

地方都市におけるバス路線再編計画技法に関する基礎的研究*

Basic Study of Bus Route Planning in Local Cities*

今井 司**・吉田 樹***・秋山 哲男****

By Tsukasa IMAI**・Itsuki YOSHIDA***・Tetsuo AKIYAMA****

1. はじめに

(1) 背景

地域公共交通活性化・再生法に基づく総合連携計画の策定が全国で進められているが、路線バスの再編を計画する技法として、既往研究では、個々の路線を対象に生産性や事業性のほか、集客可能性（ポテンシャル）などの指標が開発されてきた。しかし、ある程度の人口規模を擁する地方都市では、複数のバス事業者が数多くの系統を運行しているケースが多く、同一の運行区間に複数の系統が乗り入れていることも少なくない。一方で、市街地における路線密度や停留所密度が高くなることから、生活関連施設（医療機関・学校等）の近傍に複数の停留所があることも想定される。その場合、利用者は、目的地とする生活関連施設に対して、空間的に最短となる停留所で下車するのではなく、乗車している路線が停車し、かつ、目的地とする生活関連施設から近い停留所を選択することが考えられる。

(2) 既往文献のレビュー

バス路線計画手法に関する論文としては、溝上ら¹⁾が提案した、生産効率性および路線沿線の潜在需要と、実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営業係数を決定する2つの側面から、バス路線別の特性評価を行う方法を提案し、その結果から路線を改善する路線再編方策を開発した。また竹内ら²⁾が提案したポテンシャル理論は、路線評価を潜在需要で行うものであり、路線評価に多く用いられている。また杉尾ら³⁾はポテンシャル理論を援用し、GIS（地理情報システム）を用いて路線評価指標を算出し、バス路線計画作成を支援するシステムを提案した。

*キーワード：バス路線再編計画

**学生員、首都大学東京大学院都市環境科学研究科観光科学専修博士前期課程（東京都八王子市南大沢2-2パオレビル10階、E-mail：imai-tsukasa@ed.tmu.ac.jp）

***正員、博士（都市科学）、首都大学東京大学院都市環境科学研究科観光科学域（東京都八王子市南大沢2-2パオレビル10階、E-mail：itsuki-y@mue.biglobe.ne.jp）

****正員、工学博士、首都大学東京大学院都市環境科学研究科観光科学域（東京都八王子市南大沢2-2パオレビル10階、E-mail：aki08@itscom.net）

(3) バス路線再編技法における課題点

・従来のポテンシャル理論は、バス停の勢力圏を定義し、その中に含まれる居住人口や第三次就業者数・生徒数・病床数などを説明変数とするモデルであった。しかしこの方法では小林ら⁴⁾が指摘するように、既存のバス路線を基にしていることから、以下のような課題がある。

①既存バス路線が通っていない地点における潜在需要顕在化のメカニズムが考慮していない。

②他の環境変化に伴う需要の変化を考慮していない。

また本研究の対象地域である都市では背景で述べたように、市街地に多くの路線系統が集まっているため、必ずしも施設の最寄り停留所を利用せず、施設近傍の複数の停留所を利用することが考えられる。

路線バス評価の研究において、複数の事業者が競合する都市におけるバス路線評価は、以下のような課題点がある。

⑤どちらか1事業者のデータを用いたものが多く、競合する複数事業者のデータを用いて競合状態を解析したものは少ない。

(4) 本研究の目的

こうした背景から、本研究では、複数のバス事業者が運行し、市街地における路線・停留所密度が高い地方都市を想定して、以下の点を考察することを目的とする。

第一に、路線バスの集客成果に影響を与えると考えられる、停留所周辺の人口規模や生活関連施設の立地状況をGISを用いて集計するとともに、複数の事業者あるいは系統が乗り入れている場合であっても、系統単位に路線バスのポテンシャル評価する手法を検討する。

第二に、ポテンシャルモデル作成の際に、従来の各施設を点で表現した場合のモデル作成結果と、「カーネル密度（施設の密度をバス停にポテンシャルとして付与）」した際の、モデル推計結果にどのような違いが見られるか考察する。

第三に、「実乗車人数—ポテンシャル推計値」の相関関係を取り、どのような系統が過大・過小推計したのか考察するとともに、公営バスと民間バスの競合状態についてポテンシャルの推計結果から考察する。

2. 研究方法

(1) 対象地域の概要

本研究の対象地域である八戸市は、青森県の南東部に位置し、人口約24万4千人（2009年3月現在）の都市で、青森県の代表的な都市の一つである。地形は、なだらかな台地に囲まれた平野が太平洋に向かって広がり、その平野を三分する形で馬淵川、新井田川の2本の川が流れている。臨海部には大規模な工業港、漁港、商業た漁港施設や背後施設を有する全国屈指の水産都市、北東北随一の工業都市として、地域の拠点となっている。

市内の公共交通網について、鉄道は東北新幹線の終着駅である八戸市を中心にJR東北本線・JR八戸線・青い森鉄道）の路線がある。今回研究対象となる路線バスは3事業者が運行しており、八戸市交通部・南部バス・十和田観光電鉄の3社である。

(2) 使用データ

表-1 説明変数に用いたデータ

変数名	データの出典（単位）
人口	平成12年度国勢調査の基本調査区－居住人口（人）
学生数	青森県教育委員会のHPより－高校・高専・専門学校・短大・大学の学生数（人）
病院	各医院のHPより－病院のベッド数（床）
商業施設	全国大型小売店総覧－小売店の床面積（m ² ）

モデル作成の際に説明変数として使用したデータは表1の通りである。これらのデータをポイントデータとしてGISに格納した。

被説明変数には系統別の系統別年間バス乗降客数を用いた。八戸市内には八戸市交通部、南部バス、十和田観光鉄道の三社が運行しているが、今回は a) 公営バスと民間バスの競合状態について解析すること b) 解析対象を市内路線に限定することなどから、八戸市交通部と南部バスの二社の系統別年間バス乗降客数のデータを用いた。結果、対象系統は146系統となった。

(3) ポテンシャルモデルの作成

ポテンシャル理論を援用して、ポテンシャル推計モデルを作成した、作成手順は以下の通りである。

a) 居住人口メッシュデータの作成

居住人口に関するデータは平成12年度国勢調査小地域統計基本単位区別集計を用いた。GIS上にポイントデータ作成し、ポイントの属性データとして居住人口を付与する。空白のメッシュを作成し、ポイントとメッシュを空間的に結合させることで、居住人口のメッシュデータができる。メッシュデータは50m,100m,200m,500mのものを作成し、モデルとしてもっとも当てはまりの良いものを採用する。

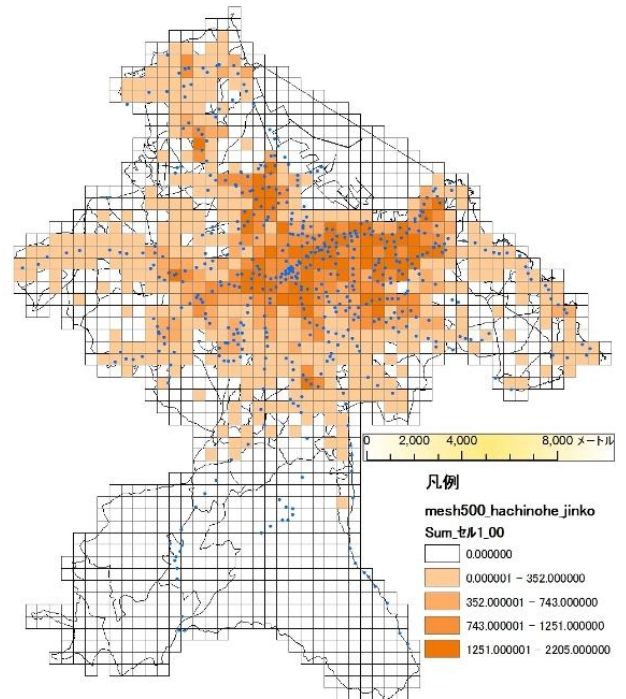


図-1 居住人口メッシュデータ（500mメッシュ）

b) 説明変数ポイントデータの整備とそれらのカーネル密度推計

表-1に示した説明変数に用いる各施設の位置とデータをGIS上にポイントデータとしてのせた。次にそれら施設がどの程度集積しているのかを推計する「カーネル密度推計法」をもちいて、施設の集積度合いをGISの地図上に表現する。

カーネル密度推定は対象がどのように分布しているか、対象の観測点と他の観測点とのデータの近さ、つまり各施設の規模と距離を考慮した、密度関数を推定する手法である。従来の点分布では施設は最寄りのバス停のみに付与されることになるが、カーネル密度をもちいることにより、施設から任意の半径（本研究では1000m）のバス停に、データを外挿することができる。

このカーネル密度推計によって得られた変数とバス停を空間的に結合することによって、バス停に各施設の属性を与えることができる。

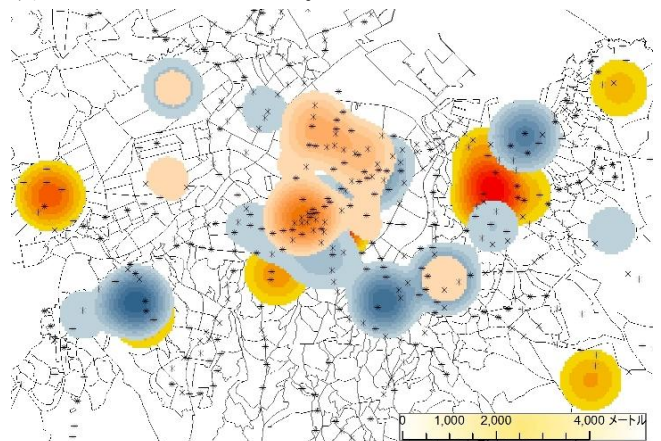


図-2 各施設のカーネル密度（検索半径1000m）

c) バス停勢力圏の設定ならびにデータの格納

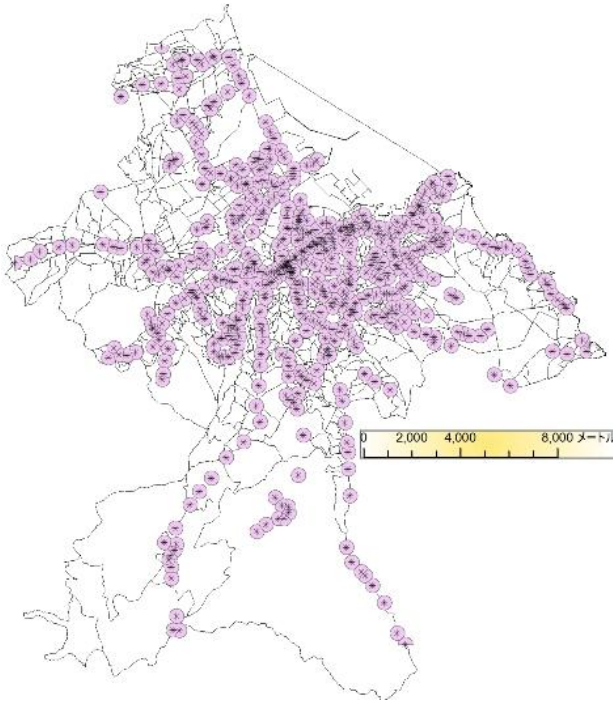


図-3 八戸市内のバス停勢力圏

停留所の勢力圏を設定するため、バス停より300mのバッファを発生させた。重複している領域については、ポロノイ分割を行い、勢力圏の設定を行った。その結果を図-3に示す。

d) 運行頻度による案分

a) b) で用意したデータを勢力圏内に勢力圏属性として付与した。バス停には複数系統が通過するものがある。それを考慮するために、運行系統の一日あたり運行本数によって勢力圏人口や各施設の指標を案分した。

e) 重回帰分析による系統別ポテンシャルの推計

表-2 ポテンシャルモデル推定結果

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P値
沿線人口	41.6901	0.5806	0.0000
商業床面積	1.3489	0.2568	0.0003
八戸駅接続ダミー	21285.7446	0.0795	0.1549
定数項	-8991.5894	—	—

ポテンシャルモデルのパラメータを推計するために、各説明変数を用いて重回帰分析を行った結果が表-2である。病床数と学校生徒数が有意な値にならなかった。決定係数は0.58であった。

3. カーネル密度推計法の適用可能性

表-3に各施設をポイントデータにより施設を表現してモデル作成したもの、表-4にカーネル密度を用いてモデル作成したものを示す。

a) ポイントデータを用いた場合

既往研究のように各施設をポイントデータで表現してモデルを推計した場合、決定係数は0.56であった。

b) と比べて、八戸駅ダミーが有意にならなかったこと、沿線人口と床面積の標準偏回帰係数が小さくなった。

b) カーネル密度を用いた場合

カーネル密度を用いて各施設を表現してモデルを推計した場合、決定係数は0.58と微増した。

a) と比べると決定係数、標準偏回帰係数が増加している。また八戸駅接続ダミーも10%で有意となった。

以上のことから従来、施設の属性を1バス停に付与していた場合に比べ、カーネル密度によって施設近傍の複数のバス停に属性を外挿することによって、モデルの精度を向上させることが出来る可能性があることがわかった。これは利用者が、目的地とする生活関連施設に対して、空間的に最短となる停留所で下車するのではなく、乗車している路線が停車し、かつ、目的地とする生活関連施設から近い停留所を選択することの裏付けの一つと考えられる。

表-3 ポイントデータによる解析

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P値
沿線人口	40.6899	0.5667	0.0000
商業床面積	12.5461	0.2405	0.0015
定数項	-2733.7766	—	—

表-4 カーネル密度推計を用いた解析

説明変数名	偏回帰係数	標準偏回帰係数	P値
沿線人口	41.6901	0.5806	0.0000
商業床面積	1.3489	0.2568	0.0003
八戸駅接続ダミー	21285.7446	0.0795	0.1549
定数項	-8991.5894	—	—

4. 公営バスと民間バスの競合状態

推計したモデルより、路線ポテンシャルを算出した。その結果を図-4に示す。

(1) ポテンシャルモデルの考察

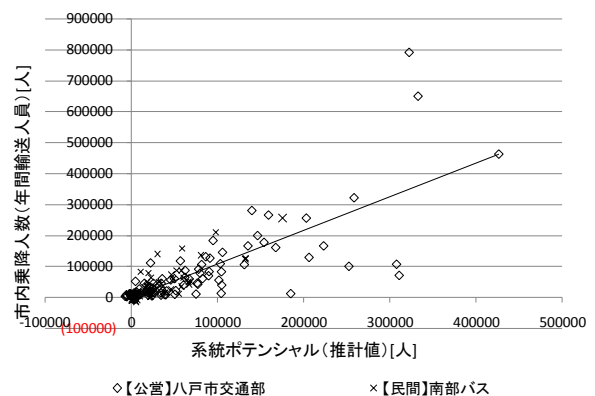


図-4 ポテンシャルと乗車人数の関係

a) 過小推計した系統について

推計したポテンシャルに比べ、実乗車人数が大幅に多い系統が2系統あった、これについて考察を加える。この2系統は八戸市の中心市街地から病院を經由して、住宅地へと至る路線である。一日あたりの運行回数が多く、幹線的な運行が行われている系統である。つまりサービスの向上により、系統ポテンシャル以上の乗客を獲得できたものと思われる。

b) 過小推計した系統について

推計したポテンシャルに比べ、乗車人数が少ない系統には、以下のような傾向が見られた。

- ・比較的路線長が長大であること
- ・多くの系統が競合していること
- ・車庫系統であること

つまり非効率なルート設定や運行が行われている系統については、ポテンシャルにくらべて乗客が獲得できていないことがわかった。

c) モデルの当てあまりの良い系統について

今回のポテンシャル推計モデルと実乗車人数の誤差率が±10%以内の、比較的良好な結果が得られた系統については、以下のような特徴がある。

- ・おおむね路線長が10km以下である。
- ・八戸駅を經由しているもの（起終点としている）
- ・中心市街地を經由しているもの（起終点としている）

(2) 公営バスと民間バスの競合状態

図-4より大幅に過大・過小している系統は、八戸市交通部の系統であった。この過大推計の原因として考えられるのは、八戸市が交付する「高齢者無料乗車証」を利用して乗車する乗客を、乗降客としてカウントしていない可能性がある。（民間バスには八戸市が交付する高齢者無料乗車証では乗車することができない）

一方、民間バス事業者である南部バスは実乗車人数と推計ポテンシャルを比較した場合、過大推計する系統が多く見られた。これらの系統の特徴としては、公営バスと競合していることである。ポテンシャルに対して、サービスが過剰に供給されている傾向が見られた。過大推計された路線の多くが赤字になっている点も特徴である。

5. おわりに

目的の第一であった、路線バスの集客成果に影響を与えると考えられる、停留所周辺の人口規模や生活関連施設の立地状況を「カーネル密度推計法」を用いて集計した結果、従来のモデルより若干の改良をすることができた。

目的の第二であった、ポテンシャルモデル作成の際に、従来の各施設を点で表現した場合のモデル作成結果と、「カーネル密度（施設の密度をバス停にポテンシャルとして付与）」した際の、モデル推計結果にどのような違いが見られるか考察した。その結果カーネル密度によって施設近傍の複数のバス停に属性を外挿することができ、モデルの精度を向上させることが出来る可能性があることがわかった。これは利用者が、目的地とする生活関連施設に対して、空間的に最短となる停留所で下車するのではなく、乗車している路線が停車し、かつ、目的地とする生活関連施設から近い停留所を選択することの裏付けの一つとして考えられる。

目的の第三であった、「実乗車人数—ポテンシャル推計値」の相関関係を取り、どのような系統が過大・過小推計したのか考察するとともに、公営バスと民間バスの競合状態についてポテンシャルの推計結果から考察した。その結果過小推計した系統については幹線的な運行が行われており、サービス向上によってポテンシャル以上の乗客を獲得していることが確認できた。過大推計した系統に関しては非効率な運行が行われている系統であるため、ポテンシャルに対して、乗客数が少ないということが確認できた。

今後の課題としては、1—(3)で述べたように、他の環境変化に伴う需要の変化（たとえば大規模な商業施設が停留所勢力圏外に出来た場合に、ポテンシャルを推計できるモデル）を作成できるよう、改良していきたい。

参考文献

- 1) 溝上章志・橋本淳也・柿本竜治：「路線別特性評価に基づくバス路線網再編手法の提案」、土木学会論文集 Vol. 2005 (2005), No. 793 IV-68 pp.793_27-793_39
- 2) 竹内伝史・山田寿史：「都市バスにおける公共補助の理論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
- 3) 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.18-4 pp.617-626, 2001
- 4) 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よ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 Vol.32