

バスプローブデータを用いた路線バスの 予想所要時間に関する基礎的研究

辰巳 浩 *Hiroshi TATSUMI*
九州産業大学工学部教授

大野 雄作 *Yusaku OHNO*
アジア航測株式会社

要旨：本論文では、路線バスの所要時間の変動要因について分析するとともに、予想所要時間の算出方法について検討した。まず、西日本鉄道（株）の福岡市内路線バスにおける2006年3月から2007年2月までのバスプローブデータを使用し、天気、台風、気温、月、曜日、五十日、時間帯の要因を取り上げ、バスの運行に及ぼす影響について検討した。次に、予想所要時間としてダイヤ上の所要時間、年間平均所要時間、数量化理論Ⅰ類に基づく所要時間、月・曜日・時間帯別平均所要時間、月・曜日・便別平均所要時間を用いたケースについて、各予想値と実際の所要時間とのかい離を比較した。

■キーワード：路線バス、予想所要時間、プローブデータ

はじめに

近年、特に地方都市では、モータリゼーションの進展にともない、公共交通の利用者減少が深刻な問題となっている。

公共交通の利便性向上を図る上で、情報提供は有効な手段のひとつである。鉄道については、インターネットを活用した路線検索サービスが実施されており、ダイヤ情報に基づく最短経路情報や乗継情報等が提供されている¹⁾。また、バスについてみると、近年ではバスロケーションシステムによる情報提供が多くの都市で実施されている。しかしながら、ここでの情報提供は「乗車する停留所にバスがいつ来るのか」を知らせるにとどまっている。バスにおいても鉄道と同様に路線検索サービスを実施することは利便性の向上につながるといえ、一部の路線を対象にそうしたサービスも既に実施されている²⁾。しかしながら、ここでの情報提供は、鉄道の場合と同様、ダイヤ情報に基づくものであり、運行の定時性に問題のあるバスについては、より信頼性の高い情報提供が求められている。

わが国のバスロケーションシステムで提供されているバス到着予想時刻については、そのほとんどが現在のバスの位置から当該停留所までのダイヤ上の所要時間に現在の時刻を加えることにより算出されている。より精度の高い情報提供を行う上では、現在のバスの位置から当該停留所までの所要時間に渋滞の影響を考慮することが望ましいといえるが、予想された時刻よりも早くバスが到着することは、利用者の大きな不満を招く。そこでバス事業者は、前述の方法により到着予想時刻を算出し、かつ運転手に回復運転をしないよう指導することにより、予想した時刻よりも遅れることはあっても早くバスが通過してしまうことのないよう配慮している。

バスの遅れを考慮した路線検索サービスを実施する上でも、乗車停留所におけるバス到着予想時刻については、同様の理由により、バスが発発前の場合にはダイヤ上の到着時刻を、始発後の場合には前述の算出方法による到着時刻を提供すべきであるといえる。一方、降車停留所への到着予想時刻については、予想された時刻よりも早く到着する

ことによる利用者の不満は少ないと考えられることから、乗車停留所におけるバス到着予想時刻に、遅延を考慮した降車停留所までの予想所要時間を加えることにより算出することが望ましいといえる。

バスの運行所要時間に関する情報としては、ほとんどのバス事業者では時刻表の提示にとどまっているが、バスプローブデータを用いたリアルタイム所要時間の情報提供を行っている例もある³⁾。ここでは、路線上にいくつかの区間を設定しておき、その区間ごとの所要時間の最新データをバスプローブシステムにより収集し、路線経路順の区間ごとのデータを足しこむことにより予想所要時間を算出する方式が採用されている。しかしながら、この方式では特にオフピーク時からピーク時に移行する時間帯などにおいては、実際の所要時間と大きくかい離した予想所要時間が提供される可能性がある。また、路線検索サービスでは、当日の検索のみならず、翌日以降の検索にも対応する必要がある。

以上のことを踏まえ、本研究ではバスプローブデータを用いたケーススタディを行い、バスの運行所要時間の変動要因について分析するとともに、翌日以降の路線検索サービスにも対応するため、リアルタイムデータを使用しないことを前提とした予想所要時間算出のあり方について検討することとする。

1. 分析対象データ

本研究では、西日本鉄道(株)の福岡市内路線バス「雁の巣駅前発天神三丁目行き(系統番号 21A)」における 2006 年 3 月から 2007 年 2 月に測定された 1 年分のバスプローブデータのうち、分析可能な 16,360 便を使用した。入手した生データには、様々なエラーが含まれており、特に始発停留所と終着停留所については、運転手の操作に起因すると思われるデータ欠損や異常値が数多く含まれていた。そこで本研究では、始発停留所と終着停留所のデータを分析対象外とし、それ以外のデータについてはクレンジングを行った。当該路線は停

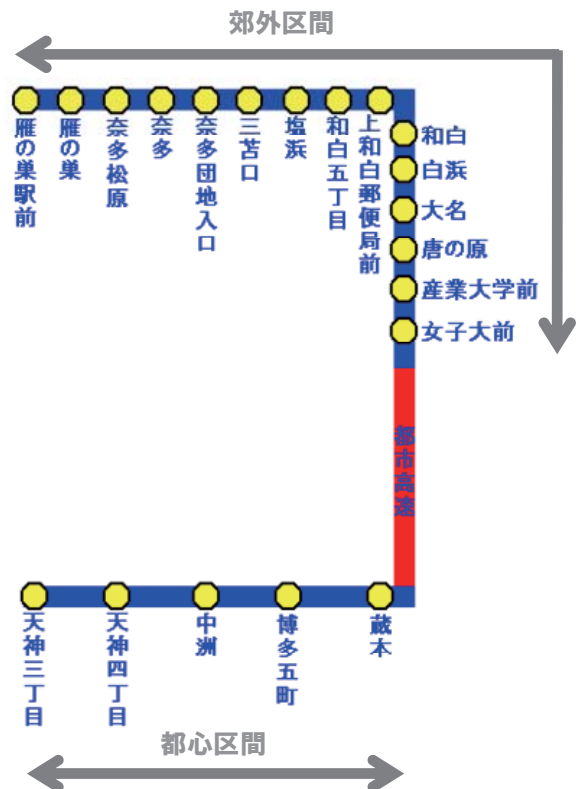


図 1 分析対象バス路線

留所数 20 カ所、路線長 15.72km、運行本数 53 本/日(土曜・日祝日は 42 本/日)であり、郊外部から一部都市高速道路区間を経て都心部に至る特性を有する(図 1)。なお、本研究では始発停留所の次の停留所(以降、始発停留所とする)から終着停留所の一つ手前の停留所(以降、終着停留所とする)までの所要時間を対象に分析を行っている。

2. 対象路線の所要時間分布

図 2 は対象路線の始発停留所から終着停留所までの実際の所要時間の分布を示している。所要時間の平均は 35.7 分であり、ダイヤ上の平均所要時間である 30.9 分よりも長くなっている。なお、当該路線におけるダイヤ上の所要時間は、曜日や時間帯により僅かながら変動している。ここで、所要時間の分布形とダイヤ上の平均所要時間の関係に着目すると、ほとんどの便の所要時間はダイヤ上の平均所要時間よりも長くなっていることがわかる。すなわち、設定ダイヤよりも遅れることはあっても早くなることはないように運行されてい

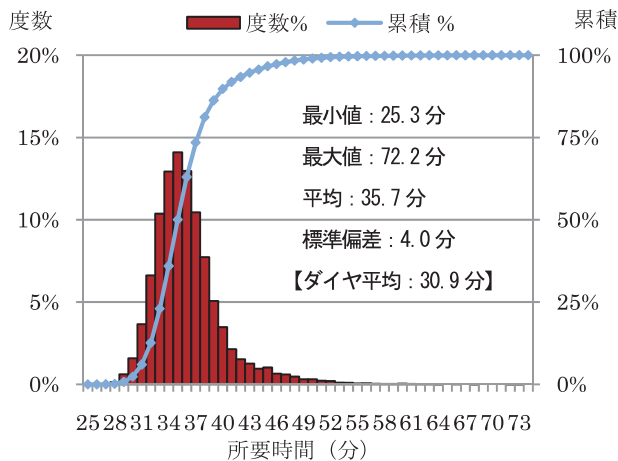


図2 運行所要時間分布

るといえる。このように、実際の運行はダイヤに比して全体的に遅れる傾向があることから、前述の目的をにらんだ予想所要時間算出においては、遅延を考慮することが有効であるといえる。

3. バスの運行に影響を及ぼす要因の分析

(1) 天気別の分析

図3は天気別に平均所要時間と標準偏差を示したものである。平均所要時間は晴・曇、時々雨に比して雨、大雨の方がわずかながら長くなっており、標準偏差についても同様の結果となった。

(2) 台風の有無別の分析

図4は台風接近日とそれ以外の日の平均所要時間と標準偏差を比較したものである。台風接近日よりもそれ以外の方が平均所要時間は長く、所要時間のばらつきも大きい結果となった。これは、台風の接近は事前に情報提供されることから、台風接近時には道路交通量自体が少なくなることがその理由として考えられる。

(3) 気温別の分析

図5は気温別の平均所要時間と標準偏差の変化を示している。平均所要時間についてはほとんど差が見られないが、標準偏差については10℃以上20℃未満および30℃以上がわずかながら大きい結果となった。

(4) 月別の分析

図6は月別の平均所要時間と標準偏差を示している。図より、12月が最も平均所要時間が長く、

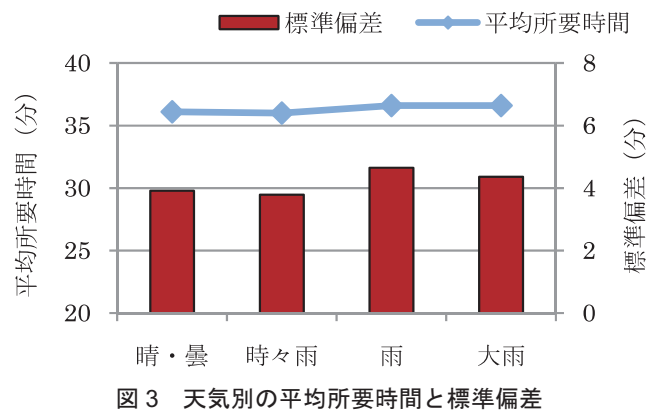


図3 天気別の平均所要時間と標準偏差

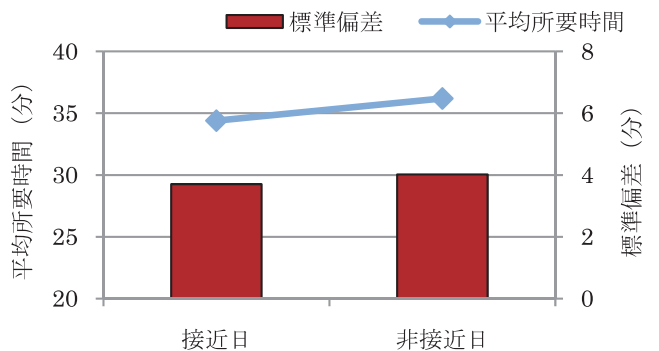


図4 台風の有無別の平均所要時間と標準偏差

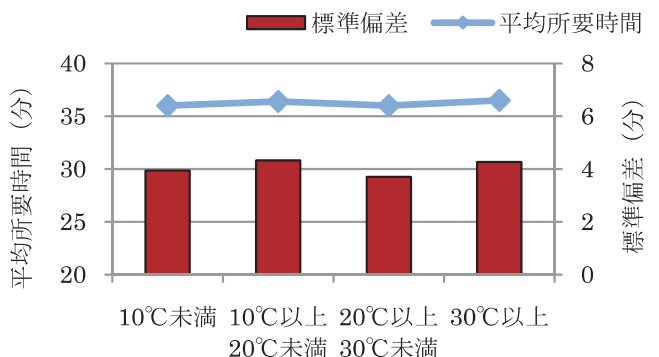


図5 気温別の平均所要時間と標準偏差

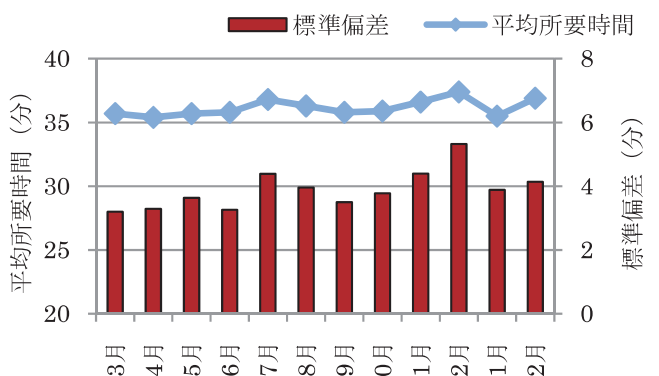


図6 月別の平均所要時間と標準偏差

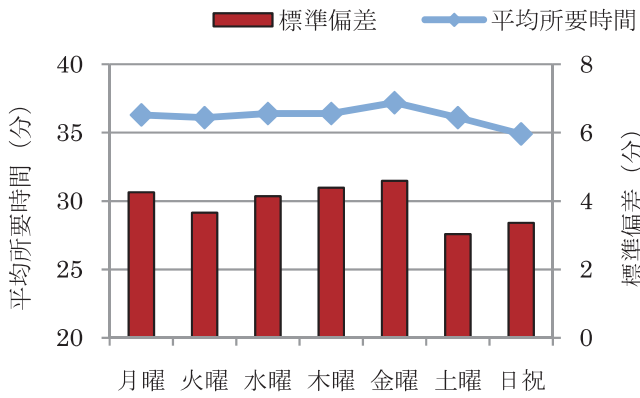


図7 曜日別の平均所要時間と標準偏差

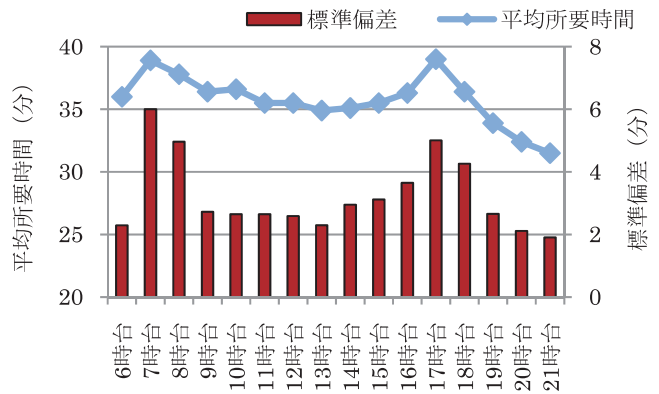


図9 時間帯別の平均所要時間と標準偏差

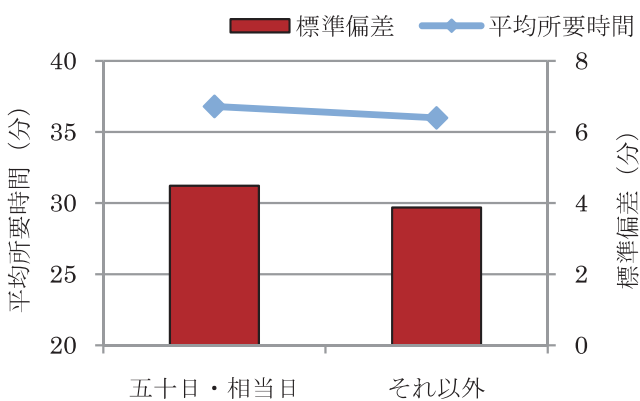


図8 五十日とそれ以外の日の平均所要時間と標準偏差

所要時間のばらつきも他の月に比して大きいことがわかる。

(5) 曜日別の分析

図7は曜日別の平均所要時間と標準偏差を示したものである。同一ダイヤで運行する平日について比較すると、金曜日の平均所要時間および標準偏差が最も大きくなっていることがわかる。また、土曜日と日祝日は、平日に比して所要時間のばらつきは小さく、特に土曜日が小さい。また、平均所要時間では日祝日が短くなっている。

(6) 五十日に関する分析

図8は五十日または相当日とそれ以外の日について、平均所要時間と標準偏差を比較したものである。五十日（相当日）の方が平均所要時間・標準偏差ともに若干大きくなった。

(7) 時間帯別の分析

図9は始発停留所出発時刻を時間帯別に分類し、それぞれの平均所要時間と標準偏差を比較したも

表1 数量化理論I類による結果

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数量	偏相関係数
天気	晴・曇	-0.039	0.054
	時々雨	-0.235	
	雨	0.332	
	大雨	0.689	
台風	あり	-2.583	0.052
	なし	0.014	
気温	10°C未満	-0.418	0.077
	10°C以上20°C未満	0.295	
	20°C以上30°C未満	-0.149	
	30°C以上	0.300	
月	3月	-0.695	0.170
	4月	-1.035	
	5月	-0.546	
	6月	-0.374	
	7月	0.586	
	8月	0.100	
	9月	-0.143	
	10月	-0.048	
	11月	0.073	
	12月	1.238	
	1月	-0.236	
	2月	0.715	
曜日	月曜	0.191	0.188
	火曜	-0.062	
	水曜	0.248	
	木曜	0.306	
	金曜	1.067	
	土曜	-0.211	
	日祝	-1.378	
	五十日	0.225	
時間帯	相当日	0.225	0.031
	それ以外	-0.061	
	6時台	-1.713	0.445
	7時台	2.829	
	8時台	1.859	
	9時台	0.328	
	10時台	0.583	
	11時台	-0.335	
	12時台	-0.500	
	13時台	-1.142	
	14時台	-0.984	
	15時台	-0.631	
	16時台	0.172	
	17時台	2.761	
	18時台	0.301	
19時台	-2.343		
20時台	-3.749		
21時台	-5.081		
定数項		36.138	
重相関係数		0.494	

のである。朝夕のピーク時において、平均所要時間および標準偏差が大きくなることがわかる。

(8) 数量化理論Ⅰ類による分析

上記の結果を踏まえ、所要時間を被説明変数とする数量化理論Ⅰ類による分析を行った。結果は表1に示すとおりである。

時間帯の偏相関係数が最も高く、次いで曜日、月の順で高い結果となっており、これらの要因が所要時間に与える影響が大きいといえる。また、天気、台風の有無、気温、五十日については、所要時間に与える影響はさほど大きくないことがわかった。

4. 予想所要時間について

本章では、バスの予想所要時間の算出について検討する。算出方法として、(1)ダイヤに基づく所要時間、(2)1年間の平均所要時間、(3)数量化理論Ⅰ類に基づく所要時間、(4)月・曜日・時間帯別の平均所要時間、(5)月・曜日・便別(同月・同曜日の同一便)の平均所要時間を用いたケースについて、実際の所要時間との乖離を比較することにより、各手法の精度の検討を行った。各手法の概要と結果は以下に示すとおりである。

(1) ダイヤに基づく所要時間

ダイヤ情報をそのまま所要時間情報として提供するケースである。本研究では、当該手法から得られる結果を基準とし、他の手法における予測精度向上の程度について検討する。

(2) 1年間の平均所要時間

1年間の各便における所要時間の平均値を提供するケースである。

(3) 数量化理論Ⅰ類に基づく所要時間

前章の結果を踏まえ、所要時間の変動に与える影響が大きかった月、曜日、時間帯をアイテムとする数量化理論Ⅰ類による分析を行い、所要時間を算出している。ここでは予測精度向上のため、ダイヤ設定区分にあわせ、平日、土曜日、日祝日の3通りについて数量化理論による理論値算出を行った。紙面の都合上、平日における数量化理論Ⅰ類の結果のみを示す(表2)。

(4) 月・曜日・時間帯別の平均所要時間

前章の結果を踏まえ、月、曜日、時間帯別に平均所要時間を算出するケースである。ここでは、予想の対象となる便の実績値が予想値に及ばず影響を排除するため、当該データを除外して平均所要時間を算出している。

(5) 月・曜日・便別の平均所要時間

前項のケースでは、同時間帯であってもオフィスピーク時からピーク時に移行する時間帯などでは所要時間差が生じる可能性がある。そこで、月、曜日、便別に平均所要時間を算出した。ここでも前節と同様、予想対象便のデータを除外して平均所要時間を算出している。

表2 数量化理論Ⅰ類による結果(平日)

アイテム	カテゴリ	カテゴリ数量	偏相関係数
月	3月	-0.538	0.182
	4月	-0.986	
	5月	-0.633	
	6月	-0.401	
	7月	0.845	
	8月	0.213	
	9月	-0.384	
	10月	-0.263	
	11月	0.418	
	12月	1.229	
	1月	-0.567	
	2月	0.7	
曜日	月曜	-0.181	0.116
	火曜	-0.419	
	水曜	-0.102	
	木曜	-0.043	
	金曜	0.712	
時間帯	6時	-1.4	0.566
	7時	5.276	
	8時	3.468	
	9時	0.39	
	10時	0.253	
	11時	-1.261	
	12時	-1.327	
	13時	-1.773	
	14時	-1.272	
	15時	-0.961	
	16時	-0.097	
	17時	3.152	
	18時	0.481	
19時	-2.573		
20時	-3.707		
21時	-4.897		
定数項		36.432	
重相関係数		0.586	

表 3 所要時間の予想値と実績値とのかい離

	(分)			
	95パーセン タイル値	99パーセン タイル値	かい離の 平均値	かい離の 標準偏差
ダイヤ上の時間	11.3	17.8	4.8	3.7
年間平均値	7.7	14.4	0.0	4.0
数量化理論 I 類	5.3	10.9	0.0	3.3
月・曜日・時間帯別平均値	5.1	10.1	0.0	3.2
月・曜日・便別平均値	5.2	10.1	0.0	3.4

(6) 結果の比較

表 3 は、5 つの手法により算出した 1 年分の各便の所要時間の予想値と実績値とのかい離について、95 パーセンタイル値、99 パーセンタイル値、かい離の平均値、かい離の標準偏差を示したものである。表より、ダイヤに基づく所要時間では、平均 4.8 分のかい離が生じており、全体の 5% の便はダイヤ上の所要時間より 11 分以上、1% の便は 17 分以上遅れているといえる。その他の手法についてみると、いずれもダイヤに基づく所要時間よりも予測精度が向上しており、特に月・曜日・時間帯別平均所要時間による方法と月・曜日・便別平均所要時間による方法の精度が高いことがわかる。これらの手法における実績値とのかい離は、95 パーセンタイル値が約 5 分、99 パーセンタイル値が約 10 分となっている。

5. 外れ値の分析

前章の結果より、月・曜日・時間帯別の平均所要時間と月・曜日・便別の平均所要時間を予想値として用いるケースが優れていることがわかった。そこで本章では、これらの手法により算出された予想所要時間と実績値とのかい離の 95 パーセンタイル値を超えるものを「外れ値」と定義し、バスの運行に影響を与える要因別の各要素のサンプル数を分母とした外れ値の割合を算出し、どのような状況の時に予想が大きく外れやすいのかについて検討する。

(1) 天気別の分析

図 10 は外れ値の割合を天気別に示している。

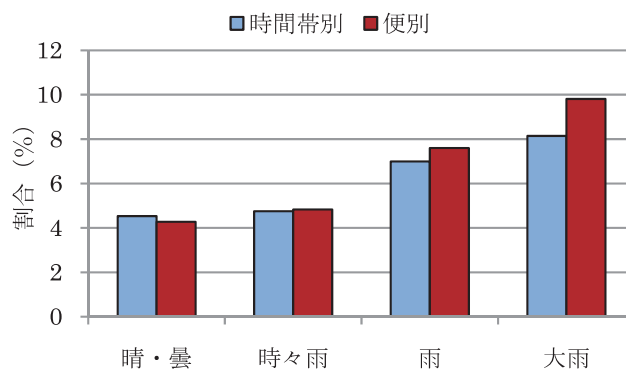


図 10 天気別の外れ値の割合

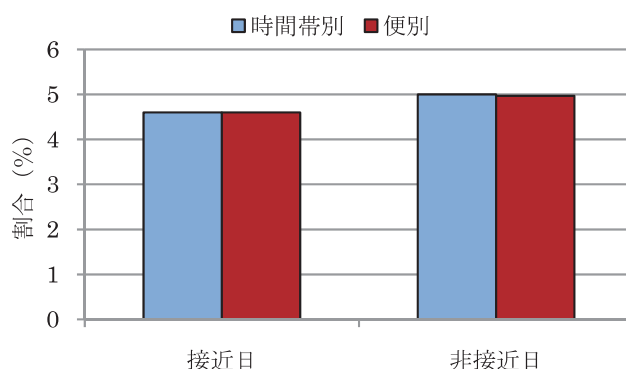


図 11 台風の有無別の外れ値の割合

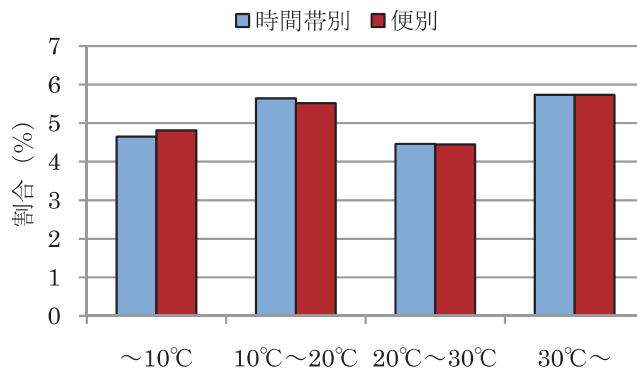


図 12 気温別の外れ値の割合

図より、雨が強く降るほど外れ値の割合が高く、予想が外れやすいことがわかる。

(2) 台風の有無別の分析

図 11 は外れ値の割合を台風の有無別に示している。台風接近日と非接近日では、さほど大きな差は見られなかった。

(3) 気温別の分析

図 12 は外れ値の割合を気温別に示している。図より、気温による違いはさほど大きくないといえる。

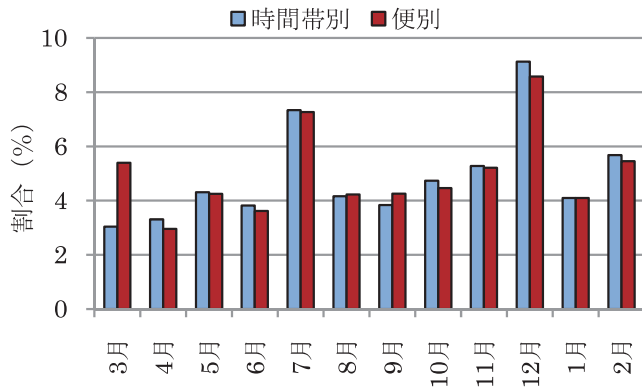


図 13 月別の外れ値の割合

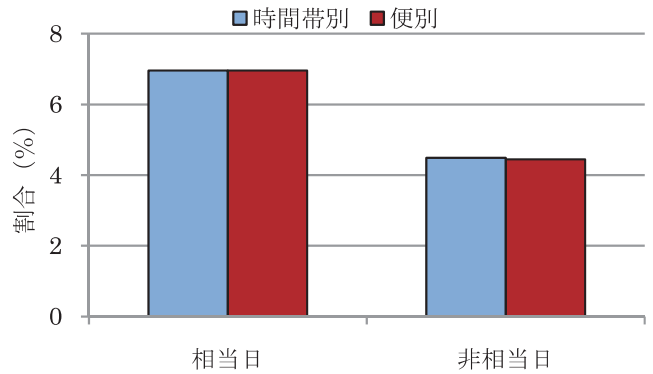


図 15 五十日別の外れ値の割合

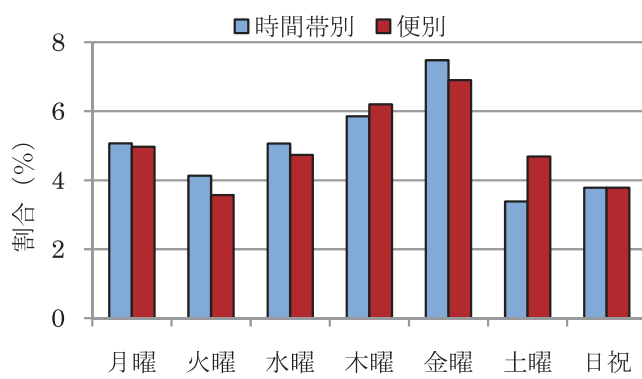


図 14 曜日別の外れ値の割合

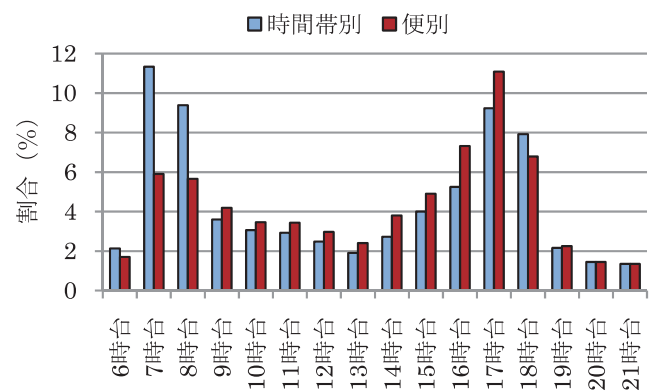


図 16 時間帯別の外れ値の割合

(4) 月別の分析

図 13 は外れ値の割合を月別に示している。7月および 12 月が他の月に比べ外れやすい結果となった。ここで、3 月の便別による予想が時間帯別の予想に比して割合が高くなっている。これは当該路線のダイヤ改正が 2006 年 3 月 18 日に行われており、本研究では、3 月に関してはダイヤ改正以降の 13 日分のデータを用いて分析を行ったため、他の月に比してサンプル数が少ないことがその理由と考えられる。

(5) 曜日別の分析

図 14 は外れ値の割合を曜日別に示している。図より、金曜日が他の曜日に比して外れやすいことがわかる。

(6) 五十日に関する分析

図 15 は外れ値の割合を五十日別に示している。五十日の方が外れやすい結果となった。

(7) 時間帯別の分析

図 16 は外れ値の割合を時間帯別に示している。

朝夕のピーク時が外れやすい結果となった。

おわりに

本研究では、西鉄バス福岡市内路線のバスプローブデータを用いたケーススタディを行い、バスの所要時間変動要因について分析するとともに、予想所要時間の算出について 5 つの手法を取り上げ、実績値とのかい離を比較した。その結果、バスの所要時間に影響を及ぼす主要な要因として、月、曜日、時間帯が挙げられることがわかった。

また、予想所要時間として、月・曜日・時間帯別平均所要時間と月・曜日・便別平均所要時間を用いた場合の予想精度が高いことがわかった。このことより、降車停留所への到着予想時刻情報の提供においては、乗車停留所におけるバス到着予想時刻に、過去のバスプローブデータをもとに算出した月・曜日・時間帯別平均所要時間または月・曜日・便別平均所要時間を加えることにより求め

ることを提案するものである。ここで、予想所要時間と実際の所要時間との誤差についてみると、全体の95%は5分程度の中におさまっており、ダイヤ上の所要時間の場合の約11分に比して大幅な精度向上を図ることが可能となるといえる。

また、5%の外れ値について、予想が外れやすい条件を整理すると以下のとおりである。

- ・雨が強く降るほど外れやすい
- ・7月および12月が他の月に比べ外れやすい
- ・金曜日が他の曜日に比して外れやすい
- ・五十日は外れやすい
- ・朝夕のピーク時が外れやすい

本研究では、翌日以降の路線検索にも対応するため、リアルタイムデータを使用しないことを前提に分析を進めたが、当日の予想所要時間については、一層の精度向上を図るため、リアルタイムデータを用いた手法についても検討する必要がある、今後の課題とする。

参考文献

- 1) Yahoo!路線情報 <http://transit.yahoo.co.jp/>
- 2) ナビタイム <http://www.navitime.co.jp/>
- 3) 東京空港交通(株)エアポートリムジン HP
http://www.limousinebus.co.jp/guide/real_system.html
- 4) 大野雄作, 辰巳浩: バスプローブデータを用いたバス運行実態の解析手法に関する一考察, 土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.593-594, 2008.
- 5) 気象庁 HP <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 6) 中村文彦, 新谷洋二, 太田勝敏: バス運行実績データを用いたバス運行状況に関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集第4部, Vol.41, pp.247-248, 1986.
- 7) 大野雄作, 辰巳浩: 路線バスの運行所要時間予測に関する基礎的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol.38, 2008.