

路線バスの運行所要時間予測に関する基礎的研究*

A Basic Study on Travel Time Prediction of Fixed-Route Bus*

大野雄作**・辰巳浩***

By Yusaku OHNO**・Hiroshi TATSUMI***

1. 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) 2)}。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、バスが始発前の場合はダイヤ上の到着時刻を、始発後の場合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ついては、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所要時間を割り出す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運行所要時間予測のあり方について検討することとする。

*キーワード：ITS，交通情報，公共交通

**学生員，九州産業大学大学院工学研究科

(福岡市東区松香台 2-3-1，

TEL092-673-5692，FAX092-673-5692)

***正員，博士（工学），九州産業大学工学部都市基盤
デザイン工学科

(福岡市東区松香台 2-3-1，

TEL092-673-5692，FAX092-673-5692)

2. 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月までの1年分のバスプローブデータを使用した。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⁴⁾。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）までの運行所要時間を対象に分析を行っている。

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-1 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大きくなっており、標準偏差についても同様の結果となった。

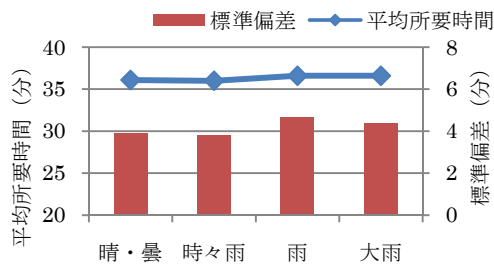


図-1 天気別の平均所要時間と標準偏差

(2) 台風の有無別の分析

図-2 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。台風接近日よりそれ以外の方が平均所要時間は大きく、所要時間のばらつきも大きい結果となった。これは台風情報が事前に提供されており、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。

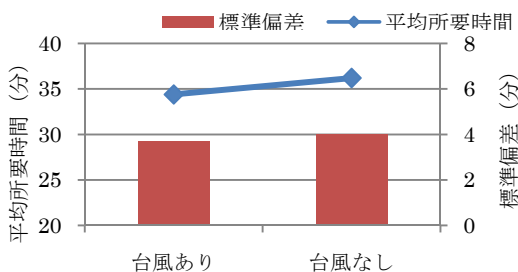


図-2 台風の有無別の平均所要時間と標準偏差

(3) 気温別の分析

図-3 は気温による平均所要時間と標準偏差の変化を示している。図より、平均所要時間に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。

よび30℃以上がわずかながら大きい結果となった。

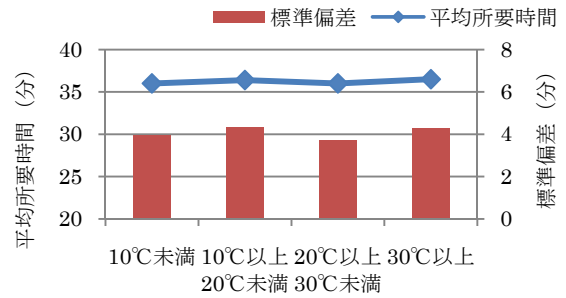


図-3 天気別の平均所要時間と標準偏差

(4) 月別の分析

図-4 は2006年4月から2007年2月の月別の平均所要時間と標準偏差を示したものである。図より、12月が最も平均所要時間が大きく、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。

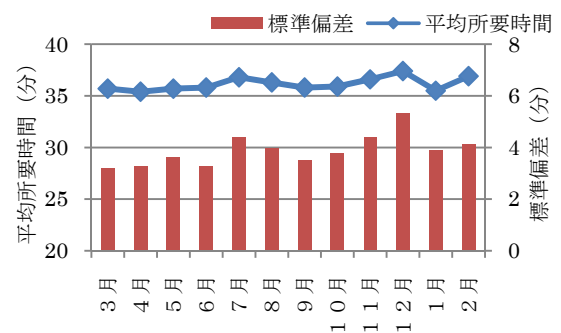


図-4 月別の平均所要時間と標準偏差

(5) 曜日別の分析

図-5 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小さくなっている。

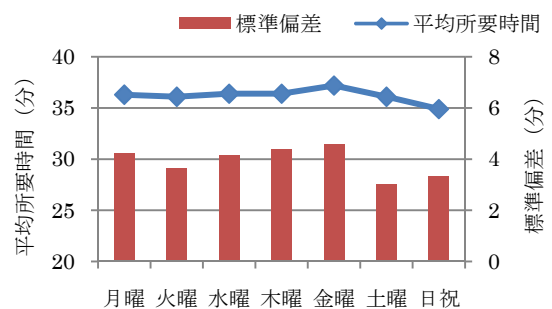


図-5 曜日別の平均所要時間と標準偏差

(6) 五十日に関する分析

図-6 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。

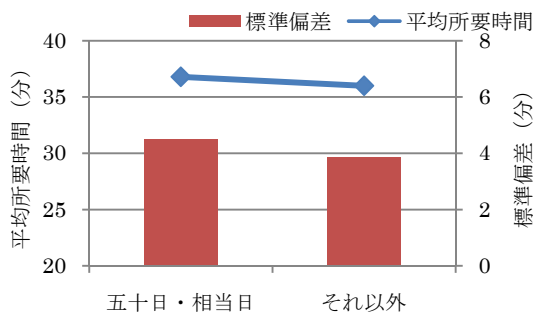


図-6 五十日とそれ以外の日の平均所要時間と標準偏差

(7) 時間帯別の分析

図-7 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のがわかる。

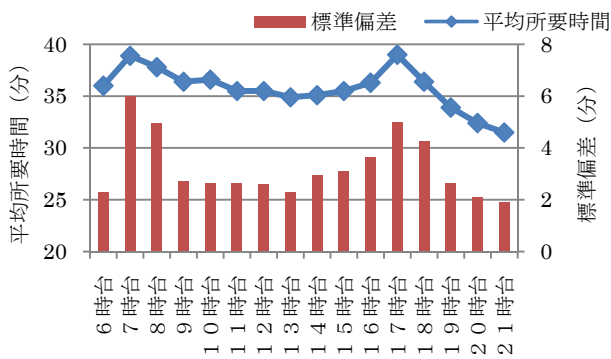


図-7 時間帯別の平均所要時間と標準偏差

(8) 分散分析

各要因の項目別に分散分析を行った結果は表-1 に示すとおりである。表より、すべての要因において有意差が認められる結果となったが、サンプル数が多いこともその一因であると考えられる。

表-1 分散分析結果

要因	分散比	5%境界値	1%境界値	判定
天気	12.045	2.605	3.783	**
台風	17.002	3.842	6.636	**
気温	14.197	2.605	3.783	**
月	35.478	1.789	2.249	**
曜日	70.333	2.010	2.640	**
五十日	106.442	3.842	6.636	**
時間帯	229.003	1.667	2.040	**

(9) 数量化理論Ⅰ類による分析

上記の結果を踏まえ、運行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-2 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、これらの要因が運行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、運行所要時間にさほど大きな影響を与えないことがわかった。

表-2 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	
台風	大雨	0.689	0.052
	あり	-2.583	
	なし	0.014	
気温	10℃未満	-0.418	0.077
	10℃以上20℃未満	0.295	
	20℃以上30℃未満	-0.149	
	30℃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	相当日	0.225	0.031
	それ以外	-0.061	
時間帯	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	

4. 運行所要時間予測

本章では、バスの運行所要時間予測のあり方について検討する。予想所要時間として、(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)要因別の1年間の平均所要時間を用いた場合について、実際の所要時間との乖離を算出し、各手法の精度の検討を行った。なお、前章(5)の結果を踏まえ、また、西鉄バスのダイヤ設定区分を考慮し、運行所要時間予測は平日、土曜日、日祝日の3種類に区分して行うこととする。

(1) ダイヤに基づく所要時間

まずは予想所要時間としてダイヤ上の所要時間を提供した場合における実際の所要時間との残差について分析した。1年分の各々の便について、ダイヤ上の所要時間と実際の所要時間の差を求め、その平均値、標準偏差、95パーセンタイル値および99パーセンタイル値を示したものが表-3である。

表-3 所要時間残差 (実測値-ダイヤ)

	平日	土曜	日祝
サンプル数(個)	11,897	1,877	2,786
95パーセンタイル(分)	12.0	10.0	8.0
99パーセンタイル(分)	19.0	14.0	15.0
標準偏差(分)	3.8	3.0	3.1
残差平均(分)	5.4	5.1	3.3

(2) 1年間の平均所要時間

次に1年間の平均所要時間を提供した場合における実際の所要時間との残差について分析した。結果は表-4に示すとおりである。

表-4 所要時間残差 (実測値-1年間の平均)

	平日	土曜	日祝
サンプル数(個)	11,897	1,877	2,786
95パーセンタイル(分)	8.6	4.9	5.2
99パーセンタイル(分)	14.6	8.9	12.2
標準偏差(分)	4.2	3.0	3.4
残差平均(分)	0.0	0.0	0.0

(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い月、曜日、時間帯をアイテムとする数量化理論I類により各アイテムのカテゴリ数を算出し、所要時間を算出した場合における実際の所要時間との残差について分析した。ここで、平日以外については、月、時間帯の2つをアイテムとした。結果は表-5および表-6に示すとおりである。なお、表-5については紙面の都合上、平日のみを示している。

表-5 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	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	
	土曜	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-6 所要時間残差 (実測値-数量化理論I類)

	平日	土曜	日祝
サンプル数(個)	11,897	1,877	2,786
95パーセンタイル(分)	5.8	4.4	4.3
99パーセンタイル(分)	11.2	8.0	11.0
標準偏差(分)	3.4	2.7	3.0
残差平均(分)	0.0	0.0	0.0

(4) 要因別の1年間の平均所要時間

前章の結果を踏まえ、月、曜日、時間帯別に分類し、1年間の平均所要時間を提供した場合における実際の所要時間との残差について分析した。結果は表-7に示すとおりである。

表-7 所要時間残差 (実測値-要因別1年間の平均)

	平日	土曜	日祝
サンプル数(個)	11,897	1,877	2,786
95パーセンタイル(分)	5.0	4.2	4.1
99パーセンタイル(分)	9.7	7.1	9.8
標準偏差(分)	3.1	2.5	2.9
残差平均(分)	0.0	0.0	0.0

(5) 運行所要時間予測のまとめ

上記4つの方法で算出した所要時間と実際の所要時間との乖離を比較すると、要因別の1年間の平均所要時間による方法が最も精度が高く、ダイヤに基づく所要時間による方法に比して、平日では平均で5.4分残差が縮小し、残差の標準偏差は0.7分縮小する結果となった。また、99パーセンタイル値についてみると、平日の場合、表-3では19.0分であるのに対し、表-7では9.7分となっており、予想された所要時間の99%以上は実際の所要時間との誤差が10分以内であることがわかる。

5. 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、バスの運行所要時間の変動要因について分析するとともに、運行所要時間予測について4つの算出方法を取り上げ、実測値との乖離を比較した。その結果、月、曜日、時間帯別の平均所要時間を用いた場合の精度が最も高く、ダイヤに基づく所要時間に比して精度の向上を確認することができた。

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、当日の運行所要時間予測については、さらなる精度の向上を図るため、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