

GISを用いたバス乗車人員予測モデルに関する研究～高齢化する集合住宅地域の事例分析～*

Study on bus stop passenger estimate model by using GIS -Applied in aging housing estate area-*

船戸諒子**・坂本邦宏***・谷島賢****・山岸純一*****・久保田尚*****

By Ryoko FUNATO**・Kunihiro SAKAMOTO ***

・Masaru YAJIMA****・Jyunichi YAMAGISHI *****・Hisashi KUBOTA*****

1. はじめに

我が国の乗合バス事業は長期に渡って低迷を続けており、利用者数の減少により廃止となる路線は年々増加している。路線維持のためには、公的補助や地域住民による定額運営金の支払いなどの資金補助も考えられるが、まずは企業努力によりサービス改善を試みる必要がある。本研究では事業者側視点から、その一手法として、乗車数のより見込めるバス停・バス路線を検討することを目的とする。経営改善努力により路線維持の可能性が上がれば、結果的に地域のモビリティ確保に貢献することになる。

また団塊世代を中心として構成される郊外の住宅団地などにおいては、高齢化が急速に進行するために、そのことが地域のバス利用傾向が大きく変化すると考えられる。そこで本研究では高齢化する集合住宅地域を対象とした分析を行う。

これまでバス需要予測に関する研究は多く行われてきている。例えばアンケート分析による需要予測が挙げられるが¹⁾、本研究では居住人口やバスサービスレベル等、既存の情報を用いて分析を行う。既存データを用いて回帰分析やクラスター分析により乗車人員分析を行う研究も行われているが^{2) 3)}、それらは都心部あるいは中山間部を対象とした研究であり、本研究において高齢化する集合住宅地域を対象とする分析を行うことは、意義があると考えられる。また、本研究では改良型マイクロメッシュを用いることにより、路線単位でなくバス停単位の乗車人員予測を行っている。

*キーワード：公共交通計画

**非会員、埼玉大学大学院理工学研究科

(埼玉県さいたま市桜区下大久保255、TEL048-858-3554、

E-mail: funato@dp.civil.saitama-u.ac.jp)

***正員、工博、埼玉大学大学院理工学研究科

****正員、MBA、埼玉大学大学院理工学研究科 (イーグルバス (株) 代表取締役社長)

*****非会員、博士 (学術)、埼玉大学大学院理工学研究科プロジェクト研究員 ((株) 地域市場構造研究所)

*****正員、工博、埼玉大学大学院理工学研究科

2. 高齢化する集合住宅地域の事例

高齢化は全国的にその傾向にあるが、都市部を走る都市バスでは、そもそもの人口の絶対数が多いために高齢化による影響はそれほどまでに大きくはないといえる。また完全な過疎地域を走るシビルミニマムな路線バスについては、公的補助を受けるよりほかない。本研究で対象とするのは、そのどちらでもないちょうど中間の地域である。事業者側からすれば採算が合うか合わない微妙な地域ともいえる。団塊世代が中心である、いわゆるニュータウン、ベッドタウンといった地区における高齢化の進行は、他の地域と比較したときに、バス利用者数の変化にかなり大きな影響を及ぼすと考えられる。それまで毎日通勤の為にバスを利用していた人々が、退職することにより定期的な利用を辞めるようになることによる乗車人員の減少は大きい。

今回事例分析として埼玉県日高市に運行する日高・飯能路線を扱う。同市はひだか団地と高麗川団地の2つの大規模な団地を有しており、いずれも急速に高齢化が進行している。路線はこの2つの団地と日高市内のJR武蔵高萩駅・JR高麗川駅、隣接する飯能市内の西武線飯能駅とを結ぶ路線で、2006年3月に西武バスが経営赤字を理由に撤退後、イーグルバスが引き継いで運行している。2006年度以降3年間で3回、埼玉大学と共同してアンケート調査を実施しており、その結果から、乗客の多くが通勤・通学、買い物または通院を目的としており、ほとんどが駅へ向かうためにバスを利用していることが分かっている (図-1)。

また2007年度実施住民アンケートにおいて、5年後の生活様式について選択式で質問したところ、「通勤通学をせずに日高市内で生活する」と回答する住民が回答者の半数を占めた (図-2)。自由記述からは、路線が廃止になると困る、存続を望むとの声が多く見受けられた。例えば2008年度実施アンケートでは路線バス廃止に関する記述が21件あり、これは運行本数、運行時間帯に関する記述の36件に次いで多い。地域住民にとってこの日高・飯能路線の存続が現在・将来ともに重要であることがうかがえる。

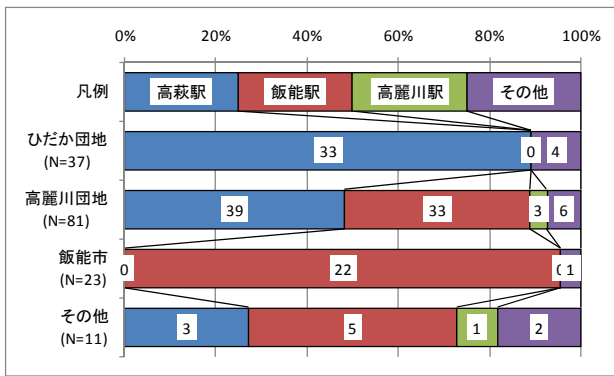


図-1 バス利用者の行先 (2008年度アンケート調査)

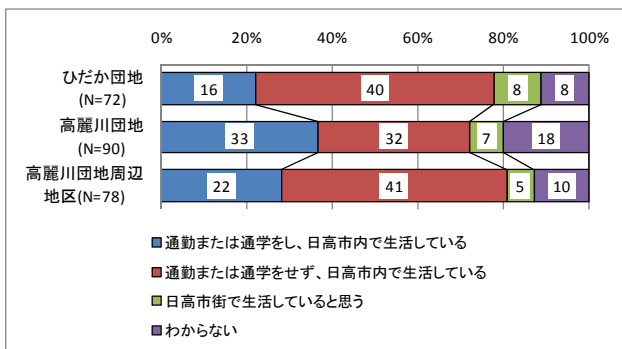


図-2 5年後の生活様式 (2007年度アンケート調査)

3. GISを用いたバス乗車人員予測モデルの作成

本研究では回帰分析によりバス停の乗車人員を予測する。データの蓄積機能や空間解析機能を有するGISを用いて作業を行う。GISソフトはESRI社のArc View9を使用した。

(1) データの収集

乗車人員を説明する要素として例えば世帯数や商業施設数など地域の統計的数値によるデータ、またバス運賃やバス運行本数などバスサービスレベルによるデータ、そして自動車免許保有率などその他のデータが考えられる(表-1)。

表-1 考えられる従属変数の例

分類	地域の統計的数値	バスサービスレベル	その他
要素	世帯数	運行本数	自動車免許
	居住人口	運賃	自家用車保有
	年齢別人口	バス停距離	道路の傾斜
	就業人口	バス停本数	駐輪場整備
	従業者数	所要時間	目的地間距離
	就学人口	道のり	...
	店舗規模	定時性	
	病院規模	乗換利便性	
	駅利用者数	...	
	...		

従属変数として用いるデータは、どの地域でも比較的容易に入手できるものを使用する。地域の統計的数値によるデータは、世帯数などの出発側視点の変数と、商業施設数などの到着側視点の変数に分類できるが、アンケート調査の結果よりこの地域の到着側はほぼ駅であることが分かっているため、今回は到着側視点については駅のみを考慮する。出発側視点の変数となる各種人口データを、2005年度実施の国勢調査より地域メッシュ統計データとして入手した。またイーグルバスホームページより、運行本数、所要時間、運賃、路線長のデータを収集した。

独立変数として用いる実乗降人員数のデータは2008年度アンケート調査実施時に同時に行った簡易OD調査のデータを用いる。同OD調査は2008年5月23日12時～終バスまで、調査員がバスに常時乗車し、目視により乗客ODを記録した。

(2) GISによるデータの蓄積と空間解析

収集したデータはGIS上に蓄積することで、視覚的に情報を把握できる。さらに人口データについては、GISの特徴の一つである空間解析機能を用いて、メッシュを面積する按分ことにより、バス停勢力圏内の人口を算出した。バス停勢力圏とは、徒歩圏域と考えられる半径300mの円を基本とし、近隣のバス停と重複する場合にはボロノイ分割により領域を決定したものである。なお、終着バス停では通常バス停より集客力が高いと考えられることから、終着バス停のみ半径を500mとした。

地図データは数値地図25000を用いた。メッシュデータは(株)地域市場構造研究所のAMSシステムを用い、2分の1地域メッシュの1/25の面積にマイクロメッシュ化した、100m四方の改良型マイクロメッシュデータを使用した^[1]。図-3で赤いセルは100m四方メッシュを、紺色のグリッド線は500m四方メッシュを表しているが、路線全域でなく個々のバス停に着目した分析を行う際に、マイクロメッシュを使う必要性が見て取れる。

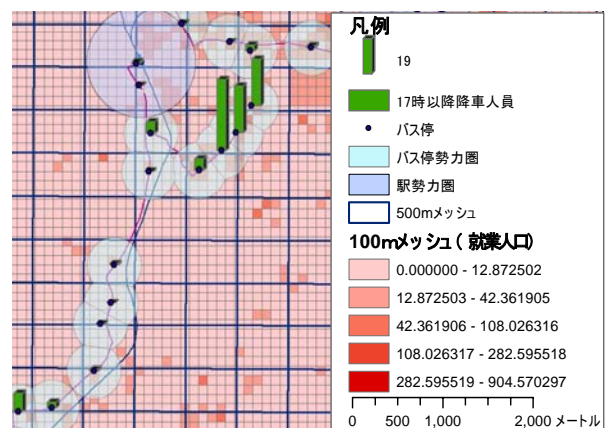


図-3 GIS上の表記の一例

(3) バス乗車人員予測モデルの作成

バス乗車人員予測モデルは通勤・通学時間帯を朝 5 時～8 時台と夕方 17 時～22 時台に設定し、通勤・通学時間帯と非通勤・通学時間帯とに分けて作成する。通勤・通学者と非通勤・通学者により日常的な行動が異なるので、今後さらに高齢化が進むことを考えると、将来の路線計画時のために時間帯別のモデルにしておく必要がある。ただし今回取得できた乗車人員データは、調査の都合により 12 時～22 時台までのものしかないため、通勤・通学時間帯については夕方のみ、また非通勤・通学時間帯については 12 時～16 時台のみのデータを使用している。

以上のまとめたデータを、SPSS を用いて変数増減法により変数選択を行い、回帰分析した結果として表-2、式-1、式-2を得た。式-1、式-2はそれぞれ、通勤・通学時間帯及び非通勤・通学時間帯のバス乗車人員予測モデルである。

表-2 回帰分析の結果

分類	変数	通勤・通学時間帯	非通勤・通学時間帯
		β	β
人口	バス停勢力圏内世帯数(戸) x_1		
	バス停勢力圏内高齢人口(人) x_2	0.0648**	0.0762**
	バス停勢力圏内生産人口(人) x_3		
	バス停勢力圏内就業人口(人) x_4		
徒歩圏ダミー変数	徒歩圏300mダミー変数 x_5		
	徒歩圏600mダミー変数 x_6		
	徒歩圏900mダミー変数 x_7	-7.1477**	-4.0241**
	徒歩圏1200mダミー変数 x_8		
バスサービスレベル	運行本数(本/日) x_9	0.1004*	
	最頻利用駅までの所要時間(分) x_{10}		
	最頻利用駅までの運賃(円) x_{11}		
	最頻利用駅までの路線長(km) x_{12}		
定数項	—	-2.4553	-0.4207
	自由度調整済み決定係数 R^2	0.573	0.653
	自由度調整済み重相関係数 R	0.757	0.808

* $P < 0.05$

** $P < 0.01$

$$y = -2.4553 + 0.0648x_2 - 7.1477x_7 + 0.1004x_9 \quad (\text{式-1})$$

$$y = -0.4027 + 0.0762x_2 - 4.0241x_7 \quad (\text{式-2})$$

ここで、独立変数 y はバス乗車人員を示す。また従属変数の徒歩圏 L_m ダミー変数とは、各鉄道駅から半径 L_m 円内に位置するバス停を 1、それ以外を 0 としたダミー変数である。

自由度調整済み決定係数はそれぞれ 0.573、0.653 となり、ある程度の相関性があるといえる。

(4) 通勤・通学時間帯モデルと非通勤・通学時間帯モデルの比較

予測として、通勤・通学時間帯には主に就業人口もし

くは生産人口が、非通勤・通学時間帯には高齢人口が最も影響すると考えられたが、実際には時間帯を問わず高齢人口が高い関係性を示した。

また、非通勤・通学時間帯は通勤・通学時間帯と比較して高齢者が多くと予測されるため、徒歩圏ダミー変数の L が小さくなると推測していたが、実際には変化しなかった。

唯一違いが見られたのは運行本数の有意性である。通勤・通学時間帯は1日の運行本数に影響を受けるのに対し、非通勤・通学時間帯は1日の運行本数が有意性を持たない。これは、各時間帯の運行本数を用いた場合も同様の結果となった。日中活動する高齢者や主婦で車を持たない人などは、運行本数などのバスのサービスレベルに関わらず、必要であればバスを利用するといえるかもしれない。

4. バス乗車人員予測モデルの適用

(1) 新設ルートの設定

作成したモデルを用いて新設バス停における乗車人員予測を行う。今回はイーグルバスで具体的な案として挙げられている高麗川団地内の迂回経路について検討する。現在メインの通りを走っているバスを、一本奥の道へ迂回させ、戸建住宅の住民の需要を拾うという案である。メイン通りに設置されている高麗川団地中央バス停を廃止し、新規バス停 A、B、C を距離に応じて設置する。なお各バス停における運行本数は今までと変わらないものとし、新設バス停は廃止バス停と同程度の運行本数があるとみなした。

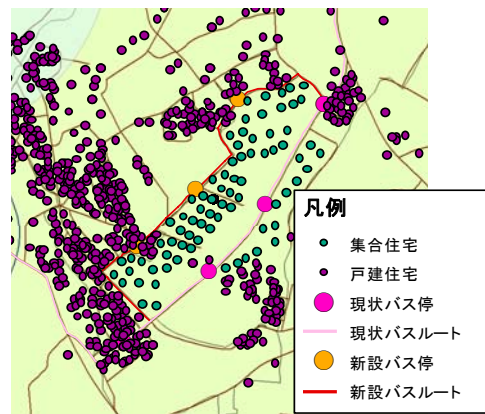


図-4 高麗川団地の住宅位置状況

(2) バス乗車人員予測モデルの適用による新設ルートと現状ルートの比較

それぞれの時間帯のバス乗車人員予測モデルを当てはめた結果、表-3を得た。

表-3 現状ルートと新設ルートの乗車人員比較

	通勤・通学時間帯			非通勤・通学時間帯		
	実測値	現状ルート	新規ルート	実測値	現状ルート	新規ルート
高麗川団地第二折返場	25	26	22	18	22	17
高麗川団地中央	25	19	-	22	13	-
高麗川団地第一折返場	38	17	18	20	12	12
中鹿山	6	14	7	9	7	5
小畦橋	6	0	0	1	0	0
新規バス停A	-	-	17	-	-	11
新規バス停B	-	-	14	-	-	8
新規バス停C	-	-	11	-	-	3
計	100(人)	76(人)	89(人)	70(人)	54(人)	56(人)

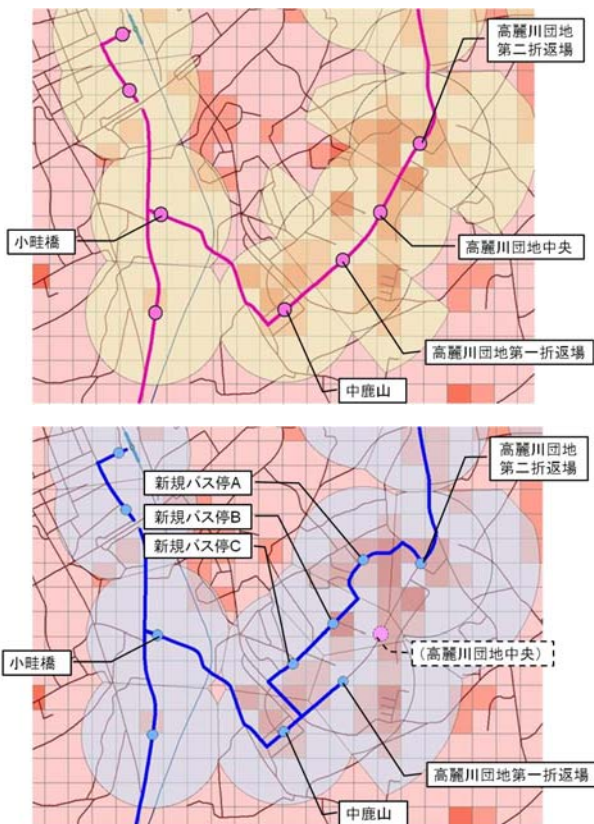


図-5 現状ルート(上)と新設ルート(下)

実測値と予測値（現状ルート）を比較すると、高麗川団地第一折返場バス停の乗車人員が過小評価されていることが分かる。高萩駅から来るバスの半分程度はここを終着点としているため、勢力圏の一部を中鹿山バス停と競合し、このような結果となったと考察される。

通勤・通学時間帯においては新規ルートの乗車人員が現状ルートより13名増加することが示された。図-5をみると、新規ルートでは戸建の住宅の需要を拾うとともに、高麗川団地中央バス停エリアの住民もカバーできていることがわかる。一方非通勤・通学時間帯においては、ルートの設定条件は通勤通学時間帯と当然同様であるが、

現状ルートと新規ルートの乗車人員にほとんど変化が見られなかった。この結果から、通勤・通学時間帯において現状ルートを迂回させることで、乗車人員を増加させることができると考えられる。このとき非通勤・通学時間帯のバスルートは、迂回させることもできるし、現状維持でも差支えないといえる。たとえば、住民の要望に応じて決定したり、高齢者の多い地域にバス停が設置されるように設定したりすることも可能である。

5. おわりに

本研究では高齢化する集合住宅地域に着目して、バス運行最適化を図る1つのアプローチとして乗車人員のより多くなるようなバス停位置・バスルートを検討するために、人口やサービスレベル等を用いて乗車人員予測モデルを作成した。数学的に求めた式を適用し、その解を鵜呑みにして路線計画を行うのは危険である。しかし、算出された結果を基に、あるいは結果を有効活用して路線計画をスムーズに進めることができるであろう。そのひとつの手法として、この乗車人員予測モデルが事業者や運転手が考える具体的な改良ルートを検討することの助けになりうるということがわかった。

ただしモデルの説明力は今後さらに上げる必要がある。例えば今回バス停勢力圏は円領域を基本として定めたが、そこには道のりが考慮されていないため、単純な円領域でなく道路に沿った勢力圏を考えた分析が必要だと考えられる。また、今回はある1日の調査の乗降データしか得ることができなかったため、平均的な1日の乗車人員データを取得する必要がある。

脚注

[1] (株)地域市場構造研究所のAMSシステム（Area Market Simulator System）はマイクロメッシュ化を自動で行うアプリケーションを有する。その仕組みは、まず丁字目を表す電話番号から住所を割り出し、web上で緯度経度に変換したものをポイントとしてGIS上に落とす。500m四方メッシュ中のポイントの数に対する100m四方中のポイントの割合によって、500m四方メッシュ人口を配分している。

参考文献

- 1) 藤井聡：行動意図法（BI法）による交通需要予測—新規バス路線の“潜在需要”の予測事例—，土木計画学研究・論文集，pp. 563-570，2003
- 2) 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，pp. 617-626，2001
- 3) 松岡数憲，菅原操：地域交通体系の効率的再編に関する研究，土木計画学研究発表会講演集，No. 7，pp. 17-20，1985