

路線バスの到着時刻分布形状に着目した 時間信頼性評価

小山 真弘¹・岩倉 成志²・柳下 浩³

¹学生会員 芝浦工業大学大学院 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5-09c32)
E-mail:me14035@shibaura-it.ac.jp

²正会員 芝浦工業大学教授 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3-7-5-09c32)
E-mail:iwakura@sic.shibaura-it.ac.jp

³非会員 国際興業株式会社 (〒170-0013 東京都中央区八重洲2丁目10-3)
E-mail:h-yagishita@kokuksaikogyo.co.jp

路線バスは、道路渋滞や信号サイクルの影響を受け、ダイヤ通りの運行が難しい。旅行時間の信頼性評価の研究は、道路交通において多く行われているが、ダイヤに基づいた運行を行う公共交通に関して旅行時間信頼性評価を行った研究は少ない。また、旅行時間信頼性評価は、多くの研究で平均分散アプローチにより分析が行われているが、同じ平均および分散でも分布形が異なることが考えられる。

本研究では、この現状を踏まえ、路線バスのダイヤからの遅延時間変動の分布形に着目して時間信頼性の評価を行う。具体的には、路線バスの実績所要時間データから遅れ時間変動の分布形が多様であることを示し、独自に実施したアンケート調査から得られた選好意識データから、遅れ時間分布に関するSPモデル構築し、利用者にとって望ましい分布形を考察する。

Key Words : route bus service, travel time reliability, distribution profile

1. はじめに

路線バスは道路混雑や信号サイクルの影響を受けるため、定時性の確保が難しい交通手段である。バスの遅延はバス利用者の満足度を低下させていると考えられる。

旅行時間信頼性は、近年、道路の信頼性評価の一つとして取り扱われてきており¹⁾、旅行時間の平均・分散およびパーセンタイル値といった指標値により評価されている。加えて、交通機関選択、経路選択といった利用者の行動モデルに旅行時間信頼性指標が導入され、道路交通利用者の旅行時間信頼性価値を推計が行われている。

旅行時間信頼性の価値づけは、旅行時間の平均および分散を導入した平均・分散アプローチが多用されている。しかし、同じ平均・分散であっても遅延時間分布が異なることが考えられる。例えば、定刻が多い分布と、分布の山が複数存在する場合とでは、利用者にとっては分布形の違いによって遅れ時間に対する望ましが異なることが考えられる。

また、公共交通における時間信頼性評価を行った研究は少ない。路線バスは、途中停留所においてダイヤ上の

出発時間からの遅延時間の変動が存在するため、道路交通で用いられている旅行時間の平均・分散モデルをそのまま適用できるとは言えない。

本研究では、路線バスを対象に、ダイヤからの遅延時間の分布形に着目した時間信頼性評価を行う。そのために、実績の遅延時間分布が多様であることを示し、分布の違いによる利用者の選好への影響を明らかにする。

2. 既存研究の整理

路線バスの旅行時間信頼性評価に関する既存研究および、旅行時間分布に関する既存研究を以下に整理する。

(1) 公共交通における旅行時間信頼性評価の研究

Hollander et al.²⁾は英国ヨーク市のバス利用者に対してバスの定時性についてSP調査を行い、定時性の異なるバスの選択に関してスケジューリングモデルを構築している。モデルの推計結果からバスの時刻選好に旅行時間変動が影響することを結論付けている。増田・中村ら⁴⁾は

交通手段選択モデルにおいて所要時間変動（標準偏差）の感度が高いことから定時性の高い交通手段への転換の有効性を確認している。荻原・岩倉ら⁵⁾は、空港リムジンバスの運行実績データから得られた旅行時間信頼性指標を空港アクセス交通手段選択モデルに導入している。尤度比の大小関係から、平均と標準偏差によるモデルが利用者の選好に整合的であると結論づけている。

以上のように路線バスの旅行時間変動を分析を行った研究は存在するものの、ダイヤからの遅延および遅延時間分布に関して取り扱った例はない。

(2) 旅行時間分布に関する研究

van Lint⁶⁾らは、旅行時間分布の外れ値の影響を考慮するため、一般的な歪度および分散と異なる歪度指標「 λ^{skew} 」や分散指標「 λ^{σ} 」を提案し、道路混雑の発生から収束にかけての両指標の特性を示している。分布の歪度に着目しているものの、分布の形状については言及していない。

海外で行われたいくつかの研究では、道路交通の旅行時間の分布は正規分布よりも右裾が長い対数正規分布の適合度が高いことを結論づけている⁷⁾。

宇野ら⁷⁾はバスプローブデータを利用して停留所間の所要時間を算出し、路線・区間別の所要時間分布の比較を行っている。所要時間分布は対数正規分布による近似が適合度が高いことを示している。

これらの研究はある地点間・駅間の所要時間に着目しており、ダイヤからの遅れ時間の分布を取り扱っていない。路線バスでは、停留所・時間帯別に信号サイクルや道路混雑に加えて停留所の停車と旅客の乗降が存在し、団子運転になりやすく、種々の旅行時間分布、到着時間分布の存在が想定される。本研究では、路線バスを対象に停留所別、時間帯別にダイヤからの遅れ時間が多様であることを示し、平均および分散に加えて分布形に着目して旅行時間信頼性評価を行う。

3. 路線バスの遅れ時間分布

(1) 路線バスの実績旅行時間データ

本研究では、国際興業株式会社が運行する路線バスの運行実績データを使用し、各停留所のバス到着遅れ時間の算出を行った。この運行GPSデータをバスプローブデータとして、各停留所の発着時刻を取得した。データは、ダイヤ番号、車両番号、各停留所の到着時刻、取得精度である。対象期間は平成26年9月1日～同年11月31日の3ヶ月間分の平日である。当データから、停留所別、バス便別に到着遅れ時間の平均、分散、分布形を表すことができる。

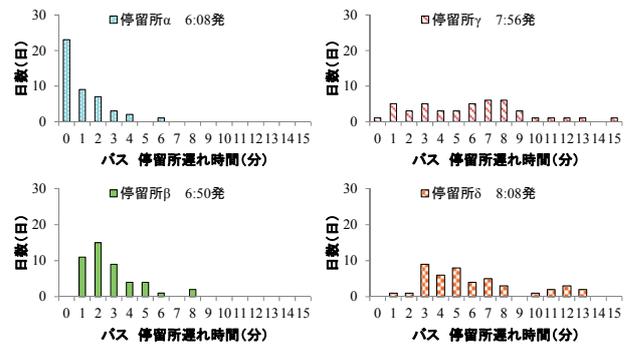


図-1 運行実績データから得られる到着遅れ時間分布

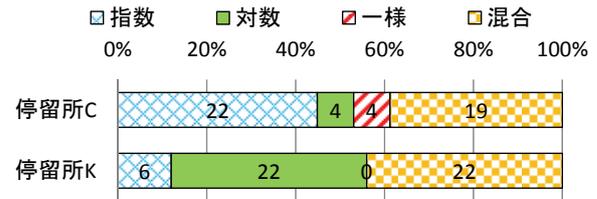


図-2 理論分布による近似の集計結果の一例

(2) 各停留所の遅延時間分布の多様性

到着遅れ時間の分布形は図-1に示すように、多様な形状であることが判明している。これらの実績分布に対して、理論分布による近似を行い、分布の分類を行った。

分布の近似方法は、運行実績データから得られた停留所別便別の遅れ時間分布に対して、指数分布、対数正規分布、一様分布、混合分布（平均と分散が異なる対数正規分布の混合）をそれぞれ近似した。実績分布の平均と標準偏差を用いて理論分布を作成し、適合度の高い分布を集計した。

図-2は、遅れ時間の分布形を停留所別に集計した一例である。停留所別の集計では、始発近くの停留所Cでは指数分布が多く、終点に近づく（停留所K）ほど対数正規分布や混合分布の割合が多くなっている。

(3) 到着遅延時間分布と旅行時間分布の違い

本研究では、バスの停留所到着遅れ時間の分布に着目する。その理由として、遅れ時間の変動分布と停留所間の旅行時間変動分布とで分布形が異なることが考えられるからである。図-3は、ある停留所Aにおける遅れ時間と停留所間の旅行時間、時刻表出発時刻を基準とした旅行時間を比較したものである。停留所Aの遅れ時間は、1~2分が最も多く徐々に低減していく分布である。停留所実績発からH駅着までの旅行時間は9、11分が最も多く、分散が大きい対数正規分布に近い分布である。

遅れ時間と旅行時間に分けることで、ラインホール（停留所A計画発～H駅着）所要時間の変動とは異なる分布を示すことが明らかとなった。

4. 遅れ時間時間分布に着目した時間信頼性評価

(1) 遅れ時間の選好意識調査

本研究では路線バスの沿線住民に対して、自宅から最寄りの鉄道駅までの交通手段に関するアンケートを実施した。配布対象地域は、3.(1)で示した運行実績データから、実績の遅れ時間の分布が多様になる浦和駅、武蔵浦和駅、東大宮駅へ向かう3路線を選定した。

アンケートの設問は、自宅から最寄り駅までの交通手段、路線バスの遅れ時間分布に対する選好意識、実際の遅れに対する意識、個人属性等である。調査票は路線バス沿線の各家庭に訪問して手渡しし、また、バス停において利用者に直接配布し、郵送にて回収した。アンケートは2015年2月1日から2月20日までの20日間で3045票配布し、858票(回収率27%)を回収し636票の有効票を得た。

SP調査において提示した遅れ時間分布の要因、水準を表-1に示す。調査票で提示した路線バスの到着遅れ時間の分布形の一例を図-4に示す。遅れ時間の分布形は、平日1ヶ月あたりの遅れ時間分布を仮想的に設定し、各遅れ時間の日数を棒グラフで示した。1シナリオあたり4つの遅れ時間分布を提示し、8つのシナリオを用いた。なお、運行間隔はシナリオ全て5分とし、遅れ時間の分布はある1便の到着時刻変動とした。なお、指数分布に関しては平均と標準偏差が同じ組み合わせとした。

(2) 調査結果

バスの遅れ時間の分布形に対する望ましさを把握するため、SP調査の回答結果を比較する。各シナリオで最も多く選択された順序付けを表-2に示す。

被験者は遅れ時間の平均および標準偏差の両方を考慮して、想定可能な順位付けをしていることが分かる。分布形に着目すると、遅れ時間の平均および標準偏差が同じである場合、概ね指数分布や対数正規分布の順位付けが高くなっている。これは、定刻到着を最頻値にもつ分布形の選好が強いと考える。

(3) SPモデルの構築

本研究では、路線バスの遅れ時間の分布形の違いに対する利用者の選好を把握するため、遅れ時間分布が異なるバスの選択結果について順位1位のみを取り扱うロジットモデルと順位データを全て扱ったランクロジットモデル⁸⁾を構築した。

SP調査の各選択肢の効用関数 V 、ランクロジットモデルにおける順位づけ確率 $P(1,2,\dots,H)$ を次頁に示す。

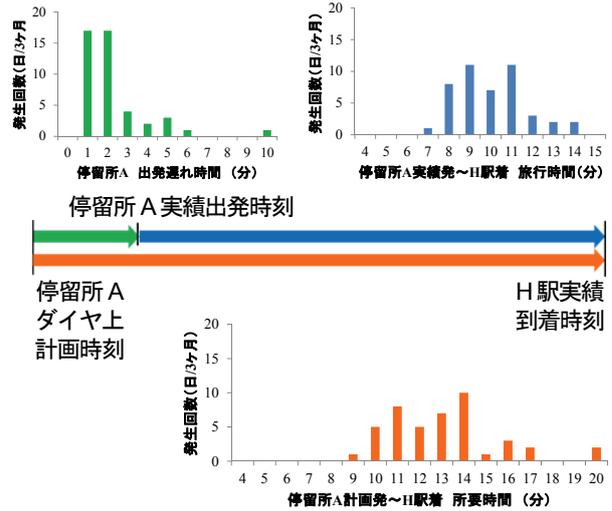


図-3 停留所遅延時間と停留所間旅行時間の関係

表-1 SP調査で提示した遅れ時間分布のプロファイル

要因	水準1	水準2	水準3	水準4
分布形	指数	対数正規	混合	一樣
平均遅れ時間	1.5分	3分	5.5分	
遅れ時間標準偏差	1.5分	3分		

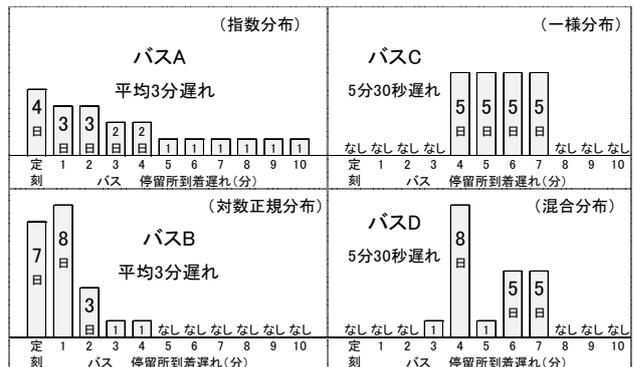


図-4 SP調査票で提示したバスの到着遅れ時間分布

表-2 SP調査で最も多く順位付けされた組み合わせ

シナリオ	順位	遅延平均	標準偏差	分布形
シナリオ1	1位	1.45	1.02	対数
	2位	1.4	1.39	混合
	3位	3	1.41	一樣
	4位	3.19	2.59	対数
シナリオ2	1位	1.14	1.14	指数
	2位	1.45	1.02	対数
	3位	3.3	1.52	混合
	4位	2.71	2.71	指数
シナリオ3	1位	1.45	1.02	対数
	2位	1.50	1.10	一樣
	3位	3.07	3.07	指数
	4位	3.19	2.59	対数
シナリオ4	1位	1.14	1.14	指数
	2位	1.50	1.10	一樣
	3位	3.3	1.52	混合
	4位	3.5	2.29	一樣
シナリオ5	1位	3	1.05	対数
	2位	3.5	2.29	一樣
	3位	5.5	1.12	一樣
	4位	5.25	1.34	混合
シナリオ6	1位	2.71	2.71	指数
	2位	3.3	1.52	混合
	3位	4.75	1.26	混合
	4位	5.25	1.02	対数
シナリオ7	1位	3	1.05	対数
	2位	2.71	2.71	指数
	3位	5.5	1.12	一樣
	4位	5.25	1.34	混合
シナリオ8	1位	3.05	2.92	混合
	2位	3	1.41	一樣
	3位	5.25	1.34	混合
	4位	5.5	1.02	対数

$$V = \alpha DT + \beta DVT + d_E ED + d_L LD + d_M MD + d_C CD$$

$$P_{(1,2,\dots,H)} = \prod_{h=1}^{H-1} \left[\frac{\exp(V_h)}{\sum_{m=h}^H \exp(V_m)} \right]$$

DT: 月間平均遅れ時間 (分)

DVT: 月間遅れ時間標準偏差 (分)

ED: 指数分布ダミー, LD: 対数正規分布ダミー

MD: 混合正規分布ダミー, CD: 一様分布ダミー

$\alpha, \beta, d_E, d_L, d_M, d_C$: 各変数のパラメータ

(4) SPモデルの推計結果

表-3にパラメータ推定結果を示す。尤度比はいずれも0.3程度を確保でき、いずれのパラメータも有意となった。なお、分布形ダミーを組み入れない場合も、平均遅れ時間と標準偏差のパラメータは有意に変動せず、分布形がこれらの変数に独立して選好に影響を与える結果を得ている。

基礎分析では指数分布、対数正規分布が好まれた。ロジットモデルでは指数分布、対数正規分布、混合正規分布、一様分布の順でパラメータが大きくなり、ランクロジットモデルでは対数正規分布と混合正規分布でパラメータの大きさが入れ替わる結果となった。

よって、利用者に望ましい分布形は、指数分布のような定刻到着がピークとなる分布である。逆に、一様分布は、平均と分散が同等でも好まれないことが明らかとなった。また、一様分布と指数分布のパラメータの差分と、遅れ時間標準偏差のパラメータとを比較すると、一様分布で運行されることは、標準偏差が28秒(ランクロジット)から67秒(ロジット)増加することと等価である結果となった。

5. おわりに

時間信頼性の評価において、遅れ時間の分布形が利用者選好に有意に影響を与えることを明らかにした。同等の平均値、分散でも指数分布や対数正規分布が好まれる傾向にあり、一様分布は好まれない傾向にあることを示した。路線バスは道路混雑、信号サイクルの影響で遅れ時間が大きく変動し、団子運転になることで遅れ時間の分布は混合正規分布のように遅れのピークが分散する。到着時刻の変動分布を考慮した時間信頼性評価が実務的

表-3 SPモデルのパラメータ推計結果

説明変数	Multi Logit Model		Rank Logit Model	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値
α 平均遅れ時間(分)	-1.256	-15.115	-1.196	-27.075
β 遅れ時間標準偏差(分)	-0.564	-5.149	-0.795	-10.547
d_E 指数分布ダミー	1.280	2.979	0.534	4.214
d_L 対数正規分布ダミー	1.062	2.429	0.308	2.237
d_M 混合分布ダミー	0.809	1.925	0.417	3.599
d_C 一様分布ダミー	0.676	1.592	0.164	1.471
自由度調整尤度比	0.373		0.341	
到着遅れ信頼性比 $RR = \beta/\alpha$	0.449		0.665	
サンプル数	636		636	

にも必要と考える。

今後は、アンケート調査から得た交通手段選択のRPデータと、実際のバス遅れ時間や所要時間変動データを用いて、実データによる時間信頼性評価を行う。また、遅れ時間分布において、政策的にコントロール可能な要因の考察を行う。

謝辞：本研究は科学研究費基盤研究B（課題番号25289160、代表：福田大輔東京工業大学准教授）の研究助成を得て実施している。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 中山晶一郎, 朝倉康夫: 道路交通の信頼性評価, コロナ社, 2014.
- 2) 中山晶一郎: 道路の時間信頼性に関する研究レビュー, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.67, No.1, pp.95-114, 2011
- 3) Hollander, Y.: Direct versus indirect models for the effects of unreliability, *Transportation Research*, No.40A, pp.699-711, 2006.
- 4) 増田智, 中村文彦, 岡村敏之, 友寄孝: 定時性と乗継システムに着目した基幹バス導入による利用者意識変化に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.36, No.3, 2009年9月.
- 5) 荻原貴之, 岩倉成志, 野中康弘, 伊東祐一郎: 羽田空港リムジンバスにおける旅行時間信頼性分析, 土木学会論文集 D3(土木計画学), 2013.
- 6) van Lint, J.W.C., van Zuylen, H.J. and Tu H.: Travel time unreliability on freeways: Why measures based on variance tell only half the story, *Transportation Research*, Vol.42A, pp.258-277, 2008.
- 7) 宇野伸宏, 永廣悠介, 飯田恭敬, 田村博司, 中川真治: バスプローブデータを利用した所要時間信頼性評価手法の構築, 土木計画学研究・論文集, No.23, No.4, 2006年9月
- 8) 北村隆一, 森川高行: 交通行動の分析とモデリング, 第1版, 技報堂出版, 2002.

(2015.7.31 受付)

EVALUATION OF TRAVEL TIME RELIABILITY ON ROUTE BUS SERVICES: FOCUS ON DELAY TIME DISTRIBUTION VARIETY

Michihiro KOYAMA, Seiji IWAKURA and Hiroshi YAGISHITA