

潜在需要に着目したバスサービス評価手法の複雑な路線網への適用に関する研究*

A study on application to complicated bus route network of bus service evaluations focused on potential-demands*.

小林正孝**・中村文彦***・岡村敏之****

By Masataka KOBAYASHI**・Fumihiko NAKAMURA*** Toshiyuki OKAMURA**** Tsutomu YABE*****

1. はじめに

バス路線の評価において、「乗ればよい」という採算性のみの視点は、潜在需要を捉えるポテンシャル理論の創始者である竹内¹⁾がそもそも危惧したところである。バスの都市基盤としての役割を考えた時、どのくらい乗るべきところなのか(竹内らは潜在需要の指標としてポテンシャルを計測)、という視点が抜けていることは問題となる。

ポテンシャル理論を扱った既存研究における分析は、バス路線1本1本を対象としており、サービスの質をポテンシャルと実乗車人員の比(=顕在化率)によって評価している。しかし実際のバス需要について考えると、それぞれのバス路線は互いに影響し合い、他交通手段もバス路線の需要に影響を与える。ポテンシャル理論においてもこれらの影響を考慮した複雑な路線網を対象とした分析が必要となる。またサービスの質について、提供されているサービスが実務上工夫(=営業努力)されたものであるかという評価とは別に、サービス提供方法が事業者にとって効率的なのかという評価も必要となってくる。

本研究では、ポテンシャル理論を複雑な路線網に拡大適用する意義を述べるとともに、バスの利用者が、「なぜ利用しているのか」に着目し、サービス提供の効率を含めた、総合的な評価の必要性について考察する。

2. バス路線評価の複雑な路線網への拡大の必要性

(1) バス路線の「路線単位」評価における限界

バス路線の評価は、多くの場合、路線1本1本を対象として「路線単位」で評価が行われている。しかし実際のバス事業では、複数のバス路線が、局部的に同じルートを運行されているという状況はよく存在する。これらの同一ルートを運行されるバス路線では、団子運転やバス停の位置によるバス需要の取り合いが見られ、互いのバス路線が影響し合っている。

このバス路線の相互影響は、路線単位での評価では考慮しきれない。また、同一ルートのバス路線の影響だけではなく、近くを運行されるバス路線の影響や、他交通手段の影響を考慮した、交通ネットワーク全体としてバス路線を評価していかなければならない。

(2) 既存研究におけるバスネットワークの捉え方

交通ネットワークの中で、特にバスネットワークを対象とした既存研究は、パーソントリップデータなどを用いてある程度マクロなODを基にネットワーク配分を行うものや、時間価値などに注目した非集計モデルを用いて、ネットワーク配分を行うものが大部分を占める。また、実務的な研究ではバス路線の新設を仮定した場合に、どのくらい配分される需要が増えるかなどの議論が主である。

これらの研究では、バスの配分交通量を計算しているのみで、なぜそのバス路線に人が乗るのかということは議論されず、バスサービスを提供する側の効率としてはどうか、潜在需要という母数に対してどのくらい乗っているのかという評価はなされていない。結局のところ「乗ればよい」というところで終局してしまっている。

(3) 潜在需要分析の複雑な路線網への展開

ポテンシャル理論に基づいた、既存のバス路線単位での潜在需要分析を、交通ネットワーク全体の影響を考慮した複雑な路線網へ拡大適用することを本研究の目標とする。しかしながら、実際の交通ネットワークは様々な影響が入り組んでおり、分析上困難が生じる。そこで、バス路線を評価する際、交通ネットワークによる影響のうち重要な3点に着目することとする。1つ目は、同一ルートを運行されるバス路線(=重複路線)の相互影響、2つ目は、同一ルートではないが、隣り合う道路上など非常に近くで運行されており、住宅地と都心を結ぶなどの等しい役割を担っているバス路線(=並行路線)の相互影響、3つ目は、他交通手段のうち特に軌道系交通による影響である。これら3点を考慮して、潜在需要分析の複雑な路線網への適用における基礎的な考察を行う。

3. 新規軌道系導入エリアにおける調査

ある市民の交通手段選択の結果が、外部の交通ネットワークにどのように影響を受けたのかを明らかにすることは難しい。さらに、都市部における鉄道などの軌道

* キーワーズ：公共交通計画、地区交通計画、公営交通

** 正会員、修(工)、栃木県 足利土木事務所

(〒326-8555 栃木県足利市伊勢町4-19 TEL 0284-41-4100)

*** 正会員、博(工)、横浜国立大学大学院工学研究院

**** 正会員、博(工)、横浜国立大学大学院工学研究院

(〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 TEL/FAX 045-339-4039)

系交通は蜜に整備されており、軌道系交通のバス路線選択における影響は非常に複雑である。

そこで、新規に軌道系交通が導入されたエリア、特に単純な軌道系交通ネットワークが導入されたエリアでは、導入前後の行動変化を見ることで、軌道系交通がバス路線選択に与えている影響を把握しやすい。これらの理由から本研究では、エリアでの初の軌道系交通としてモノレール（通称ゆいレール）が1ルートのみで、平成15年より導入された那覇都市圏を対象エリアとして分析を行う。

（1）調査の目的

潜在需要分析による評価では、実際のバス路線が市民の移動のニーズに対する貢献度を示すことができるのみである。バス路線の改善策を分析・提言するためには、「なぜ現在の交通手段を選択しているか」という視点まで踏み込む必要がある。

そこで本研究における調査では、既存の潜在需分析を拡大適用するための基礎として、那覇都市圏における市民が交通手段の選択を行う際、何を理由に選択をしているのか（便利さや安価さなど）という点と、モノレール導入後、実際に利用している交通手段を転換したか、転換したとすればどのような条件にある利用者かという点、2点を明らかにするというを目的としている。

（2）調査の概要

以下表－1に示す調査を実施した。なお調査エリアは、現在提供されている公共交通（主にバス）のサービスの特徴が偏らないよう、複数のエリアを対象とした。

表－1 那覇都市圏における調査概要

○ 調査エリア：	浦添エリア、首里エリア、識名・金城エリア
○ 希望調査日：	平成18年11月16・17日（木・金）
○ 調査時間帯：	7：00～18：00（1日目は10：00～）
○ 調査規模：	合計4000枚配布 2日間延べ12名
○ 調査方法：	各エリアにおいて、同じ調査票に対してポスティングと訪問調査を同時進行で行う。
○ 調査項目：	1）現在の交通手段 2）現在の交通手段に対する評価 3）他の交通手段選択肢の有無、その情報の認知の有無 4）交通手段選択要因 5）手段転換の有無 6）個人属性

獲得有効サンプル数は、約200サンプルで回収率は5%であった。低い回収率となったのは、調査日が沖縄知事選の前日及び当日となったことや、那覇都市圏においてアンケート調査を装った個人情報取得のための詐欺事件があったことが要因として考えられる。なお、調査結果を分析する際には、200サンプルで有意に説明できる手法を用いている。

（3）手段選択モデルの構築

現在利用している交通手段の選択理由の結果に基づき、手段選択モデルを構築する。サンプルの制約を考慮

し、被説明変数としての手段選択は、自動車、バス、モノレールの3手段とした。徒歩圏における移動については今回は除いた。モデルの型は多項ロジットモデルとし、パラメーターの推定方法は、最尤推定法におけるニュートンラプソン法とした。パラメーターの推定結果は以下表－2のとおり。

※はt値で95%有意

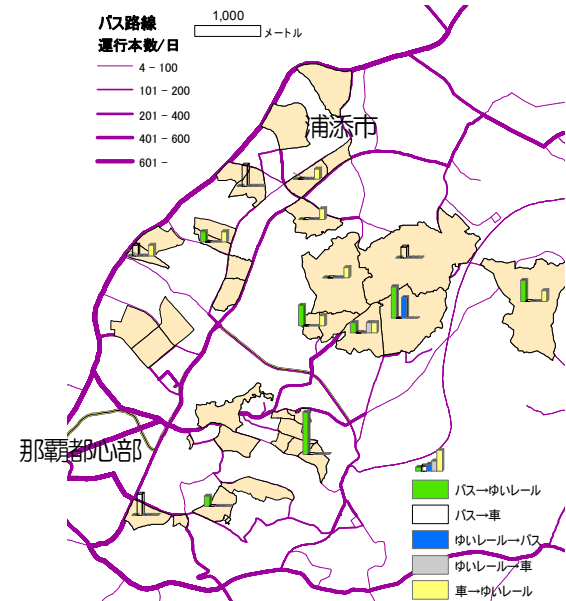
表－2 手段選択モデルパラメータ推定結果

		モデル1	モデル2	モデル3
共通パラメータ	コスト	-0.0000 (0.9985)	-0.0010 (-0.562)	-0.0014 (-1.023)
	乗車時間	-0.2469 (-1.800)	-0.0097 (-0.281)	-0.0208 (-0.746)
	公共交通	-0.5962 (-1.223)		
公共交通パラメータ	端末距離	-0.0001 (-0.153)		-0.0005 (-0.526)
	総端末距離		-0.0005 (-0.626)	
	アクセス距離			
自動車パラメータ	運行回数	0.0131 (2.507)※	0.0113 (2.524)※	0.0121 (2.529)※
	車所有ダミー	3.3959 (2.272)※	2.5962 (2.111)※	3.2164 (2.339)※
	渋滞なしダミー	1.5090 (2.252)※	1.2688 (2.222)※	1.6284 (2.438)※
モノレールパラメータ	端末車ダミー	9.8222 (2.712)※	6.7989 (2.862)※	7.4304 (2.971)※
尤度比		0.91268	0.90837	0.92439

モデルを分析の簡便性から、「モデル3」を採用した。パラメーターの符号に関しては、全てのパラメーターで期待していた符号と一致した。コスト・乗車時間・端末距離におけるパラメーターについてはどうしてもt値があがらなかった。これは、車のコスト、乗車時間および端末距離のデータを直線距離によってのみ算出しているため、サンプル個々の迂回距離が大きく影響してしまっているからであると思われる。しかしながら、既存研究の様々なモデルと比較することで、オーダーレベルでの信頼性はあると判断でき、この結果を用いて第4章では分析を進める。

（4）交通手段の転換についての考察

図－1における紫色の線は、道路上に運行されるバス路線を総運行本数で段階表示したものであり、肌色の



図－1 重複バス路線総運行本数と手段転換

エリアは調査対象エリアを示している。また、エリア上にあるバーは、そのエリアでの交通手段の転換をしたサンプル数を示したものであり、最も高いバーで6サンプルの値を示している。バーの色は、代表交通手段の転換について分類している。なおこれらサンプルの全てが、手段転換の理由は「モノレール導入をきっかけとして」と答えている。図－1で注目すべきは、モノレールの端末交通手段として、どのバス路線が運行されているかに関わらず、バス路線の総運行本数が多いエリアでバスを利用している傾向にあるということである。この総運行本数とバス利用の関係については、第4章2節で詳しく考察する。

4. 潜在需要分析の複雑な路線網への適用

(1) 潜在需要分析の概要

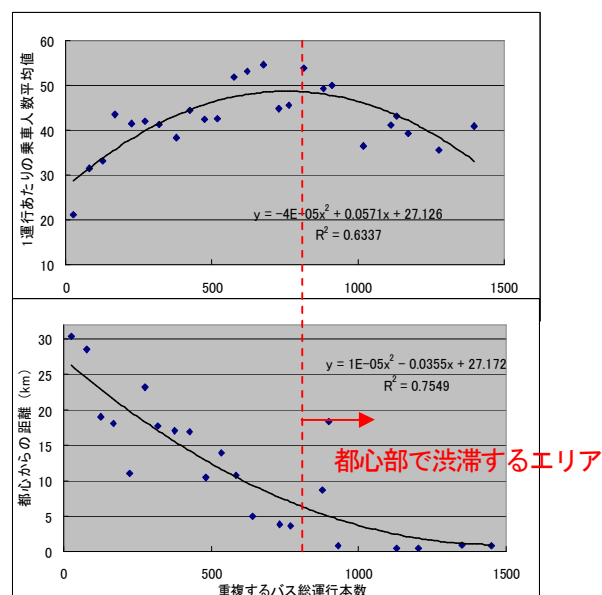
潜在需要分析は、潜在需要を居住人口などによって求められるポテンシャルによって推定し、ポテンシャルと実乗車人員の比(＝顕在化率)によってバス路線のサービスの質を評価するという概念である。ポテンシャルは、①バス停の勢力圏人口(＝バス停ポテンシャル)をバス停勢力圏内(＝500mとする場合が多い)の居住人口・第3次従業者人口・生徒数・病床数・駅の需要人口などにより説明するモデルによって計測し、②バス停毎のポテンシャルを路線毎にまとめあげ(＝路線ポテンシャル) ③路線ポテンシャルを延べ運行距離で基準化することで求める。なお、①におけるモデルの推定方法や、③の基準化の必要性については、参考文献2)等を参照されたい。

具体的な評価方法は、図－3及び図－6示した、横軸基準化した路線ポテンシャル－縦軸乗車密度の、潜在需要散布図のプロットの傾き(＝顕在化率)によって、バス路線のサービスを評価する。

(2) 重複するバス路線の影響の考慮

既存の路線単位を対象とした潜在需要分析を、重複するバス路線網において拡大適用することを試みる。第3章4節では、バス路線の総運行本数が多いエリアで、モノレールの端末交通手段としてバスが利用される傾向にあるということを述べた。これは、バス利用の選択は、1本1本のバス路線よりも重複するバス路線集合に依るということを示す。実際、別の地点観測で得られたデータにより、重複するバス総運行本数と乗車人員の関係を調べると $R^2=0.87$ の強い相関が見られた。さらに、重複するバス総運行本数と乗車密度の関係は図－2上のようになり、観測された重複総運行本数と、沖縄県庁(＝都心)と観測地点の距離の関係をみると、図－2下に示す傾向が見えた。これにより、重複路線の総運行本数が増加すると乗車密度は上昇し、都心の渋滞エリアで乗車密度が低くなるということがわかる。

また、都市構造が単純である那覇都市圏では、バス

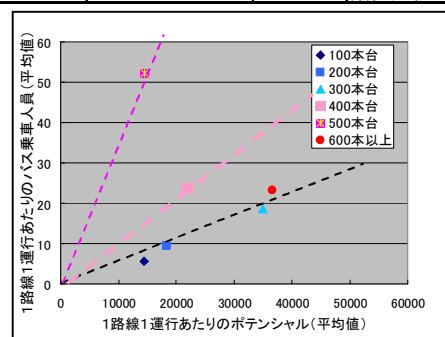


図－2 重複バス運行本数－乗車密度および都心からの距離

の運行エリアの特徴は、都心との距離との関係が強く、図－2よりバスの重複路線数とも関係が強いということが言える。これらを踏まえ図－3における潜在需要分析の考察を、運行エリアの特徴ごとに表－3にまとめた。

表－3 運行エリア特徴ごとの潜在需要分析の考察

運行エリアの特徴	重複路線の数	顕在化率	潜在需要分析を考察
低密度住宅地	100本以下	小	潜在需要、乗車密度が低い
低密度住宅地を網羅的	100本～200本程度	小	潜在需要は高いが乗車密度は低い
幹線道路を避け網羅的	200本～300本程度	小	幹線道路を運行する路線に乗客が吸収されている
幹線道路を中心に網羅的	300本～500本程度	大	相対的に潜在需要を高く顕在化している
渋滞領域を中心	500本以上	中	渋滞領域でバスの移動が低下顕在化率の伸び低い



図－3 重複総運行本数ごとの潜在需要分析散布図(平均値)

図－3における考察は、バスにおける重複路線の総運行本数に着目したものであり、「路線単位」での潜在需要分析では得られないものである。重複路線するバス路線の影響を考慮することで、潜在需要分析における新たなバスサービスの評価を行うことができる。本稿では省いたが、重複路線における団子運転などの影響によってもバスサービスの質における新たな見解が得られる。

(3) 並行するバス路線の相互影響の考慮

前節では同じルートを重複して運行される場合について述べたが、本節では同一ルートではないが非常に近くで運行されており等しい役割を担う、並行バス路線について述べる。例えば、浦添市北部では、国道58号、県道251号及び国道330号がほぼ並行に整備されている。沖縄

本島北部より那覇都心まで運行されるバス路線の大部分が、この3本の道路のいずれかを通過し沖縄本島北部と那覇都心を結ぶ。この3本上のバス路線の役割はほぼ等しく、このエリアにおけるポテンシャルは同等である。

ここでバス路線が互いに需要を取り合っている状況を第3章3節で構築した手段選択モデルを用いて説明する。現実のバス事業は資本に制約があり車両台数に制限があるため、バス路線へのアクセス距離と運行本数はトレードオフの関係にある。このトレードオフを考慮して手段選択モデルの効用関数におけるバス運行本数とアクセス距離の変数を入力し、バス選択確率の推移を見る。

図-4左は、浦添北部の3本の道路において実際のバス運行状況を入力して得られたバス選択確率を示すものである。これをみると、県道251号上のバスの選択確率は相対的に低く、影響範囲も小さいことがわかる。実際に、運行本数が少ない県道251号上のバスでは、ポテンシャルは同等であるにも関わらず、乗車密度が低い。

そこで、図-4右で示したようにトレードオフの条件のもと、県道251号上のバスを国道330号上のバスに集約した場合についてのバス選択確率の変化を見る。国道330号に集約した場合のバス選択確率は、集約以前の251号、330号上のいずれのバス選択確率よりも高く、影響範囲も広がることになる。

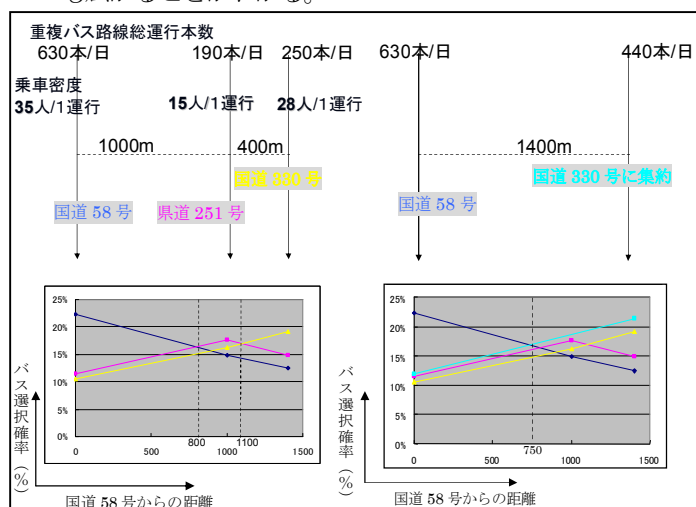


図-4 バス選択確率を用いた並行路線の集約に関する考察

本事例ではポテンシャルが同等であったが、並行するバス路線の集約により、バス選択確率が上昇するだけでなく、潜在需要分析における顕在化率も高くなることから推定できる。バスの事業規模に制約がある場合に、バスサービスの資本が効率提供されるには集約したほうが好ましいという状況もあり得る。このように、互いに影響しあう並行バス路線を考慮することで、新たなサービスの質の評価について言及することができる。

(4) 軌道系交通のバス路線への影響の考慮

最後に、軌道系交通がバス路線へ与える影響について考察する。第3章4節で「モノレール導入をきっかけと

して」手段を転換したという利用者が確かにいることが確認できた。沖縄市による調査を参考に、フィーダーバス路線として新設された8番線と、モノレールとほぼ並行に運行される9番線の比較を行う。市の調査によると、バス利用からモノレール利用への転換は、9番線において最も多かったと報告されている。一方、8番線はフィーダーバスとしての役割を十分に果たしているという。

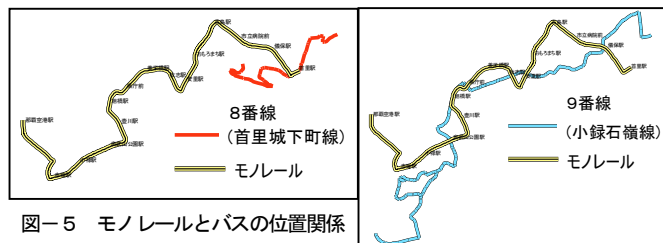


図-5 モノレールとバスの位置関係

潜在需要分析の散布図において2路線の顕在化率を比較すると、現在の利用者数が多い9番線の方がサービスの質が高いという評価が得られるのみである(図-6)。

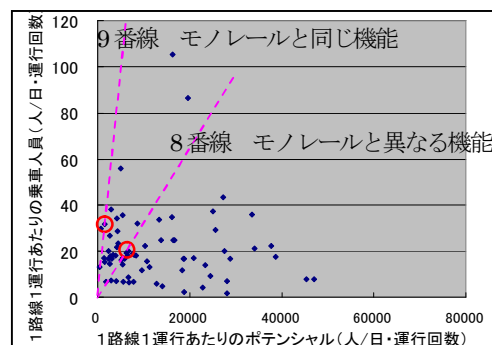


図-6 潜在需要分析散布図における2路線の評価

バスの軌道系交通に対する立場として、①需要を取り合うのか②補助的な役割を担うのか③バスにしか担うことのできない新たな機能をもつのか、などのサービスの提供方針を考慮した上で、既存の潜在需要分析では欠けている、軌道系交通の影響を明らかにした評価を行う必要がある。

5. まとめと今後の課題

本稿では、路線単位でのポテンシャルの理論による評価を越えて、複雑な路線網を代表するバスの重複路線および並行路線の影響、軌道系交通の影響、という3つの重要な影響を考慮し、ポテンシャルの理論を拡大適用することが有意であるということを述べた。また、手段選択モデルを用いて、バス事業のサービス提供効率を含めた総合的な評価手法の有意性を述べた。

今後は、実務的な視点を踏まえ、これらの手法を用いた具体的な評価方法について、整理していかなければならない。

参考文献

- 1) 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ポテンシャル」、土木学会論文集第425号/IV-14、pp. 183-192、1991
- 2) 小林正孝・中村文彦・岡村敏之・矢部努：「公営バス事業の路線評価分析における効率的公共交通サービス提供に関する考察」、土木計画学研究・講演集 №. 32 2005年11月