、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て当該バス路線が獲得可能な潜在需要を表す。ここで言う潜在需要とは、当該路線の沿道から発生する可能性のあるトリップ数の最大値ではなく、路線の設定ルートやその延長、路線上のバス停の位置とその数などの物理的・地理的要因などが決められれば、当該路線の沿線から獲得可能な標準的バス利用需要である。ここでは竹内らの方法を参考にして、自宅ベースの居住人口に基づく住居地系ポテンシャルに加えて、非自宅ベースの各産業従業者数に基づく業務地系ポテンシャル、学校の在籍生徒数に基づく文教ポテンシャル、病院の病床数に基づく医療ポテンシャル、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ポテンシャルを足し合わせて路線ポテンシャルとする。ここでは、路線ポテンシャルを簡便に推計することを目的として、各種ポテンシャルの重みは全て1.0とした。したがって、本研究の路線ポテンシャルは、重み係数そのものを試行錯誤的に設定する竹内らの定義とは異なっている。このようにして推計された路線ポテンシャル値は、ルート上のゾーンの交通発生強度と公共輸送選択性向によって平均化されるため、適切な値の重み係数を用いた場合と大きな差が生じることは無いと考えられる。

路線ポテンシャルの計測は、図-2に示すように4つの段階を経て行われる。

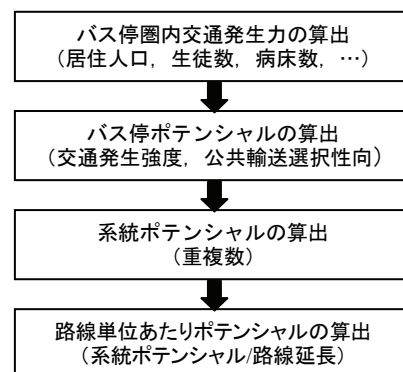


図-2 路線ポテンシャルの算出法

1) バス停勢力圏内の交通発生力の算出を行う。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、住居地系ポテンシャルの他に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的交通発生頻度と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) 任意の系統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系統ポテンシャルの算出を行う。

4) 各路線に含まれる系統の系統ポテンシャルをその系統の運行頻度で重み付き平均した値を各系統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。

3. バス路線別特性評価と路線網再編の考え方

(1) 系統別生産効率性評価

費用関数は時系列データを用いて推定されているので、各社の長期費用関数といえる。この関数に路線網再編年度の路線別の説明変数データを代入することにより、当該路線にかかる総費用の標準値を推計することができる。このとき、投入要素価格については全ての路線に対して H12 年基準価格を用いれば良い。一方、産出量の路線別データ値は推定時の値域とかなり異なるのでそのまま代入できない。そこで、予め事業者ごとに総走行台キロと乗車人員に対する各路線の両者の比（拡大率）の間の回帰式を求めておき、各路線の総走行台キロをその年の総走行距離に等しくなるように拡大すると同時に、乗車人員についても回帰式から推計される拡大率で拡大した値を代入した。

この推計値と路線ごとの総費用の業務実績値と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。推計値は回帰推定値であるから、実績値との差の有無は、本来、統計的に検定されるべきであるが、ここでは両者の値を単純に大小比較する。ここでは、H12 年度の市交通局 76 路線、KA 社 84 系路線、KB 社 47 路線、KC 社 21 路線、合計 228 路線に対して生産効率性の評価を行った。各社ごとの各路線の業務実績費用と推計費用の比較、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（生産効率性が低い）が 113、低コスト構造である路線（生産効率性が高い）が 115 であった。民間企業では低コストで運行されている路線が多いこと、市交通局では黒字であっても高コスト構造である路線が多いことも分かる。

表 1 生産効率性の評価結果

生産効率性	市交通局		KA社		KB社		KC社	
	高	低	高	低	高	低	高	低
黒字路線	12	16	31	15	4	4	7	14
赤字路線	11	37	30	8	20	19		
計	23	53	61	23	24	23	7	14

注) KC社については営業状況データが入手できなかった

表 2 生産効率性の判別要因

説明変数	判別係数	F値
路線長 (km)	-0.091	15.1
運行回数 (本/日)	0.034	5.4
重複数	-0.081	11.9
単位距離当たりバス停数	0.250	3.9
バスセンター発着ダミー	0.372	1.4
定数項	0.660	
的中率 (%)	73.6	

標準的な費用よりも実績費用が大きい路線か否かは、路線長や運行回数など、設定された路線の物理的特性と提供されているサービス水準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、重複数などの特性変数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、単位距離当たりのバス停数が多い系統ほど、標準的費用より低コストで運行できている。ここで、運行回数とは一日の運行回数（本/日）、重複数とは通過ノード数が全線の 70.0% 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策に活用される。

(2) 路線別潜在需要の顕在化可能性評価

丁目別人口は 100 人を一つの点として当該丁目内にランダムに分散配置させ、それらの点をデジタル座標化した人口ドットマップを用いて、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 ゾーンごとの発生原単位の平均 2.57 (トリップ/人) とバス分担率の平均 0.0675 とした。各社、系統の乗車人員、走行距離は年間のデータであるから、運行頻度なども年間の値に補正して使用している。

上記 228 路線を対象として、算出した単位距離あたりの路線ポテンシャル値と単位距離あたり乗車人

員の実績値との比較を図-3に示す。両者の値の大小がそのまま潜在需要の顕在化可能性の有無を表しているわけではないが、図中の直線に対して上方にあるものは相対的に潜在需要を効率的に顕在化しており、下方にあるものは顕在化していない路線を示すことになる。路線ポテンシャルが実績乗車人員よりも低い路線が116、高い路線が112であった。

路線単位距離あたり乗車人員と比較して潜在需要を顕在化できているか否かは、主として当該路線の提供しているサービス水準や競合路線の存在に依存すると考えられる。そこで、路線別単位距離あたり乗車人員が路線ポテンシャルよりも大きい系統とそうでない系統を、路線長、バス停数、運行回数、重複数などの特性変数を用いた判別分析で判別する。その結果を表-3に示す。路線長が長く、運行回数が多く、重複数が多く、単位距離当たりのバス停数が少ない系統ほど、潜在需要を顕在化できていないことが判明した。これらの結果も後述する路線再編のための方策に活用される。

(3) バス路線別特性評価と路線網再編方策

黒字か赤字かという現在の経営状況、および生産効率性と潜在需要の顕在化可能性という2つの評価指標を併用して、熊本市圏のすべてのバス路線を表-4に示すA~Hの8つのカテゴリーに分類した。各カテゴリーに分類される路線網を図-3(A)~図-3(H)に示す。例えば、Aのカテゴリーに属する路線は現在、黒字経営であり、生産効率性、潜在需要の顕在化可能性ともに高い優良路線群を示す。カテゴリーEは生産効率性、潜在需要の顕在化可能性とも高いにもかかわらず赤字を余儀なくされている路線群であり、沿道住民のモビリティ確保のために路

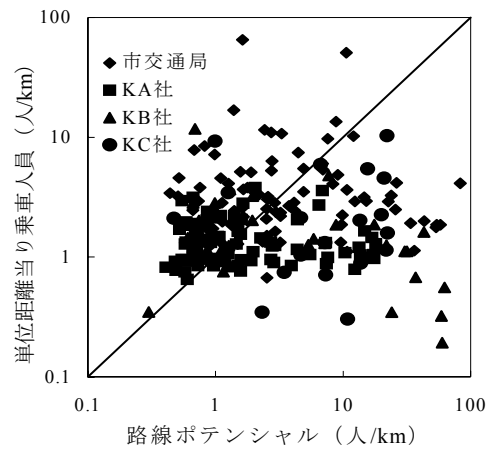


図-3 潜在需要の顕在化可能性の評価結果

表-3 顕在化可能性の判別要因

説明変数	判別係数	F値
路線長 (km)	0.047	5.8
運行回数 (本/日)	0.050	5.5
重複数	0.037	7.6
単位距離当たりバス停数	-0.184	2.2
バスセンター発着ダミー	-0.263	0.8
定数項	0.618	
的中率 (%)	67.8	

線を維持するために公的補助を投入する合理性の論拠を持つ路線といえる。

この表からは、先の判別分析から得られた路線の再編やサービス水準の改善方策をカテゴリーごとに知ることができる。たとえば、生産効率性は高いものの潜在需要の顕在化可能性が小さいカテゴリーBの路線群は、路線の重複を小さくするなどのサービス水準の適正化や潜在需要の高い地域にルートを変

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	10	16	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	2	19	潜在需要の顕在化が十分ではないため、重複を少なくしたり潜在需要の高い地域に経路を変更したりすることによって、より高い経営が可能になると思われる路線
C	黒字	低	大	11	15	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	6	4	抜本的な路線再編、およびサービス水準の改善により、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	7	18	生産効率性、需要顕在可能性ともに高いにもかかわらず、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	5	32	需要の顕在化可能性が小さいため、重複度や運行頻度の適正化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	19	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などを調整すべき路線
H	赤字	低	小	16	10	抜本的な路線再編を行うか廃止の対象とする路線

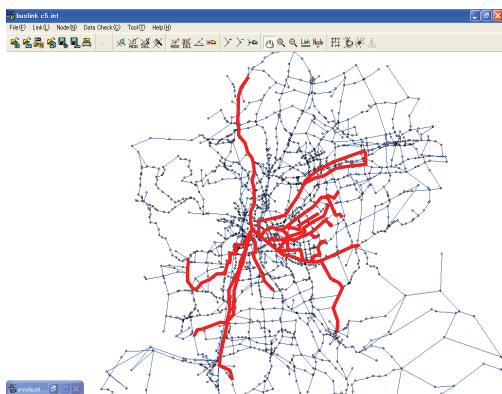


図-4 (A) 評価 A の路線

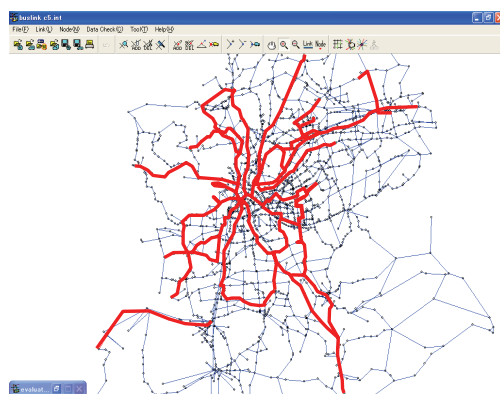


図-4 (B) 評価 B の路線

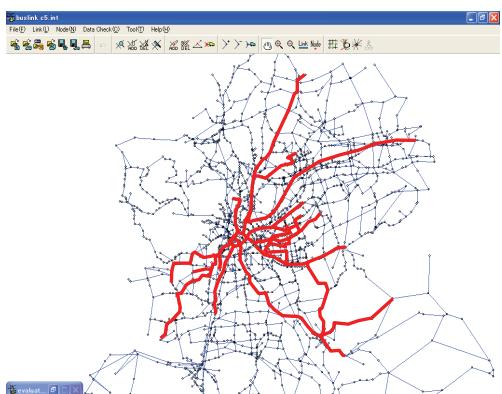


図-4 (C) 評価 C の路線

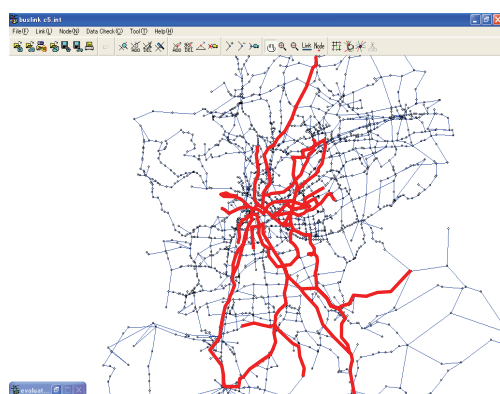


図-4 (D) 評価 D の路線

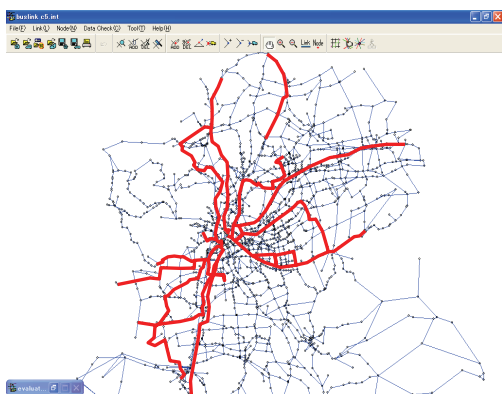


図-4 (E) 評価 E の路線

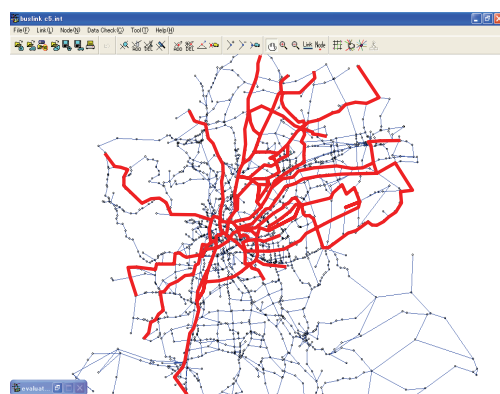


図-4 (F) 評価 F の路線

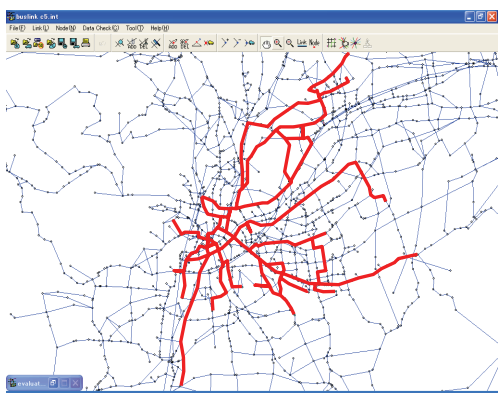


図-4 (G) 評価 G の路線

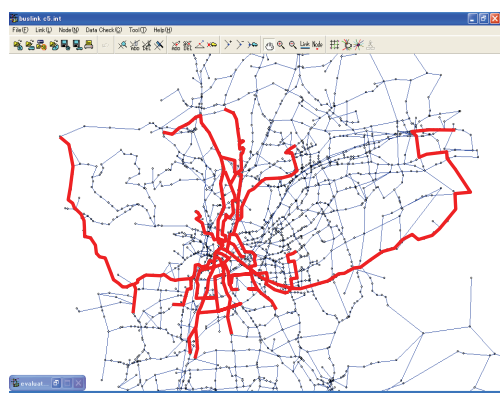


図-4 (H) 評価 H の路線

更することによって、より経営効率を高めることが可能である。これらの情報は、これまで事業者の経験的判断のもとで極めて恣意的に行われてきた路線再編計画を、より客観的、かつ合理的に行うことを可能にする。

4. 路線別特性評価に基づくバス路線網再編

(1) JICA STRADA を用いた路線別需要の予測

a) JICA STRADA 概説

路線網再編を行った後の効果を分析するためにはバス路線別輸送需要の予測が必要である。ここでは、国際協力事業団（JICA）が交通需要の予測と計画に関する効果的な技術移転を実現するために開発した交通需要推計汎用プログラムパッケージ JICA STRADA を用いた。

JICA STRADA は図-5に示すような画面对応型ユーザーインターフェイスを持っており、視覚的に入力と出力を確認しながら交通需要の予測・評価を実施することができる。伝統的な4段階交通需要推計法を支援する25個のサブプログラムから構成されるが、そのいずれを使用するかはユーザーの使用目的に合わせて自由に決定できる。本研究では、自動車と公共交通機関との機関分担需要は路線再編後も変動しないと仮定し、公共交通需要配分に関連する Network Editor（道路ネットワーク作成・編集）、Transit Line Editor（公共交通網作成・編集）、Equilibrium Assignment（自動車利用者配分）、Parameter Editor（公共交通利用者配分に関する各種パラメータ設定）、Transit Assignment（公共交通利用者配分）、Transit Reporter（公共交通利用者配分結果のレポート）を使用した。

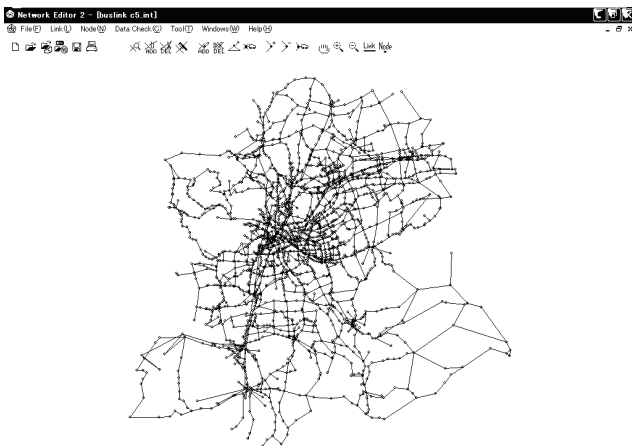


図-5 JICA STRADA の画面对応型インターフェイス

従来の都市圏規模の公共交通機関利用需要の配分計算では、公共交通機関の路線が通過する道路区間を繋いで構成されるネットワーク上で、OD間最小コスト経路にすべてのOD交通量を配分するといった簡便な方法をとるのが一般的である。この方法では個々の路線を区別できないため、公共交通機関相互の乗り換え抵抗や重複路線間の競合など、公共交通機関の配分需要に影響を与える要因を十分に考慮することができない。これに対して、JICA STRADAは鉄道やバスなどの公共交通機関別の路線をネットワーク上で個別に設定できること、設定した公共交通機関利用経路の中から一般化時間が小さい順に複数の利用可能経路に公共交通機関利用OD交通量を配分することが可能であるなどの利点があり、より現況再現性の高い公共交通利用者配分を行うことができる。さらに種々の効果分析に利用できるように、台キロや台時間、乗客数、人キロ、人時間、平均トリップ長、平均支払料金などがアウトプットとして算出される。

b) 公共交通機関ネットワークデータの作成と系統別乗車人員の予測精度

対象地域は熊本都市圏(熊本市と周辺の16市町村)、ゾーンはH9年度第3回熊本都市圏パーソントリップ調査Cゾーン177であり、配分するのは鉄道と市電とバスの利用OD交通量である。道路網ネットワークはリンク数3,070、ノード数2,386であり、その上に公共交通機関としてバス231系統を設定した。さらに、軌道系としてJRを3系統(鹿児島本線、豊肥本線、三角線)、市営路面電車を2系統(田崎橋～健軍町、上熊本駅前～健軍町)、熊本電鉄を2系統(上熊本～北熊本、藤崎宮～御代志)設定している。前述したとおり、系統とはバス路線網を構成する最小単位であり、出発地から到着地までの運行ルートである。一方、重複区間が長く経路が類似した系統や

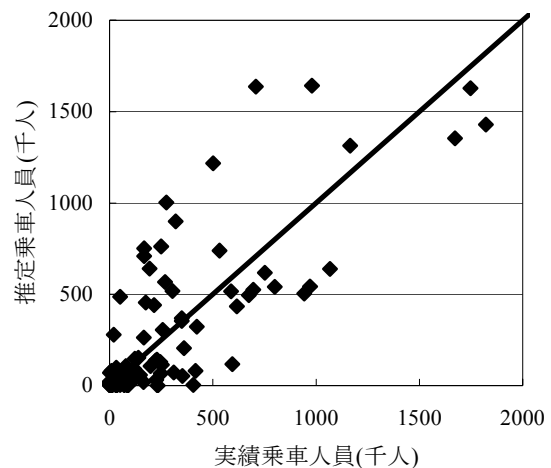


図-6 路線別乗車人員の現況再現性

運行管理上、統一的に扱う系統を統合したものが路線である。系統を路線に統合する方法については付録3を参照されたい。

上記を入力データとし、乗車人員について、JICA STRADA による配分結果の現況再現性を検証した。図-6に実績値と推定値の散布図を示す。相関係数は0.80、F値は2.0となり、現況再現性は高いといえよう。

(2) 路線網再編案の設定

熊本都市圏では、都心の交通センターを中心にして4バス輸送企業各社が固有のテリトリー内に独自に放射状の系統を設定している。そのために、熊本市内だけでも400以上の系統がある上、目的地への利用可能な系統が分かりにくい路線網となっている。また、1系統あたりの平均運行回数は非常に小さい一方で、競合区間では事業者間の過剰な競争に起因する乗客の取り合いや無駄な停車時間が生じるなど、効率的な運行の妨げとなっている。そこで、第3回熊本都市圏パーソントリップ調査では幹線バスとフィーダーバスにより運行効率を図るゾーンバスシステムの形成が提案されている。このような総合交通体系の基本戦略を満足させ、かつ、以下のような条件を考慮しながら、路線網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、新設はしない。
- 2) バス事業者が所有している従業員や車両等の資源を大幅に変更することなく、総走行キロも現行に近い値になるように設定する。
- 3) 2)が調整可能な範囲でバス事業者間でも路線再編を行う。市交通局のシェアは極力、増さない。
- 4) ルートの変更によって路線空白地域ができないようにする。

JICA STRADA によって制御可能な変数は各路線のルートと運行頻度であり、これらを都市圏のバス輸送サービス現況に詳しい専門家と協議しながら、手作業ではあるものの、表-4に示された路線分類別の改善策に基づいてシステムティックに設定した。作成した再編網案の一日走行台キロを現況と比較したものを表-5に示す。総走行台キロは合計で約8%の増加である。再編された路線網に対して JICA STRADA を用いて公共交通利用 OD 交通量を配分し、路線ごとに単位距離当り乗車人員の予測値を求め、この値と再編案に対して計算された路線ポテンシャルとを比較することによって再編後の潜在需要の顕在化可能性を評価する。生産効率性については、再編後の適正費用としての路線別標準的費用を示すことになる。

表-5 路線網再編前後の走行台km

	市 交通局	KA社	KB社	KC社	合計
再編前	18058.5	27491.2	9156.4	5592.1	60298.2
再編後 (率)	17425.8 (96.5)	30366.9 (110.4)	10870.9 (118.7)	6561.8 (117.3)	65225.4 (108.2)

(3) 路線再編後の考察

a) 再編後の路線別評価例

ここでは、路線評価カテゴリーBとE、Fに属する特徴的な路線についての再編案を示し、再編後の路線ポテンシャルと単位距離あたり乗車人員、および生産効率性の適正值である標準的費用の推計結果を示す。ただし、単位距離あたり乗車人員などは、周辺の他路線のルートや運行頻度の変更にも影響を受けるので、当該路線だけの再編効果というわけではない。

1) 評価カテゴリーB

評価カテゴリーBに分類された系統は、生産効率性は高く、黒字経営を行ってはいるが、潜在需要の顕在化が十分でない路線群である。したがって、潜在需要のある経路へルート変更を行ったり、サービス水準の適正化を行ったりすることによって潜在需要を顕在化させる必要のある路線である。この例として、小島～川口線、三角線、6-8系統（交通センター～水前寺駅～小峯営業所）の結果を示す。

小島～川口線は熊本市西部を運行する系統であり、運行頻度を現況より1.7倍に増便することによって、路線ポテンシャルは0.80から1.06へ増加したが、単位距離あたり乗車人員も0.70から1.19まで増加した。潜在需要を十分には顕在化できていなかった路線が運行頻度の適正化によって潜在需要を顕在化できるようになったことが分かる。このときの標準費用は3,990千円であり、生産効率性を維持するためにはこの額を超えないような運行管理が求められる。

一方、三角線は再編前の路線ポテンシャルが1.97もあるが、JR宇土駅からJR三角駅まではJR三角線と競合しているためにその潜在需要の顕在化が困難な系統の典型的な例である。運行頻度を現況より1.7倍に増便してサービス水準の向上を図ったが、路線ポテンシャルを上回るような潜在需要の顕在化はできなかった。しかし、再編後には単位距離当り乗車人員の値が倍増した。標準的費用は7,855千円となる。

6-8系統については、図-7の実線のような経路に変更した。実線上には熊本県庁や熊本工業高校といった潜在需要が高い施設がある。その結果、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、この費用を超えないような運行管理が求められる。

2) 評価カテゴリーE

評価カテゴリーEに分類された系統は、生産効率性、潜在需要の顕在化可能性ともに高いにもかかわらず赤字経営を強いられている路線であり、沿道住民のモビリティ確保のために路線を維持するための公的補助を投入する合理的な論拠を持つ路線群といえる。これらの系統は、評価カテゴリーAに属する路線群と同様に基本的には再編を行わなくてもよい。しかし、他の評価カテゴリーに属する路線の再編によって変更を余儀なくされるものもある。これらの例として8-14系統（交通センター-城西高校）、鹿4E（交通センター-託麻市民センター-木山）、東4系統（自衛隊環状）の結果を示す。8-14系統は再編前とルートと運行頻度に変更はないが顕在化可能性は高い値を維持している。このときの標準的費用は17,593千円である。東4系統は運行頻度が非常に高い幹線系統であり、ルートの一部が重複している他路線の廃止や運行頻度の適正化によって路線ポテンシャルは0.27から0.72へ、路線単位距離当り乗車人員も0.96から1.58に増加した。標準的費用は49,635千円である。鹿4Eは評価カテゴリーFに属する鹿4Bと統合することによって運行頻度を1.7倍に増便させた。その結果、路線ポテンシャルは0.37から0.85、路線単位当り乗車人員も0.75から1.13へと増加した。標準的費用は12,493千円である。

3) 評価カテゴリーF

このカテゴリーに分類されている系統は、生産効率性は高いものの、潜在需要の顕在化可能性が小さいために赤字となっている路線群であり、サービス水準を適正化して潜在需要を顕在化させるか、あるいは路線からの撤退も考慮すべき系統である。例として、北1AK（交通センター～富の原～菊池温泉）の運行回数を現況の2.0倍に増便した結果を示す。再編後の路線ポテンシャルは1.36から1.25に低下したが、単位距離あたり乗車人員は1.13から1.59に向上し、潜在需要の顕在化可能性が大きく改善された。標準費用は87,096千円である。また、県16系統（交通センター～県庁～熊本空港）は、図-8に示すように評価カテゴリーHに属する東5系統（中島五丁～健軍～木山産交）に統合し、県庁を経由して熊本空港を終点とする経路に変更した。その結果、路線ポテンシャルは0.31から0.82へ、単位距離当り乗車人員は0.30から0.94に増加し、潜在需要の顕在化に成功している。

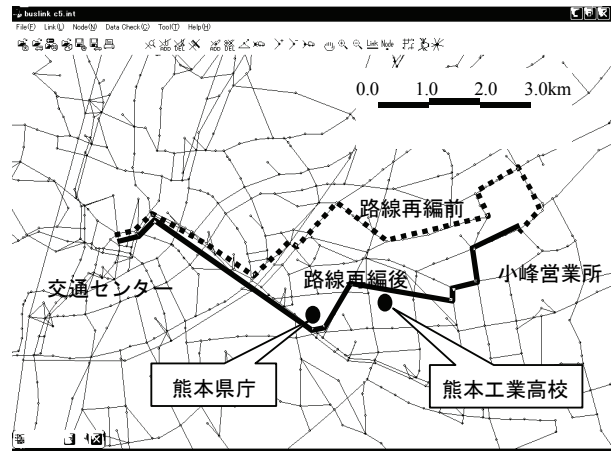


図-7 6-8系統の経路変更例

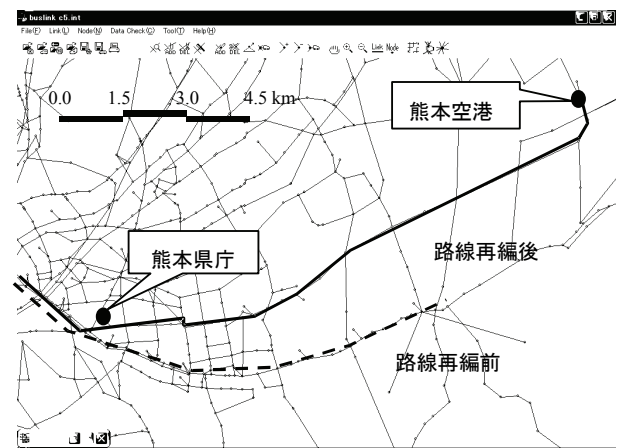


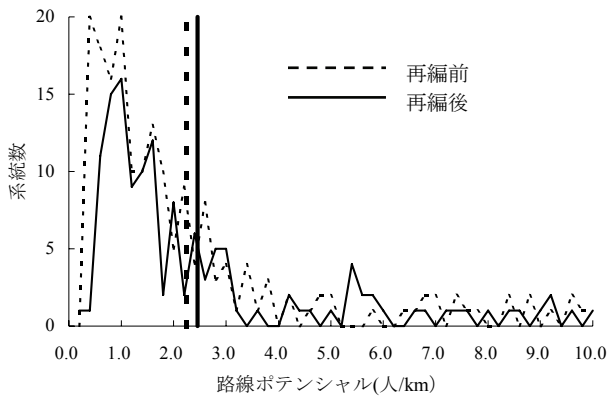
図-8 東5系統の経路変更例

b) バス路線網再編後の効果

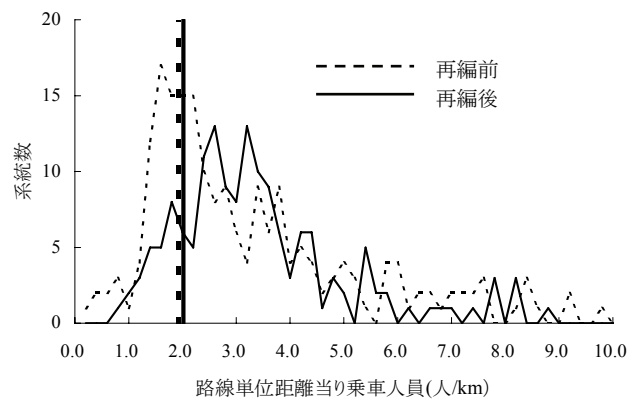
a) では、カテゴリー別に特徴的な系統別に再編後の効果を検討してきた。ここでは、再編前後の路線ポテンシャルと路線単位距離当り乗車人員の分布、単位距離当り乗車人員を路線ポテンシャルで除した値、および各社ごとの標準的費用と運賃収入についての総合的な効果の検討を行う。

まず、系統網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を図-9、図-10に示す。路線ポテンシャルは再編前に2.25であった平均値は再編後には2.46となり、9.3%も増加した。一方、路線単位距離当り乗車人員の平均値は、路線ポテンシャルのそれほど大きくないものの、再編前の1.93から再編後には2.01になり、4.1%増加している。

再編前後の各企業の標準的費用とSTRADAのアウトプットから得られる料金収入を表-6に示す。KC社とKA社では路線再編による料金収入の増加に比べて標準的費用が増大し、必ずしも企業経営を改善



図一 九 再編前後の路線ポテンシャル



図一 一 〇 再編前後の単位距離当たり乗車人員

表一 六 再編前後の標準費用と推定収入

	市交通局		KA 社		KB 社		KC 社		合計	
	前	後	前	後	前	後	前	後	前	後
標準費用	2,411	1,527	1,475	773	1,279	1,976	494	598	5,660	4,876
料金収入	1,339	1,220	1,999	1,943	737	746	329	355	4,405	4,265
営業係数	1.80	1.25	0.74	0.40	1.74	2.65	1.50	1.68	1.28	1.14

することはできないという結果になった。しかし、路線再編を集中的に行った市交通局と KA 社では料金収入には現況から改善はあまり見られないものの、標準的費用がかなり減少することから、適正な運行管理を行えば効率的な企業経営が可能となることを示している。これらの結果は普遍的なものではなく、設定した路線網再編案によって異なることから、これらの結果を参考に試行を繰り返すことによってより目的に沿った再編案を提案することは可能となるであろう。

5. おわりに

以下に、本研究で得られた主な結果と今後の課題を併記する。

- 1) 生産効率性、潜在需要の顕在化可能性という 2 つの視点から個々のバス路線の特性を評価する方法を提案した。両者の評価視点と現在の経営状況をもとに、現行路線を 8 つのカテゴリーに分類し、カテゴリー特性に適した改善策を提示した。また、この方法を用いてバス路線網の合理的な再編計画を行うシステムを提案した。
- 2) 実績値が公表されていない会社の路線別の総費用や走行距離、乗車人員などのデータについては、類似した路線の物理的属性データによる回帰分析や公

表されている合計値の按分などによって推計せざるを得ない。路線別特性評価に用いるデータそのものが推定値とならざるを得ない状況では、分析結果はより多くの誤差を含むことは自明である。本来、これらには実績値を用いるべきであり、路線別のポートフォリオとなる各種基礎データの正確な記録と公開が必要である。

- 3) 生産効率性の評価は、経年データを用いて特定化された長期費用関数による標準的費用と実績費用との大小比較によってなされた。しかし、標準的費用は回帰推定値であるから、実績費用との大小の差の有無は、たとえば α パーセントの信頼区間などによる統計的な検定がなされるべきであろう。

- 4) 同様に、潜在需要の顕在化可能性は路線ポテンシャルと単位距離あたり乗車人員の実績値との単純比較によってなされた。しかし、両者の絶対値の大小がそのまま潜在需要の顕在化可能性の有無を表しているわけではない。標準化を行うなどして相対的に比較可能な指標にするなどの改善も必要である。

- 5) このように、本手法は生産効率性と潜在需要の顕在化可能性についての比較指標値と実績値との相対的な比較によってなされているに過ぎない。しかし、両指標は、特性別の路線分類、およびそれに整合した改善のために採るべき方策に対して十分に活用できる情報を含んでいる。

- 6) 本手法では、従来の勘や経験的な判断による路線

補表－１ 路線別の年間走行距離，年間乗車人員，総費用の推計モデル

	KA 社			KC 社		
	年間走行距離	年間乗車人員	総費用	年間走行距離	年間乗車人員	総費用
定数項	76440.4 (1.93)	84470.5 (1.95)	-3.53E+07 (1.10)	-748.6 (1.19)	63754.0 (3.96)	1.57E+07 (3.61)
走行距離 (km/日)	370.2 (4.81)	144.2 (7.05)	2.34E+06 (1.91)	384.6 (19.3)	89.8 (8.78)	81.8 (4.11)
運行回数 (本/日)			1.98E+06 (2.64)			
台時間 (時)			4.81E+05 (0.93)			
重相関係数	0.67	0.90	0.93	0.95	0.81	0.54
F 値	4.60	2.13	3.77	1.48	8.89	1.98

補表－２ 費用関数の推定結果

		市交通局		KA 社		KB 社		KC 社	
		推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値	推定値	t 値
$\ln Q_i$	α_0					-0.101	9.94	-0.118	6.43
	α_j	0.883	3.29	-1.557	4.52	-2.630	3.26	1.544	7.14
	α_s			2.326	6.20	5.364	18.4	-0.791	2.58
$\ln P_j$	β_W	0.859	49.2	0.709	73.7	0.807	24.6	0.828	21.3
	β_R	0.084	71.0	0.193	29.9	0.101	37.9	0.072	39.7
	β_F	0.057	86.9	0.098	30.8	0.091	49.6	0.101	39.7
$\ln Q_i \ln Q_j$	γ_{WW}			0.407	1.84	0.207	6.54	0.089	1.85
	γ_{RR}	0.046	2.13	0.278	2.37	0.076	8.06	0.063	9.96
	γ_{FF}	0.038	3.53	0.094	3.09	0.135	5.06		
	γ_{WR}			-0.296	1.98	-0.074	6.35	-0.082	5.75
	γ_{WF}					-0.133	4.80		
	γ_{RW}	-0.029	2.32					0.019	2.05
$\ln P_i \ln P_j$	δ_{JJ}					233.3	24.0	75.06	9.85
	δ_{SS}					446.7	17.6	207.9	10.2
	δ_{SS}					-314.3	4.23	-123.1	4.53
$\ln Q_i \ln P_j$	ρ_{WJ}	0.165	3.82			-0.483	3.03	0.173	2.31
	ρ_{RJ}	-0.096	3.66					-0.069	2.06
	ρ_{FJ}	-0.069	3.53			0.359	3.55	-0.104	2.01
	ρ_{SW}	-0.165	3.82			0.483	3.03	-0.173	2.31
	ρ_{SR}	0.096	3.66					0.069	2.06
	ρ_{SF}	0.069	3.53			-0.359	3.55	0.104	2.01
式(2)	残差平方和	0.0011		0.0043		0.0006		0.0076	
	DW 比	20.6		2.82		2.37		3.12	
式(3)	残差平方和	0.0002		0.0077		0.0011		0.0012	
	DW 比	1.80		3.18		1.51		3.34	
式(4)	残差平方和	0.0001		0.0036		0.0006		0.0002	
	DW 比	1.84		3.18		1.35		2.88	

網の設定をサポートし、マニュアルではあるものの、システムティックで合理的な路線網の再編案を提案できる。この情報をもとに、JICA STRADA を用いて、熊本都市圏総合交通計画の中でのバス路線網の再編案を提案することができた。

7) 路線再編後の総収入はさほど変わらないが、標準的費用は再編前よりかなり小さいこと、単位距離当りの乗車人員の値も現状より 4.1%程度大きくなっていることから、今回の路線別特性評価に基づく路線再編の実用可能性は高いといえる。

付録

付録 1 :

生産要素価格 P_i ($i=1, \dots, n$) と産出量 Q_i ($i=1, \dots, m$) の関数であるトランスログ型費用関数式 (1) の C は総費用、 $\alpha_i, \beta_j, \delta_{ij}, \gamma_{ij}, \rho_{ij}$ は推定されるべきパラメータである。生産活動においては、一般に産出量と投入要素価格それぞれで

$$\delta_{ij} = \delta_{ji}, \quad \gamma_{ij} = \gamma_{ji}$$

なる対称性が成立する。また、総費用 C は投入要素

価格 P_i に関して 1 次同次であるから、

$$\sum_i^n \beta_i = 1, \sum_j^n \gamma_{ij} = 0 \quad (i=1, \dots, n), \sum_j^n \rho_{ij} = 0 \quad (i=1, \dots, n)$$

が成立しなければならない。

また、シェパードの補題により、費用を最小にする最適な生産要素投入量の組み合わせ $X(x_1, \dots, x_n)$ は

$$\partial C / \partial P_i = x_i \quad (i=1, \dots, n)$$

なることが知られており、その結果、

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = x_i (P_i / C) = \beta_i + \sum_j^n \gamma_{ij} \ln P_j + \sum_j^m \rho_{ji} \ln Q_j$$

が得られる。第 2 項の $x_i P_i$ 部は投入要素 i の費用を表していることから、 $x_i (P_i / C)$ は総費用に占める投入要素 i の費用シェア S_i を表す。このように、費用関数の中には生産関数の技術的条件に関するすべての情報が含まれている。

付録 2 :

KA 社については一部の路線について、KC 社については全ての路線について年間走行距離や年間乗車人員、総費用などのデータが入手できなかった。そのため、KA 社については既知の路線のデータから、KC 社については経営構造が似ている KB 社の路線データを用いた回帰分析により推計している。結果を補表 - 1 に示す。いずれのモデルも適合性は高く、信頼性のあるモデルが得られている。

付録 3 :

メモリーの制約で対象地域内のバスシステムの全てを設定することができないために適切に統合した。統合のルールは下記の通りである。

- 1) 一日の上りと下りの運行回数の平均が 4 本未満、4 本以上 10 未満、10 本以上のシステムの 3 つに区別する。
- 2) 10 本以上のシステムは残す。
- 3) 4 本未満の路線は、バス利用が不可能な地域が生じるような単独システムは残すが、それ以外は統合した。

4) 4 本以上 10 未満の系統は、路線長が長く運行回数が多い系統に路線長が短く運行回数が少ない系統が重複している場合、後者を前者に統合する。

対象地域外で分岐している系統は統合して一つの系統と考える。出入車庫系統については運行回数も少ないので削除する。

参考文献

- 1) 枝村俊郎, 森津秀夫, 松田 宏, 土井元活 : 最適バス路線網構成システム, 土木学会論文集, No.300, pp.95-107, 1980.
- 2) 天野光三, 銭谷善信, 近藤信明 : 都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究, 土木学会論文集, No.325, pp.143-154, 1982.
- 3) 高山純一 : ITS を活用した公共交通活性化のための計画立案評価支援システムの開発研究, 平成 12・13 年度科学研究費補助金 (基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書.
- 4) 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基準としての路線ポテンシャル, 土木学会論文集, No.425/IV-14, pp.183-192, 1991.
- 5) 杉尾恵太, 磯部友彦, 竹内伝史 : 企業性と公共性を考慮したバス路線別経営改善方針の検討 - 素質面と顕在面のギャップを鍵概念として -, 土木計画学研究論文集, No.16, pp.785-792, 1999.
- 6) 杉尾恵太, 磯部友彦, 竹内伝史 : GIS を用いたバス路線網計画支援システムの構築 - 潜在需要の把握による路線評価について -, 土木計画学研究論文集, No.18, pp.617-626, 2001.
- 7) Berechman J.: Analysis of the Cost Structure of an Urban Bus Transportation Research, Journal of Transport Economics and Policy, Vol.18, No.4, pp.273-287, 1984.

(2004. 4. 15 受付)

A METHOD OF LINE CHARACTERISTIC EVALUATION AND NETWORK REORGANIZATION PLANNING OF BUS SYSTEMS

Shoshi MIZOKAMI, Ryuji KAKIMOTO and Junya HASHIMOTO

By the spread of passenger cars, and introduction of a new transportation system, the bus attraction gets worse in cities across the country. As deregulation of bus service, it is easy to enter or get out of bus service. When bus employer gets out of unprofitable bus route, there is fear that the life route for local resident is spoiled. So we need characteristic evaluation by bus service. In this paper, from the two view points of production efficiency and elicitation potential demand along the bus line, we assess existing bus line and propose rational method of reorganization on bus network on Kumamoto urban area.