

深夜急行バスを対象とした効率的な配車のための短期需要予測

Short-term Demand Forecasting for the Effective Vehicle Allocation of Midnight Bus

指導教授 轟 朝 幸

M2003 岩 崎 哲 也

1. はじめに

人々は天候や曜日など様々な要因によって日々交通行動を変化させていることから、日々需要変動が起きる¹⁾。公共交通もその需要変動に合わせてサービス提供されることで、利用者の利便性向上が図れ、また交通事業者にとっても運行を効率化できる可能性がある。特に深夜急行バスは、変動が大きく、それにあった配車計画（配車台数決定）ができれば、利用者および事業者にとってメリットがある。そこで本研究では、深夜急行バスの利用要因を明らかにし、ニューラルネットワークモデル(NN)を用いて深夜急行バスの必要台数を算出するための予測モデルを構築することを目的とする。

交通需要予測に関しては、多くの研究がある。その中で、短期の需要や行動を予測するためにNNを用いた研究が行われている。例えば、奥嶋ら²⁾は阪神高速道路池田出入口を対象に、2時間先の流入交通量の予測を行い、予測結果と実交通量との誤差が15台という結果を示した。このように、NNは再現性が高いモデルである。深夜急行バスを対象とした研究では、倉渕ら³⁾は深夜急行バス利用者を対象にアンケートを行い、最多利用曜日が金曜日であること、曜日別の需要変動の存在を示した。しかし、いずれの研究においても、需要変動が大きいにも関わらず、曜日や気象などの利用要因を考慮した需要予測は行われていなかった。

以上より、既存研究では天候や曜日による公共交通での需要変動の存在を示し、特に深夜急行バスは需要変動が大きいことを示しているが、再現性の高いNNを用いて公共交通とりわけ深夜急行バスを対象とした利用者数の需要予測は行われていない。

2. 対象路線と使用データ

本研究では、国際興業バスが池袋駅から郊外へと運行している深夜急行バス6路線を対象とした。また使用データは、2011年4月から2013年3月の運行日である487日間分の各路線の利用者数を用いる。

3. 深夜急行バスの実態把握

現行の深夜急行バスの運行計画などを把握するためにヒアリング調査を行った。運行日は平日のみで定員は1台約70人である。立席乗車は可能である。現況の配車計画では金曜日と祝前日は2台配車し、それ以外は1台配車することが慣例となっている。なお、現行では、配車計画は運行日1週間前に決定している。

次に、現況の深夜急行バスの利用者数動向を把握するため、曜日別・月別・イベント有無別・天候別に利用者数の基礎集計を行った。その結果を表1に示す。なお曜日や月に関しては全曜日・月で行ったが、今回はヒアリング調査より影響が考えられると想定された、月・水・金曜日、祝前日、1・3・12月について示す。

表-1 項目別の利用者数平均

項目別平均利用者数(人)	A路線	B路線	C路線	D路線	E路線	F路線
2011年4月～2013年3月の2年間の運行日	46	47	38	37	31	30
月曜日	33 (-13)	33 (-14)	25 (-13)	25 (-12)	24 (-7)	24 (-6)
水曜日	39 (-7)	41 (-6)	31 (-7)	32 (-5)	27 (-4)	28 (-2)
金曜日	79 (33)	79 (32)	68 (30)	64 (27)	47 (16)	39 (9)
祝前日	75 (29)	83 (36)	71 (33)	64 (27)	46 (15)	38 (8)
1月	45 (-1)	44 (-3)	37 (-1)	37 (0)	30 (-1)	27 (-3)
3月	53 (7)	53 (6)	45 (7)	44 (7)	36 (5)	34 (4)
12月	58 (12)	60 (13)	47 (9)	48 (11)	38 (7)	35 (5)
イベント開催時	50 (4)	53 (6)	42 (4)	41 (4)	32 (1)	31 (1)
イベント非開催時	42 (-4)	41 (-6)	34 (-4)	33 (-4)	30 (-1)	29 (-1)
雨天・降雪時	46 (0)	47 (0)	37 (-1)	37 (0)	30 (-1)	29 (-1)
晴天・曇天時	46 (0)	47 (0)	39 (1)	37 (0)	32 (1)	30 (1)

(数値)は2011年4月～2013年3月の平均利用者数との差

表-1より金曜日や祝前日、3月や12月、イベント開催時は2年間の平均利用者数よりも利用者数が多いことが明らかとなった。一方、月曜日や1月、雨天・降雪時は平均利用者数より少なくなることが明らかとなった。

4. 深夜急行バス利用要因の分析

(1) 分析方法

影響要因を決定するため、2013年12月16日月曜日24:30から1時間、始発バス停の池袋駅において利用者を対象にインタビュー形式でアンケート調査を行った。設問は、利用曜日・月とその理由、非利用曜

日・月とその理由、調査日に利用した理由、利用頻度や降車バス停などである。

これらの結果を用いて、利用要因の影響度を統計的に把握するため重回帰分析を行った。なお重回帰分析では、予測時点別での利用要因の変化を見るため、影響する項目を1か月前、1週間前、1日前、直前のそれぞれの時点別において推定する。

(2) 利用要因の基礎分析

アンケート調査より全路線で47サンプルが得られた。その結果、曜日では金曜日が最多利用曜日(全体の80%)、月曜日と水曜日が最少利用曜日(全体の46%)であった。月では、12月が最多利用月(全体の85%)、1月が最少利用月(全体の40%)であった。また表-1から祝前日と3月、イベント時は利用者数が増加することからイベントも考慮した。なお、イベントとは埼玉や横浜で行われたサッカー日本代表戦、東京ドームと日本武道館でのコンサート開催日である。また既存研究¹⁾より降水確率および降水量が影響することがわかった。

(3) 利用要因の影響度分析

利用要因の基礎分析の結果より、月・水・金曜日と祝前日、1・3・12月、降水確率および降水量、イベントを説明変数、深夜急行バス利用者数を被説明変数として重回帰分析を行い、利用要因を把握する。その結果を表-2に示す。路線ごとに傾向の違いはほとんどなかったため、平均利用者数が最大であったB路線の結果のみを示す。

表-2 重回帰分析の結果

変数	1か月前		1週間前		1日前		直前	
	係数	t値	係数	t値	係数	t値	係数	t値
月曜日	-5.951	-4.347	-5.955	-4.349	-5.859	-4.291	-6.266	-4.629
水曜日	2.084	1.584	2.080	1.581	1.951	1.486	2.231	1.717
金曜日	40.751	31.143	40.758	31.109	40.823	31.286	40.532	31.347
祝前日	38.807	11.274	38.775	11.265	38.349	11.149	39.890	11.695
1月	-0.935	-0.512	-0.963	-0.521	-1.503	-0.823	-1.365	-0.765
3月	4.872	2.757	4.831	2.743	4.714	2.691	4.577	2.639
12月	15.241	8.232	15.199	8.199	14.951	8.136	14.989	8.285
イベント	1.940	1.471	1.935	1.466	2.030	1.544	2.129	1.633
1か月前降水確率	0.409	0.300	—	—	—	—	—	—
1週間前降水確率	—	—	0.713	0.140	—	—	—	—
1日前6時~12時降水確率	—	—	—	—	2.896	1.095	—	—
1日前18時~24時降水確率	—	—	—	—	-5.937	-2.074	—	—
9時降水量	—	—	—	—	—	—	0.121	0.137
18時降水量	—	—	—	—	—	—	-2.540	-3.706
サンプル数	487							
自由度調整済み決定係数	0.749		0.749		0.752		0.756	

イベント、6時から12時降水確率、9時降水量のt値が低い、これらを除いた場合、R²値が低くなるためモデル変数として採用している。

次に影響要因について考察する。月・金曜日、祝前日、3・12月はすべての時点でt値は99%有意水

準を満たし、深夜急行バスの影響要因が大きいといえる。月曜日の係数が負の値を示していることから月曜日は利用者数が少ない要因と考えられる。その理由としては、週初めのため飲み会が多くないことや、残業が比較的少ないため深夜まで活動する人が少ないためと考えられる。金曜日や祝前日、3月や12月は係数が正の値であることから利用者数が多い要因といえる。これらの変数は週末や休前日、年度末や年末であり、飲み会が多く、繁忙期であることから深夜まで活動する人が多いためと考えられる。

また時点別にみると、乗車時間が近づくにつれて降水確率・降水量の影響が大きくなっていることが分かる。特に1日前から直前にかけては影響が大きく、午前中や9時の降水確率・降水量よりも夜間や18時の降水確率・降水量の負の影響が大きい。この理由は、乗車時間が近づくにつれ、帰宅時の降水の有無で退社後の行動を決めるためだと考えられる。例えば、帰宅時に雨が降るとわかると最寄り駅から自宅まで歩いて帰ることを嫌うことや自転車に乗って帰宅できないために、路線バスなどの公共交通が動いている時間や迎えに来てもらうことを考えるため、早めに帰宅することから深夜急行バスの利用者数が減ると推察される。

5. バス配車計画の効率性向上の検討

(1) 分析方法

配車台数決定のための利用者数予測にはNNモデルを用いる。NNは、1)外部からの数値などの情報を受け取る入力層、2)入力層もしくは下位の中間層のから数値などの情報を受け取って出力層あるいは上位の中間層に信号を送る中間層、3)外部に信号を送る出力層の3つから構成される。

前章までの基礎集計の結果より、月・金曜日、祝前日、3・12、月、イベントを、アンケート結果より水曜日と1月を、重回帰分析より降水確率・降水量が利用に影響する要因と明らかとなったことから、本研究では、NNの入力値にこれらの利用要因を採用した。なお、回帰分析ではイベントのt値が小さく、影響は小さかったが、基礎分析(表-1)より利用者数が多いことから採用した。出力値には各路線の運行日の利用者数を、教師信号には、2011年4月から2013年3月までの実利用者数を設定して1か月前、

1週間前、1日前、直前のそれぞれの時点においてモデル構築を行った。なお教師信号とは入力データに対して理想的と考えられる出力値である。非効率日とは、利用者数70人未満時にバス2台配車した日、70人以上でバス1台配車した日、140人未満でバス3台配車した日、140人以上でバス2台配車した日の4パターンと定義した。A路線では35日、B路線で8日、C路線で29日、D路線で39日、E路線で97日、F路線で7日が該当する。

(2) モデルの推定の結果

設定した入力値、教師信号、出力値に基づいて、予測時点別の利用者数予測の誤差を図-1に示す。

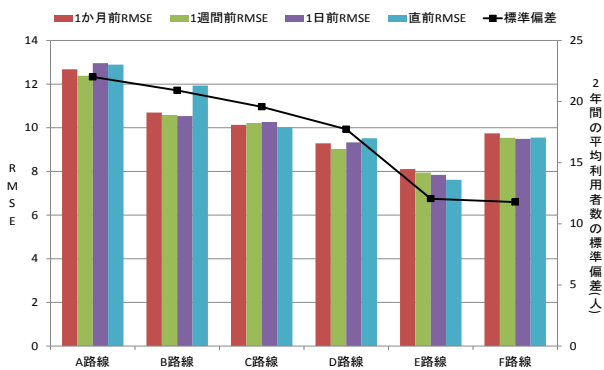


図-1 利用者数予測の誤差

モデルの評価を行うためにRMSE（最少二乗誤差法）を用いる。RMSEとは予測誤差の標準的な大きさを示す指標であり、真値との差を評価するものである。この値が小さいほど予測誤差が小さいことを意味する。一方、標準偏差は残差のばらつきの大さを表す。そのため、RMSEと標準偏差は一般的にはRMSEの値が大きいと標準偏差も大きいといった傾向を示すことが多いが、その結果の意味は異なる。

図-1より、2年間の利用者数の標準偏差が大きい、すなわち需要が不安定な路線ほどRMSEの値が大きく、モデルの精度が低下することが明らかとなった。以上より、需要の安定度が予測精度に影響していると考えられる。

標準偏差が大きいA・B・C路線は競合するバスやタクシーが存在している。それが標準偏差の大きさに寄与したものと考えられる。A路線ではアンケート調査時においても見受けられたが、発車時間の5分前にほぼ同じルートを走る他社の深夜急行バスが乗車バス停のすぐ隣から発車するため、他社のバスに乗車する人がいることが、標準偏差が大きい一因

と考えられる。深夜急行バスは定期的にご利用する人が少ないことから、運行会社を選択していないため需要が安定しないと考えられる。B路線やC路線については利用者数の80%が乗車時間30分以下のバス停で降り、タクシーでも4000円であり、比較的安価であることから、タクシーに乗車してしまうこともあるため、需要が安定しないためと考えられる。

一方、標準偏差が小さいD路線やE路線、F路線は利用者数の80%が乗車時間40分以上のバス停で降り、タクシーでも5000円以上かかるため、タクシーとの競合は比較的少なく、深夜急行バスの利用者数は比較的安定しているためと考えられる。

なおF路線は標準偏差が最少であるが、RMSEが最少でない。その理由として、重回帰分析の結果より、曜日や月のt値が他の5路線よりも低く、他の変数のt値では他5路線と差異がないため、設定した利用要因以外にも利用に影響している要因があると考えられる。それらを考慮できていないために標準偏差が最少であってもRMSEの値が最少ではない結果となったと考えられる。

予測時点別にRMSEに差が見られなかったことに関しては、利用要因の結果から金曜日や祝前日、3月や12月の影響が大きく、時間により変動する降水確率・降水量の影響があまり大きくないことから、時間別にRMSEに差がなかったと考えられる。

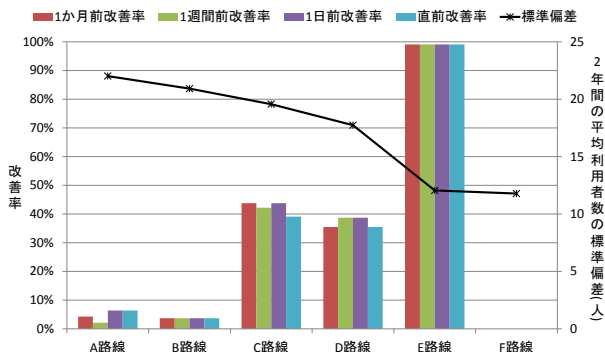
(3) バス配車計画の効率性向上の検討方法

構築したモデルより利用者数予測を時点別に行い、その結果を用いて時点別に必要台数を算出する。予測された利用者数をもとに配車台数を決定し、本研究において定めた非効率日の条件から外れた場合は改善されたと判断した。例えば、実利用者数60人時に2台のバスを配車している日は非効率日であるが、利用者数の予測人数が30人であれば1台のバスを配車することになる。実利用者数よりも30人少なく予測されているが、実利用者数が60人であっても1台のバスで十分であることから、2台の配車が1台の配車となることから効率化されたと判断する。

(4) バス配車計画の効率性向上の検討結果

構築したモデルを用いて予測時点別での必要台数を路線別に算出した。その結果を図-2に示す。なお、改善率とは、予測後の非効率日を運行日数の493日で除したものである。ゆえに改善率が高いほど、

予測前と比べ予測後の非効率日が多く減ったことを意味し、負の値であれば予測前と比べ予測後は非効率日が増えたことを意味する指標である。



図－2 必要台数の算出の結果

図－2よりF路線を除く5路線において改善率が正の値を示していることから予測前と比べて予測後は非効率日が減ったことがわかる。

特にE路線では、予測前に107日あった非効率日が106日で効率化された。この理由としては、標準偏差が約12と需要が安定している路線であるためだと考えられる。しかし、標準偏差が最も低いF路線では改善率が0%であった。これはそもそも非効率日が2日しかなく、その2日とも沿線の鉄道で運行に支障があった日であった。そのため、終電に間に合わなかったための利用者数が増えたと考えられる。ゆえに改善率が0%だったと考えられる。

標準偏差が大きいA・B路線では効率化された割合が小さい。これは、台数算出では標準偏差以上に誤差を大きくとることができるが、70人を区切りにして配車台数を決定しているため、70人前後では誤差の許容範囲が狭まるためである。例えば予測前に実利用者数69人で1台車配車時は効率的であるが、予測値が71人だと実利用者数69人でも2台配車と判断し非効率となるためである。

なお全路線での改善率は約30%であった。これは、予測前は効率的だった配車日が予測後は非効率日となってしまった日が存在するためである。その理由としては、70人を区切りにして配車台数を決定しているため、70人前後では誤差の許容範囲が狭まるためと考えられる。これも前述の通り、利用者数が70人前後の場合は予測誤差が出やすいためである。

ゆえに70人前後の予測精度を向上させることができれば、改善率が大幅に向上すると考えられる。

また現在の配車計画は1週間前に決まることから、1週前の結果について示すと、運行日の2958件(=493運行日×6路線)のうち309件(運行日の10.4%)が非効率日であったが、予測後の非効率日は150件(運行日の5.1%)となった。したがって予測前よりも予測後は効率的な配車が可能となった。

予測時点別に改善率はほとんど変化しなかった。その理由としては、モデルの推定結果と同様、金曜日や祝前日、3月や12月の影響が大きく、時間により変動する降水確率・降水量の影響があまり大きくないためと考えられる。

6. 終わりに

本研究では、深夜急行バスの利用要因の特定と利用者需要予測に基づいたバスの配車台数を算出した。利用者の影響要因では、気象より曜日や月が大きく影響し、特に金曜日、12月などが強く影響することがわかった。構築した予測モデルを用いた必要配車台数の算出では、非効率日が削減され、効率的な配車が可能となることを示すことができた。

今後の課題としては、影響要因のより深い考察やモデルのさらなる精緻化が挙げられる。また、対象地域や他路線での分析も挙げられる。

参考文献

- 1) 高山純一、塩土圭介：公共交通計画から見た通勤者の交通手段変更の実態に関する研究、土木計画学研究・論文集、No.15、pp.517-525、1998。
- 2) 奥嶋政嗣、大窪剛文、大藤武彦：ニューラルネットワークを用いた都市高速道路における時系列流入時系列交通量予測の適用性の検討、土木計画学研究・講演集、Vol.25、No.2、No 141、2002。
- 3) 倉渕健介、浅野光行：深夜急行バスにみる深夜交通サービスの評価に関する研究、土木計画学研究・講演集、No.36、pp.124-128、2007。

謝辞：

国際興業株式会社様には、データ提供、ヒアリング調査にご協力いただきました。ここに謝意を表します。本研究は、日本大学理工学部シンボリックプロジェクト研究の支援を受けています。