路線バスの遅延時間の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正会員 国際興業株式会社 (〒104-8460 東京都中央区八重洲2丁目10-3)

E-mail: m-koyama@kokusaikogyo.co.jp

²正会員 芝浦工業大学教授 (〒135-8548 東京都江東区豊洲3丁目7-5-09c32)

E-mail: iwakura@sic.shibaura-it.ac.jp

³非会員 国際興業株式会社 (〒104-8460 東京都中央区八重洲2丁目10-3)

E-mail: h-yagishita@kokusaikogyo.co.jp

路線バスは、道路混雑の影響を受けダイヤ通りの運行が難しい。旅行時間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、公共交通を対象とした研究は少ない。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、分散でも分布形状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評価を行う。路線バスの実績所要時間データから遅延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を用いて遅延時間分布に関するSPモデルを構築するとともに、交通手段選択に関する利用者行動のデータからRPモデル構築し、遅延時間分布の形状の時間信頼性評価への影響を検証した。

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

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、旅行時間の標準偏差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の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。道路交通での適用例は多いが、公共交通における時間信頼性評価を行った研究成果は限られている。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するのは好ましくない。また、同じ平均・分散であっても遅延時間分布の形状が異なることが考えられる。例えば、定刻が多い

図-1 路線バス利用時の運行情報の確認状況

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延時間に対する望ましさが異なることが考えられる。

リアルタイムのバスロケ情報が端末機器へ提供されている昨今では、時刻表からの乖離は利用者にとって大きな問題にはならないとの指摘があるため、利用者が路線バスを利用する際に時刻表およびバスロケーションシステムの情報を確認するかを、本研究の調査で把握した結果が図-1である。バスロケーションシステムの確認状況と、利用者がバス停に到着するタイミングを示す。今なお、利用者の73%がリアルタイムの運行状況を確認しておらず、時刻表に基づいて乗車予定バス便の出発時刻以

前にバス停に到着していることがわかった。

本研究では、さいたま市内の路線バスを対象に、時刻表の出発時刻からの遅延時間の分布形状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、分布形の違いを考慮した行動モデルを用いて分布形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) バス交通における旅行時間信頼性評価の研究

Hollander³⁾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づけている。増田ら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複数の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。最終尤度を比較し、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の形状を取り扱ったバス交通に関する研究例はない。

(2) 旅行時間分布に関する研究

van Lintら⁶⁾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} 」および分散指標「 λ^{var} 」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と結論づけている⁷⁾。宇野ら⁸⁾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、ダイヤからの遅延時間の分布を取り扱っていない。

図-2 停留所出発遅延時間と停留所間旅行時間の関係

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延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を組み込んだ旅行時間信頼性評価を行う。

3. 路線バスの出発遅延時間分布

(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バスロケーションシステムデータを使用し、各停留所のバス出発遅延時間及び停留所間所要時間の算出を行った。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2014年9月1日～同年11月31日の3ヶ月間分の平日である。出発遅延時間の分布は当データから停留所別、バス便別に集計できる。

(2) 出発遅延時間分布と旅行時間分布の違い

本研究では、主にバス停留所の出発遅延時間の分布に着目する。その理由は、停留所間の旅行時間変動分布に比べて、停留所での出発遅延時間の変動分布の方が分布形が異なる可能性が高いと考えられるからである。図-2は、ある停留所Aにおける出発遅延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。停留所Aの遅延時間は、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。

遅延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到着) 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。

(3) 各停留所の出発遅延時間分布の多様性

各停留所の出発遅延時間の分布形は図-3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、分布形の分類を行った。

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延時間分布に対して、指数分布、対数正規分布、正規分布、一様分布、 β 分布（ただし、右寄りの分布のみに適用）、混合分布（平均と分散が異なる2つの対数正規分布の混合）をそれぞれ近似した。 β 分布と混合分布の近似はEXCELのソルバーによる最適化計算によって分布関数のパラメータを推定した。

実績分布の平均と標準偏差を用いて理論分布を作成し、適合度の高い分布形に分類した。図-4は、停留所別に各バス便の遅延時間の分布形を集計した一例である。例えば、バス停No.5では午前中27便が指数分布の遅延時間分布である。停留所別の集計では、始発近くの停留所（No.2～5）では指数分布が多く、終点近くの停留所（No.11～15）ほど正規分布や混合分布の割合が多くなっている。停留所No.9からNo.11にかけて対数正規分布が少なくなり、正規分布や混合分布が卓越している。この区間では幹線道路との交差点が存在し、通過時間の変動が大きいことが遅延時間の分布形を変化させている要因であることが考えられる。

また、平均と標準偏差が同じであっても、分布形状が異なるのか比較を行った。図-5は東大宮の路線における各便、各停留所の遅延時間の平均と標準偏差、分布形状の分類をプロットしたものである。特に平均遅延時間が2～4分、標準偏差が1.5分から2.5分にかけては対数正規分布、正規分布および混合分布が混在している。

4. 路線バスの時間信頼性評価に関する調査

(1) 調査概要

本研究では対象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利用交通手段、バスの遅延に対する意識に関するアンケートを実施した。配布対象地域は、浦和駅、武蔵浦和駅、東大宮駅へ向かう3路線の沿線であり、遅延時間分布が多様になるように路線を選定した。

アンケートの設問は、自宅から最寄り駅までの交通手段、路線バスの遅延時間分布に対する選好意識(SP調査)、実際の遅延に対する意識、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

図-3 運行実績データから得られる出発遅延時間分布

図-4 理論分布による近似の集計結果の一例

図-5 遅延時間の平均と標準偏差と分布形状の関係

図-6 SP調査票で提示したバスの到着遅延時間分布

停において利用者に直接配布し、郵送にて回収した。

SP 調査は図-6 に示すように路線バスの乗車バス停での出発遅延時間の分布形を被験者 1 人につき 4 つの分布を提示し、好ましさの順に順序付けしていただいた。提示方法は Hollander³⁾、Bates ら⁸⁾が行なった SP 調査を参考に一定期間のバス遅延状況を図で表し、平均遅延時間と標準偏差、遅延時間分布形状が異なるバスサービスが提供される場合、より望ましいサービスを選択させる設問形式をとった。

提示した遅延時間分布は、表-1 のように遅延時間の平均、標準偏差および分布形状 3 要因と 4 水準を用意し、実験計画法により表-2 に示す 8 つのシナリオに絞った。

なお、運行間隔はシナリオ全てで 5 分間隔としたが、調査票の説明の煩雑さを避けるために、当該バスの前後の便の遅延状況は提示せず、乗車するバスが停留所に到着した時の時刻表からの乖離の時間の分布を示した。もちろん、被験者がより具体的なシチュエーションを想定し、例えば、運行間隔 5 分で全てのバスが 5 分遅れで到着した場合は、遅延がなくなることを想起した場合は、選好順位が変わると考えられる。本調査では、その点を確認するための質問を設けておらず、今後の課題としたい。

(2) 調査結果

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。

次にバスの遅延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位付けを表-2に示す。

被験者は遅延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、遅延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。

5. SPモデルによる遅延時間分布形状の評価

(1) SPモデルの構築

本研究では、路線バスの遅延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、遅延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⁹⁾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 $P(1, 2, \dots, H)$ を式(1)および(2)に示す。

表-1 SP調査で提示した遅延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
平均遅延時間	1.5分	3分	5.5分	
遅れ時間標準偏差	1.5分	3分		

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

$$V = \alpha DT + \beta DVT + d_E ED + d_L LD + d_M MD \quad (1)$$

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

DT : 月間平均遅延時間 (分)

DVT : 月間遅延時間標準偏差 (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

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

一樣分布のパラメータを0とする

(2) SPモデルの推計結果

表-3にSPモデルの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、平均遅延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、混合分布、一樣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、一樣分布は、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、一樣分布と指数分布のパラメータの差分と、遅延時間標準偏差のパラメータとを比較すると、一樣分布で運行されることは、標準偏差が25秒（ランクロジット）から57秒（ロジット）増加することと等価となる。

表-3 SPモデルの推計結果

説明変数	Multi Logit Model				Rank Logit Model			
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
α 平均遅れ時間(分)	-1.39	-16.58	-1.29	-15.34	-1.22	-28.05	-1.21	-27.40
β 遅れ時間標準偏差(分)	-0.51	-5.87	-0.64	-6.11	-0.74	-12.84	-0.88	-12.62
d_E 指数分布ダミー			0.61	3.64			0.36	3.03
d_L 対数正規分布ダミー			0.31	2.28			-0.10	-1.05
d_M 混合分布ダミー			0.16	0.98			0.23	2.67
自由度調整済尤度比	0.364		0.370		0.337		0.342	
出発遅延時間信頼性比 $RR = \beta/\alpha$	0.367		0.499		0.607		0.729	
サンプル数	636		636		636		636	

6. RPモデルによる遅延時間分布形状の評価

(1) 最寄駅へのアクセス交通手段選択モデルの構築

路線バスの実遅延時間の分布形状の違いを評価するため、最寄駅へのアクセス交通手段交通手段選択モデルを構築する。交通手段選択のRPデータは4.(1)で示したアンケート調査から得た。各サンプルは利用交通手段の他に通勤通学時の自宅出発時刻、各交通手段の選択可能性の情報を含んでいる。交通手段選択モデルの選択肢は、路線バス、自転車、送迎車である。効用関数 V 、選択確率 P を以下の式(3)および(4)に示す。

$$V = \alpha T + \beta C / AGE + \gamma VT + \delta_{DAT} DAT + \delta_{DAV} DAV \times Fr + \delta_{DDT} DDT + \delta_{DDV} DDV + \delta_{DD1} DD1 + \delta_{DD2} DD2 + \delta_{DD3} DD3 + \delta_{DD4} DD4 \quad (3)$$

$$P = \exp(V_m) / \sum_{m=1}^M \exp(V_m) \quad (4)$$

T ：平均旅行時間(分)， C ：移動費用(円)

VT ：旅行時間標準偏差(分)， AGE ：年齢(歳)

DAT ：出発遅延時間平均(分)， Fr ：運行間隔(分)

DAV ：出発遅延時間標準偏差(分)，

DDT ：降車地到着遅延時間平均(分)，

DDV ：降車地到着遅延時間標準偏差(分)，

$DD1 \sim DD4$ ：出発遅延時間の各分布形の期待値
(混合分布のパラメータを0とする)

$\alpha, \beta, \gamma, \delta_{DT}, \delta_{DV}, \delta_{DD1} \sim \delta_{DD4}$ ：各変数のパラメータ

路線バスのLOSデータは、3.(1)で示した運行実績データから各サンプルが利用可能なバス便について、停留所別、時間帯別に最寄り停留所から鉄道駅までの所要時間、乗車停留所での遅延時間の平均、標準偏差および分布形状を設定した。費用を年齢で除した理由は、費用単体では有意な結果が得られず、年齢によって費用への感度が異なると考えて導入した。また、高頻度にバスが運行されているほど遅延時間の標準偏差に対する抵抗が小さいと考え、遅延時間と運行間隔の積を取り説明変数に導入

した。

出発遅延時間の分布形状の期待値(DD1～DD4)は、サンプルが利用可能な時間帯の複数のバス便に関して、実遅延時間分布の割合から期待値をとった。例えば、利用可能な時間帯が7時30分から7時45分の場合に対数正規分布のバスが3便、正規分布のバスが1便存在する場合は、対数正規分布割合が0.75、正規分布割合が0.25となる。

送迎車の所要時間は、2015年1月15日から2月15日までの民間プローブデータを用いて算出した。算出方法は、自宅最寄りDRM(デジタル道路地図)ノードから鉄道駅最寄りのDRMノードまで平均所要時間と標準偏差を算出し、さらに各サンプルの自宅から最寄りのDRMノードの端点までの距離を平均旅行速度20km/hで除した時間を加算した。プローブデータの欠測区間がある場合の平均所要時間および標準偏差の算出は、諸田ら⁹⁾が提案している手法を参考にした。算出経路についてはプローブデータが存在する最短経路とした。また、送迎車の費用は、燃料費に自宅から鉄道駅までの往復の移動距離を乗じて算出した。送迎の可否は、アンケート調査の回答結果を各サンプルに反映した。

自転車の所要時間データは、NAVITIME自転車ルート検索¹¹⁾の結果から最短経路の所要時間を用いた。また、費用は各鉄道駅周辺の1日の駐輪料金の平均値を使用した。

なお、本研究で収集したRPデータはChoice based sampleとHome based sampleが混在しているため、パラメータの推定には、WESML推定¹⁰⁾を用いた。母集団の分担率は大都市交通センサスの鉄道定期券・普通券利用調査データを用いて、さいたま市内全駅の鉄道駅アクセス手段分担率を算出した。さらに、出発地から鉄道駅までの距離別に交通手段分担率を集計し、本アンケート調査における距離別交通手段分担率との比を算出した。WESML推定の対数尤度関数は式(5)である。

$$L^* = \sum_{c=1}^C \sum_{n=1}^{N_c} \frac{Q_{ic}}{H_{ic}} f(i, \delta_n) \quad (5)$$

H_i : 本アンケートでの距離帯 c , 選択肢 i の選択割合
 Q_i : 母集団における距離帯 c , 選択肢 i の選択割合
 $f(i, \delta_n)$: サンプル n の選択結果 $\delta_n \times \ln(\text{選択確率 } P_n)$
 C : 距離帯の数, N_c : サンプル数

(2) 交通手段選択モデルの推計結果

交通手段選択モデルの結果を表-4に示す。平均所要時間と費用、平均遅延時間のパラメータの符号条件は仮説通りの結果が得られた。

平均所要時間と出発遅延時間平均のパラメータを比較すると、出発遅延時間平均は所要時間平均の約2倍の値で推計され利用者の遅延時間に対する抵抗が強いと考えられる。

所要時間および遅延時間の標準偏差のパラメータの符号は正となった。このため鉄道駅までの距離の影響を考え、距離別のモデル構築も行ったが、有意なモデルは得られなかった。この理由として、バスの所要時間及び遅延時間の標準偏差が大きい停留所でバスを選択しているサンプルが多いことが影響したためと考える。

有意なパラメータは少ないが、出発遅延時間の分布形期待値のパラメータを比較すると、指数分布が最も大きく正規分布が最も小さいことがわかる。これより、交通手段選択においても路線バスの実遅延時間分布は、尖度が高く左寄りの分布が好まれていると考える。

また、遅延時間の平均、標準偏差が同じであるとき、乗車時間帯のバス便すべてが指数分布の場合と混合分布の場合(パラメータ値0)とでは、平均遅延時間2.8分に相当する効用差があることが分かった。

7. おわりに

本研究は、旅行時間信頼性の研究が比較的少ない公共交通、特に路線バスを対象とし、時刻表からの遅延時間に着目して時間信頼性評価を行なった。

3.では、路線バスの運行実績データを用いて時刻表出発時刻からの遅延時間の分布形が多様であることを明らかにした。

5.では、遅延時間の分布形の選好に関するSPモデルを構築し、平均と標準偏差に加えて分布形の違いが選好に影響を与え、平均と標準偏差以外にも遅延時間の分布形が時間信頼性に影響を与えることを明らかにした。

6.の実行動データを用いたRPモデルの精度は十分でないものの、路線バスの時刻表出発時刻からの遅延時間とその分布形が交通手段選択に影響を与える可能性を示した。分布形の選好順位はSPモデルと若干結果が異なるが、時間信頼性評価に影響を与える可能性を示した。

SPモデル、RPモデル双方の結果から、遅延時間の平

表-4 交通手段選択モデルの推定結果

説明変数			パラメータ	t値
所要時間	平均	分	-0.24	-4.49
	標準偏差	分	0.31	1.1
	費用/年齢	円/歳	-0.15	-2.11
	バス停アクセス時間	分	0.08	1.15
出発遅延	平均	分	-0.58	-2.23
	標準偏差	分	0.05	1
降車地	平均	分	-0.01	-0.07
	標準偏差	分	-0.05	-0.17
到着遅延	指数分布期待値	分・分	1.62	2.06
	対数分布期待値		-0.34	-0.63
	正規分布期待値		-2.33	-3.62
	β 分布期待値		-0.04	-0.06
出発遅延時間分布形	自転車定数項		-0.03	-0.85
	送迎車定数項		-0.75	-3.84
	初期尤度		-393.96	
	最終尤度		-316.30	
	尤度比		0.162	
	サンプル数		428	

均値、分散が同等でも指数分布や対数正規分布のような左寄りの分布が好まれる傾向にあり、正規分布、混合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や信号サイクルの影響で遅延時間が大きく変動し、団子運転になることで遅延時間の分布は混合分布のように遅延のピークが分散する。これに対して事業者は途中区間における臨時便の運行や折り返し地点への代車手配などの対策を行っており、それらによって遅延時間分布を左寄りの形状へと改善することが期待できる。利用者の評価結果から分かるように、時刻表出発時刻からの遅延時間の分布形状を考慮することで、より利用者実感に即した時間信頼性評価が行えると考えられる。

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る。

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, 2009.9.
- 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), Vol. 70, No. 5, 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, Vol.23, No.4, 2006.9.
- 8) Bates, J., Polak, J., Jones, P. and Cook, A.: The valuation of reliability for personal travel, *Transportation Research*, Vol.37E, pp191-229, 2001.
- 9) 諸田恵士, 関谷浩孝, 上坂克巳: 旅行時間変動に影響

を与える要因の特定及び旅行時間信頼性指標算定式の推計, 土木計画学研究・講演集, Vol.47, No.260, 2012.

- 10) 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.
- 11) NAVITIME 自転車ルート検索
(<http://www.navitime.co.jp/bicycle/>)

(2016.2.26 受付)

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

Michihiro KOYAMA, Seiji IWAKURA and Hiroshi YAGISHITA

Route bus operation is affected by traffic jam, it's difficult to operate buses on time. Recent researches are subject to travel time reliability of road users. But there're few researches for travel time reliability in public transportation that has a diagram. Many researches on travel time reliability use Mean-Variance approach that uses mean travel time and travel time variables. This approach can't be used for public transportation directly. There're various travel time distribution when its mean travel time and travel time variance is the same.

So we try to evaluate travel time reliability on bus transit focus on delay time from diagram and its distribution. We got the bus operation data and show the variety of delay time distribution "form". Next we made a survey to commuters who living along the bus route. This survey asks their behavior at commuting and think about bus delay distribution. We made a Stated Preference Model for delay time distribution form and Revealed Preference model for mode choice of commuters. According to those result we show the effect of bus travel time reliability with delay time distribution form.