

# 深夜急行バス利用者の短期的需要予測

岩崎 哲也<sup>1</sup>・轟 朝幸<sup>2</sup>・川崎 智也<sup>3</sup>・西内 裕晶<sup>4</sup>

<sup>1</sup>学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: cste12003@g.nihon-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: todoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

E-mail: kawasaki.tomoya@nihon-u.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 長岡技術科学大学助教 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

E-mail: nishiuchi@vos.nagaokaut.ac.jp

人々の行動は短期的に変化しており、それに従い公共交通機関の需要も変動している。とりわけ、深夜時間帯に運行される深夜急行バスは需要変動が大きく、その配車計画が課題となっている。現在の配車計画は、曜日に基づいて行われており、客観的・科学的ではない。また、需要が少ない時でも複数台のバスを配車するなど、非効率的な配車となっている。そこで、本稿ではニューラルネットワークを用いて、深夜急行バスの利用者数予測を行った。その結果、25%から60%の確率で実利用者数の±10人以上の誤差が発生した。誤差が大きかった日は、翌日が週の半が祝日であった日や、突発的に需要が多くなったときであり、特殊なパターンであった。さらに、利用者数への影響を与える項目としては、曜日や季節や気象が影響していることが明らかとなった。

**Key Words :** Short-term Demand, Midnight Bus, Neural network, Forecasting, day, Meteorological

## 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行動を変化させている。例えば、杉沢ら<sup>1)</sup>は、買い物トリップは木曜日が最も少なく、日曜日が最も多いことを明らかにした。また、中沢ら<sup>2)</sup>は季節調整プログラムDECOMPを用いて、高速道路の短期的な需要予測を行い、曜日が最も需要に影響していることを明らかにしている。

公共交通機関も同様に利用者数が日々変動している。例えば、高山ら<sup>3)</sup>は、雨天・降雪時に普段、バスを使わない726人のうち約200人がバスへ転換することを明らかにし、天候によっても人々の行動が変化することが明らかとなった。以上より、人々の行動は短期的に変動しており、公共交通機関においても、短期的に需要が変動していることが明らかとなった。

公共交通機関の中でも、深夜帯に運行される深夜急行バスはヒアリング調査より、同じ週でも曜日によって、約80人の変動が存在し、需要変動が大きいことが明らかとなった。しかし現況ではバスの配車は暗黙の規則と担当者の経験により行われており、客観的ではない。

そこで本研究では、深夜急行バス利用者数を予測することを目的とする。

具体的にはニューラルネットワークモデル(以下、NN)を用いて短期的な深夜急行バス利用者数を予測する。それにより、客観的かつ科学的な予測が可能となり、それに基づいた効率的な配車計画が可能になる。

## 2. 深夜急行バスの実態把握

現況の深夜急行バスの運行計画などを把握するため、深夜急行バスの概要を表-1に示す。

表-1 深夜急行バスの概要

運転日と運行本数	平日のみ(年末年始・お盆は除く)で1便
発車時刻・所要時間	午前1時20分発(山手線の終電後)・約1時間
深夜急行バスの定員	1台60人程度で座席は35名分程度
乗車の方法	乗車前に整理券を購入(事前予約は不可)
日平均利用者数	平均約45人 ※最多利用者数154人、最少利用者数4人

表-1より、日平均利用者数は約45人だが、最も利用者数が多かった日の利用者数と最も少なかった日では150人の差があった。また、同一路線で8月の平均利用者数は43人であったが、12月の平均利用者数は63人と月による変動も見られた。

以上より、深夜急行バスは利用者数の変動が大きく、すなわち需要変動が大きいことが確認された。

次に、現況の深夜急行バスの配車計画などを知るためにヒアリング調査を行った。その結果を表-2に示す。

表-2 ヒアリング結果の整理

現在の配車計画	金曜・祝前日は2台 それ以外は1台 (暗黙の規則として存在)
現況の問題点	3台目のバスが必要かどうかの予測が困難 乗務員を残し、不必要だった時は無駄なコスト
予測範囲の許容誤差	±10人程度(定員の2割弱)
需要変動要因	曜日・季節の他鉄道の運行が影響 天候にはあまり影響されない

表-2より、現況の配車計画では金曜日と祝前日は2台のバスを配車し、それ以外は1台のバスを配車することが暗黙の規則として存在していることが明らかとなった。実際にある路線では、ある金曜日の利用者数が65人で2台配車したが、ある木曜日では利用者数が66人で1台しか配車しなかった事例が見受けられた。

また、予測精度における誤差の許容範囲は±10人以内であることが明らかとなった。これは定員を10人超さない利用者が存在した時には、超過した10人以内のためにバスを配車するコストのほうが収入より大きくなることからバスを配車しないが、10人を超すとバスを配車するコスト以上の収入が見込めるためである。すなわち、採算性の観点から±10人以内の誤差が求められている。

以上より、現況の配車計画は需要変動が大きいにも関わらず曜日以外は考慮されておらず、需要が過少の時でも2台バスを配車しており、運行面や採算性の面からも非効率であるといえる。

### 3. 分析手法

#### (1) NNの概要

NNは、脳機能に見られるいくつかの特性を、計算機上のシミュレーションによって表現することを目指した数学モデルであり、事象の予測に使われている。NNの一般的な模式図を図-1に示す。

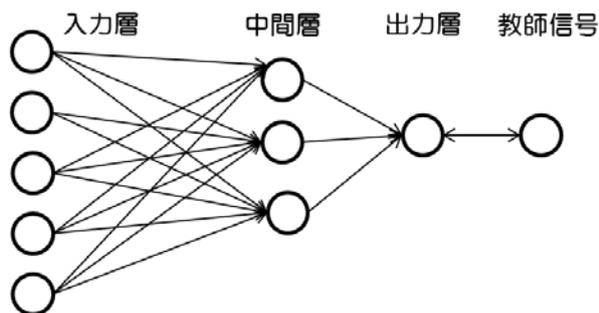


図-1 NNの模式図

構成としては、ネットワークの外部からの信号を受け取る入力層、入力層もしくは下位の中間層のニューロンから信号を受け取り、出力層あるいは上位の中間層に信号を送る中間層、ネットワークの外部に信号を送る出力層の3つから構成される。ただし、モデルによっては中間層が構成されない場合も存在する。その後、ある入力パターンが与えられた時に、それに対応する出力パターンが、過去の実際に観測され得られた実データである教師信号と一致するようにネットワークのニューロン間の重みを修正する。これを学習と呼び、学習によりNNは予測精度を高めていく特徴がある。

なおNNの身近な使用例としては天気予報が挙げられる。

#### (2) NNを用いた既存研究の整理

NNを用いた研究としては、奥嶋ら<sup>4)</sup>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。また、佐々木ら<sup>5)</sup>は人々の観光行動をパターン化し、そのパターンごとの人数を、誤差4人以内という結果を示した。このことから、NNは再現性が高いモデルであると考えられる。しかし、これらの研究はNNを用いているが、曜日や気象を考慮した短期的な交通需要予測は行われていない。また、NNを用いて曜日や気象などを考慮した公共交通機関の利用者数予測は行われていない。

以上より、NNを用い曜日や気象を考慮した公共交通、とりわけ深夜急行バスの利用者数を予測することとした。

### 4. 対象路線と使用データ

本稿では、山手線などの都心部から郊外へと運行している深夜急行バス路線8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月までの過去2年間分の各路線の利用者数を用いる。

なお、今回は2年間で最も利用者数が多かった路線(以下、A路線)と最も利用者数が少なかった路線(以下、B路線)を対象に分析を行った。A路線の2年間の合計利用者数は約22,300人で日平均利用者数は約47人、B路線の2年間の合計利用者数は約14,500人で日平均利用者数は約30人と、合計利用者数で約8,000人、日平均利用者数で約17人の差があった。

なお、両路線とも始発駅は同駅で、所要時間はともに約1時間である。しかし、発車時刻A路線で1時20分発であるのに対し、B路線は1時5分発であり、A路線と比べ15分早い発車時刻となっている。これは1時20分発にB路線と同一区間を走行し、B路線の終点よりも先まで運行される深夜急行バスが設定されているためである。

## 5. 分析方法

本稿では、2011年4月から2013年2月までの467日の実利用者数を学習データとして用いて、2013年3月の利用者数予測を行うためのモデルを構築する。

NNを用いて予測を行うモデルを構築するにあたり設定した入力値の項目と出力値の項目、学習データに用いたデータを表-3に示す。なお曜日や気象、株価や為替を入力値として設定した理由は、既存研究<sup>12)3)</sup>より交通行動に変動を及ぼすと明らかになっているためである。なお、曜日についてはヒアリング調査より、月曜日は利用者数が少ないことから月曜日ダミーを、金曜日と祝前日は利用者が多いことから、金曜日ダミー、祝前日ダミーを設定した。その他、ヒアリング調査より3月や12月の利用者数が他の月の利用者数と比較して平均で約20人多いため、3月と12月をダミーとして入力した。また、季節変動を考慮するために春・夏・秋・冬と四季をダミーとした。

表-3 入力値の項目と出力値の項目

入力値の項目(34項目)	
月曜日ダミー(月曜日を1, それ以外を0)	9時の天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)
金曜日ダミー(金曜日を1, それ以外を0)	12時の気温
祝前日ダミー(祝前日を1, それ以外を0)	12時の降水量
春季節ダミー(3月から5月を1, それ以外を0)	12時の天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)
夏季節ダミー(6月から8月を1, それ以外を0)	18時の気温
秋季節ダミー(9月から11月を1, それ以外を0)	18時の降水量
冬季節ダミー(12月から2月を1, それ以外を0)	18時の天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)
3月ダミー(3月を1, それ以外を0)	日照時間
12月ダミー(12月を1, それ以外を0)	前日曇差天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)
最高気温	前日予想最高気温
最低気温	前日予想最低気温
気温差(最高気温-最低気温)	前日予想降水確率 0時から6時
1時の気温	前日予想降水確率 6時から12時
1時の降水量	前日予想降水確率 12時から18時
1時の天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)	前日予想降水確率 18時から24時
9時の気温	日終平均株価
9時の降水量	為替(円ドル相場)
出力値の項目	
2013年3月の深夜急行バスの予測利用者数	
学習データに用いる項目	
2011年4月から2013年2月までの467日間の実利用者数	

モデルを構築した後、2013年3月に運行された日数の20日間を対象として利用者数を予測する。同時に、モデルの精度を確かめるためにRMSE(最少誤差二乗法)を用いた。

その後、予測された利用者数と実利用者数とのかい離を見る。かい離結果を見たの後、予測値に影響を及ぼした項目を明らかにするため、重み係数を用いて推定する。重み係数の算出式を式(1a)に示す。

$$\Delta W_{ij} = \varepsilon(t_i - o_j) a_i \quad (1a)$$

ここで、 $\Delta W_{ij}$  : 修正結合荷重

$\varepsilon$  : 正の定数

$t_i$  : 教師信号

$O_j$  : 出力層での出力値

$a_i$  : 中間層での出力値

## 6. 分析結果

### (1) NNを用いた利用者数の予測結果

構築したモデルを用いて、2013年3月におけるA路線およびB路線における2013年3月の予測利用者数を行った。予測利用者数と2013年3月の実利用者数とのA路線における相関図および相関係数を図-2に、B路線における相関図および相関係数を図-3に示す。

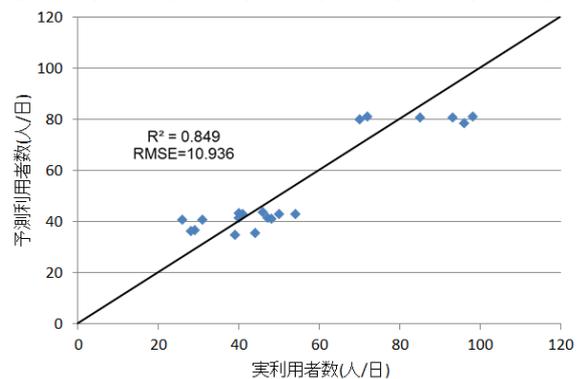


図-2 A路線の予測利用者数と実利用者数の相関図

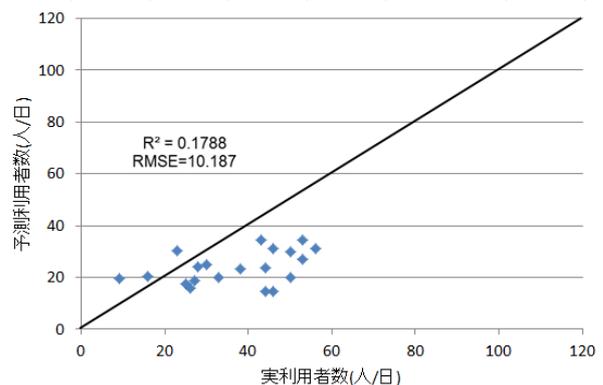


図-3 B路線の予測利用者数と実利用者数の相関図

図-2より、A路線では予測利用者数と実利用者数との相関係数は0.849となっており高い相関が認められた。

一方、B路線では図-3より予測利用者数と実利用者数との相関係数は0.179となっており低い相関となった。

またRMSEの結果に着目すると、両路線とも予測精度としては約10人の範囲で予測されるモデルとなったことが明らかとなった。

次に、予測利用者数と実利用者数とのかい離がどの程度であったかを表-4に示す。

表-4 両路線の予測値と実利用者数のかい離結果

	A路線	B路線
±10人以上の誤差が出た日数(日)	5	12
±10人以上の誤差が出た日数の割合(%)	25.0	60.0
最大誤差人数(人/日)	-18	-31

表-4より、A路線では、誤差の許容範囲内である±10人以内に収まらなかった日数が5日で、これは3月の運行日である20日のうち25%に該当するものであった。

B路線では12日で、これは3月の運行日である20日のうち60%に該当するものであった。

A路線で最も誤差が大きかった年月日は2013年3月19日火曜日であり、その誤差は実利用者数より18人少なく予測された。理由としては、翌日3月20日が祝日(春分の日)であったことが影響していると考えられる。

学習期間でも週の半ばに祝日がある日数は8日であり、十分に祝前日だと考慮されなかった可能性が高い。

B路線で最も誤差が大きかった年月日は2013年3月14日木曜日であり、その誤差は実利用者数より31人少なく予測された。理由としては、学習期間の木曜日の平均利用者数よりも約20人利用者数が多く、全木曜日の中でも利用者数が最多であったためと考えられる。

ゆえに、誤差が大きくなった日は普段の傾向とは違う特殊なパターンが影響していると考えられる。

## (2) 予測利用者数に影響を及ぼしている項目結果

予測利用者数に影響を及ぼしている入力値の項目を重み係数から推定した。A路線の結果を表-5に、B路線の結果を表-6示す。

表-5 A路線の出力値への重み係数

項目	係数
月曜日ダミー(月曜日を1, それ以外を0)	-0.366
金曜日ダミー(金曜日を1, それ以外を0)	1.783
祝前日ダミー(祝前日を1, それ以外を0)	1.633
3月ダミー(3月を1, それ以外を0)	0.466
12月ダミー(12月を1, それ以外を0)	0.757
春季ダミー(3月から5月を1, それ以外を0)	-0.124
秋季ダミー(9月から11月を1, それ以外を0)	0.234
18時の気温	-0.081
18時の降水量	1.475
18時の天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)	-0.412
前日予想最低気温	0.102
前日予想降水確率 0時から6時	0.040

表-6 B路線の出力値への重み係数

項目	係数
月曜日ダミー(月曜日を1, それ以外を0)	-0.086
金曜日ダミー(金曜日を1, それ以外を0)	0.200
祝前日ダミー(祝前日を1, それ以外を0)	0.001
12月ダミー(12月を1, それ以外を0)	0.121
冬季ダミー(12月から2月を1, それ以外を0)	-0.008
9時の気温	-0.180
9時の降水量	0.069
12時の気温	0.197
12時の天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)	-0.033
前日発表天気ダミー(晴れ曇りを1, それ以外を0)	-0.043
前日予想最低気温	-0.015
前日予想降水確率 6時から12時	0.018
前日予想降水確率 18時から24時	-0.063
日経平均株価	-0.041

表-5および表-6より、A路線およびB路線ともに金曜日および祝前日が予測結果に影響を及ぼしていた。これは、ヒアリング調査の結果とも一致していた。

金曜日および祝前日が影響している要因としては、残業や飲み会など深夜まで人々が活動する機会が多いためだと考えられる。

ただし表-6より、B路線においては祝前日がほぼ影響していないことが明らかとなった。祝前日の平均利用者数は約41人と金曜日の平均利用者数の39人より2人多かった。しかし、個別にみると最も利用者数多かった祝前日で68人、最も少ない時で18人と分散が大きかった。例えば、祝前日であるにも関わらず、祝前日ではない同様の曜日と比較した時よりも利用者数が少ない時も多く見受けられた。つまり、祝前日にも関わらず利用者数が必ずしも多くなっていないことから、祝前日の影響があまりなかったのではないかと考えられる。

一方、月曜日は負の影響を及ぼしている。これは、週初めのため、残業や飲み会など深夜まで人々が活動する機会が少ないためだと考えられる。

月に注目すると、両路線とも最も影響を与えていたのは12月であった。これは、12月は忘年会や年末で仕事に追われる人が多く、深夜まで活動する人が増えるためだと考えられる。A路線では3月においても影響を与えていた。これは12月と同様、送別会や年度末で深夜まで活動する人が増えるためだと考えられる。

季節ではA路線では春が負の値を示した。これは、3月以外の4月、5月の利用者数が少なかったことが要因として考えられる。一方、秋は正の値を示した。これは祝前日が他の季節と比べ3日多かったことや、18時に降水量を観測した日数が多かったためと考えられる。

B路線では、冬ダミーが負の値を示した。これは12月以外の1月、2月の利用者数が少なかったことが要因として考えられる。

次に気象条件では、表-5よりA路線では18時の降水量が影響を及ぼしていた。これは、帰宅時に雨が降っていれば、雨の中の帰宅を嫌い深夜まで残ろうとする心理が働くためだと考えられる。

一方、B路線では表-6より12時の気温が影響を及ぼしていた。これは、今日は暑いと感じ暑い飲み会や帰宅を遅らせようとする心理が働くためだと考えられる。

以上より、特に気象に関しては路線ごとに利用者数に影響している項目が異なることが明らかとなった。これは、運行する路線の地域特性(例;最寄駅までの自転車利用率)などが影響していると考えられる。実際に、A路線は都区内の団地を中心とした地域を運行しているが、B路線は郊外の一軒家が中心とした地域を運行しており、そういった地域特性によって、路線ごとに利用者数へ影響を与えている項目が異なると考えられる。

## 7. 終わりに

本稿では、NNを用いて深夜急行バスの利用者数予測を行うことができた。また、深夜急行バスの利用者数は金曜日、祝前日と3月と12月といった送別会や忘年会および年度末、年末で多忙な時期、18時の降水量や12時の気温などが影響していることが明らかとなった。さらに、路線ごとによっても利用者数に影響している項目が異なることが明らかとなった。

今後の課題としては、モデルのさらなる精緻化が必要である。具体的には、より短期的な変動(数日や数時間先)を考慮し予測するために、時間を考慮した入力値の項目を検討する必要がある。さらに、今回は対象8路線のうち2路線のみの分析であることから、すべての対象路線について同様の分析を行う必要がある。

**謝辞：**国際興業株式会社様には、データ提供およびヒアリング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。

### 参考文献

- 1) 杉恵頼寧, 芦沢哲蔵：買物・使用交通の曜日変動特性, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.26 No.47,

pp.277-282, 1991.

- 2) 中沢航大, 佐々木邦明：高速道路利用データを活用した高速道路の短期的需要変動に関する研究, 交通工学研究会発表会論文集, Vol.31, No.52, pp.267-270, 2011.
- 3) 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.
- 4) 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, 講演番号 141, 2002.
- 5) 佐々木恵一, 田村亨, 榎谷有三, 齊藤和夫：ニューラルネットワークを用いた観光周行動の基礎的分析, 日本都市計画学会学術研究論文集, Vol.31, No.62, pp.367-372, 1996.

?

## Short-term Demand Forecasting of Passenger of Midnight Bus

Tetsuya IWASAKI, Tomoyuki TODOROKI, Tomoya KAWASAKI  
and Hiroaki NISHIUCHI

Meanwhile, the demand for public transportation fluctuates in short-term as people's behavior changes rapidly. Especially, the fluctuation of demand for midnight bus is large. Therefore, assignment of midnight bus is controversial issue. Recent plan is formed non-scientifically and non-objectively, using past data that focuses on the number of passenger in each day of the week. Furthermore, the assignment plan is sometimes ineffective because of over-supply during the day with small demand.

Therefore, this study predicts the demand for midnight bus by using Neural Network. As a result, the demand is predictable with a probability between 25%-60%, with an uncertain 10 people. Also, event and holiday in midweek cause large margin of demand error. It was found that the special patterns such as occasional demand causes large errors. Additionally, the day of the week and a season and the weather effect on the number of passenger.