

# 都営バスにおける各種要因を考慮した 乗客降車時間の実態分析

鈴木 拓海<sup>1</sup>・柳原 正実<sup>2</sup>・小根山 裕之<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 学生非会員 首都大学東京大学院 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域

(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:Suzuki-takumi3@ed.tmu.ac.jp

<sup>2</sup> 正会員 首都大学東京大学院 助教 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域

(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:oneyama@ed.tmu.ac.jp

<sup>3</sup> 正会員 首都大学東京大学院 教授 都市環境科学研究科 都市基盤環境学域

(〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1)

E-mail:yanagihara@ed.tmu.ac.jp

バスは平地での乗降ができること、バス停区間が短いため利用し易いことなどの特徴があり、鉄道などの公共交通機関が存在する都内においても重要な役割を担う。近年では、バスが抱える定時性などの課題に対応するため、バスに関する様々なデータを活用した、利用者への情報提供や効率的な運行管理などが実用化されている。これらを実現する重要なデータの一つとして、バス停毎の乗降人数がある。バス IC カード決済の広がりにより、バス利用実態は詳細に把握・蓄積できるようになった。しかし、都営バスの東京エリアなど一部のバス路線では、先払いであるため、降車の把握ができない。一方、バス扉開時間についてはバスロケーションデータで記録・蓄積されており、降車人数と降車時間の関係が分かれば、降車人数の推計に活用できることが期待される。

そこで本研究では、都営バスにおける乗客降車時間について、実測調査を行い影響要因や確率分布などの特性を明らかにすることを目的とする。

**Key Words:** Bus IC Card, Bus Location System,,

## 1. はじめに

都営バスは平地での乗降ができることやバス停区間が短く目的地近くまでアクセスできることなど、多くの公共交通機関のある都内においても重要な役割を担っている。しかし、路線バス特有の問題として、交通渋滞や交通事故、降雨などの影響を受け旅行時間や利用者数変動しやすく、定時性低下や車内混雑などに影響を及ぼす。一方、近年では、バスが抱えるこれらの課題に対応するため、バスに関するビッグデータを活用し、運行計画への期待がされている。ビッグデータとしてはバスロケーションデータより扉開時間やバスの位置情報、IC カードデータより IC 利用人数履歴が分かる。しかし、都営バスの東京エリアなど一部のバス路線では、先払いであるため、降車の把握ができない。一方、バス扉開時間についてはバスロケーションデータで記録・蓄積されてお

り、降車人数と降車時間の関係が分かれば、降車人数の推計に活用できることが期待される。そこで本研究では、今後のバスロケデータの扉開時間を用いた降車人数の推計などに活用するため、都営バスにおける乗客降車時間を分析し確率的な特性を明らかにすることを目的とする。

## 2. 調査概要

本研究では、都営バスにおける乗客降車時間の特性を分析し特性を明らかにすることを目的とするため、実際にバスに乗り込み降車時の様子を観測、記録する。調査の詳細は以下のとおりである。

### (1) 調査区間と時間帯

本研究で対象とする都営バスでは、図 1 に示すよう

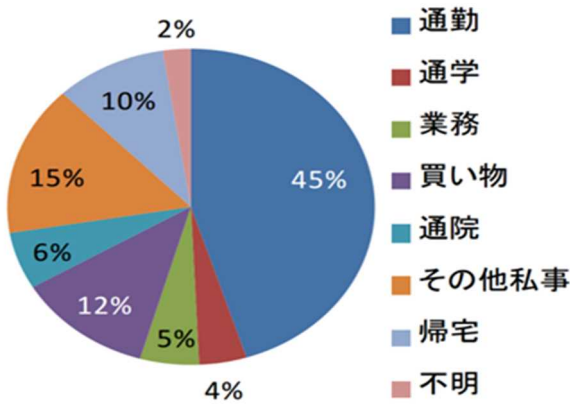


図 1 都営バスの利用目的構成比率



図 2 分析対象路線図

表 1 現地調査サンプル数

	全体	平日			休日		
		朝	昼	夜	朝	昼	夜
高齢者人数	579	50	120	91	82	137	99
非高齢者人数	514	130	65	85	58	79	97
扉開閉回数	447	75	75	75	62	81	79

に様々な利用目的でのバス利用が見られる。これらを踏まえ、対象区間として、一つの路線の中でできるだけ多くの利用目的を有するバス路線を調査対象とすることとし、宿 91 系統を選定した。宿 91 系統は区間長 8.3 km、バス停数が 24 箇所、1 時間に 2~4 本運行となり、路線を図 2 に示す。沿線を見ると、会社も多く高校・大学併せて 7 校以上(200m 以内)、病院が大小合わせて数十件(大学病院複数あり)新宿駅を中心に買い物できる場所多数、新宿駅のほかにメトロ丸の内線駅、京王線、京王井の頭線、の計 8 つの駅と接続(200m 以内)しているなど、都心を運行するバスとして多数の利用目的を有する路線である。

## (2) 調査内容と手法

調査は平日及び休日を対象とし、時間帯での利用特性

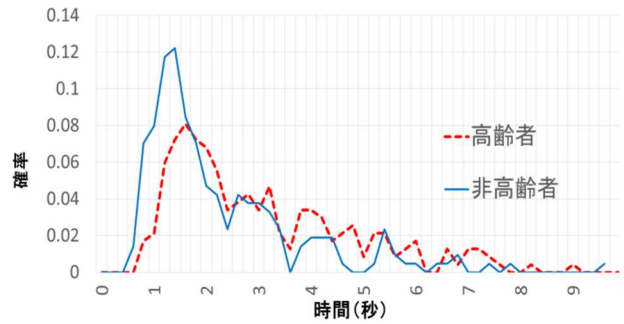


図 3 1 人目降車時間分布 (高齢者/非高齢者)

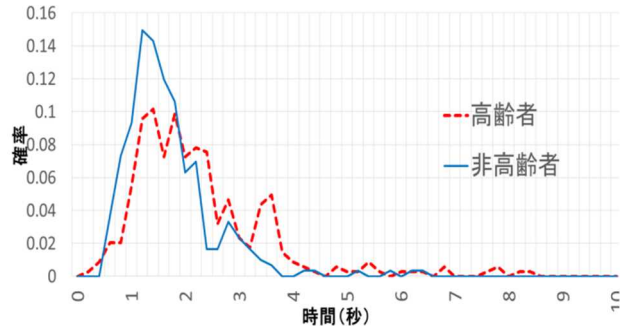


図 4 2 人目以降降車時間 (高齢者/非高齢者)

を考え朝 (7 時-10 時)、昼 (12 時-15 時) 夜 (17 時-20 時) の 3 時間帯に分けて、乗り込み調査を行った。

記録するデータは、扉開閉時刻と降車時刻、年齢層(高齢者 or 非高齢者)、バスの混雑を表す指標として乗車人数のうち立っている人数を観測し、「混雑度」と称す。なお、年齢層は直接聞くことができないため、50~60 歳より上を高齢者、それ以下を非高齢者として、調査者の主観的観察に基づいて設定した。また、降車時刻は降りる時の後ろ足がバスから離れた時刻を計測する。

## (3) 調査回数及びサンプル数

調査は 11 月から 12 月の 8 日間とした。現地調査でのデータサンプル数を表 1 に示す。

## 3. 分析内容

バス扉が開いてから 1 人目降車時間、2 人目以降 1 人あたり降車時間、最終降客降車から扉が閉まるまでの時間(以下「扉閉安全時間」という)に分けて分析する。これらについて、年齢層(高齢者と非高齢者)による降車時間の違いや、混雑度や 1 バス停降車人数による降車時間の違いを分析する。次に、1 人あたり降車時間分布を推定するために、現地調査データの降車時間分布がどの連続型の確率分布に当てはまるかを明らかにする。

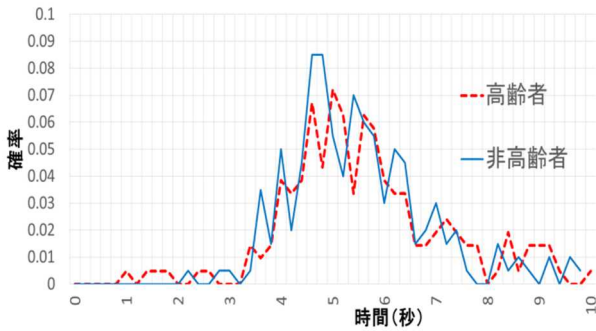


図 5 扉閉安全時間

表 2 年齢層別降車時間

	年齢層	中央値(秒)	平均値(秒)	標準偏差	データ数	有意
1人目降車時間	高齢者	2.5	3	1.9	234	***
	非高齢者	1.5	2.2	1.5	213	
2人目以降降車時間	高齢者	1.9	2.2	1.4	345	***
	非高齢者	1.4	1.6	1.1	301	
扉閉安全時間	高齢者	5.6	7.0	5.4	208	**
	非高齢者	5.4	6.0	2.6	200	

(1) 降車時間分布の分析

ここでは1人当たり降車時間を高齢者、非高齢者で分けて見ていく。

図3は扉開から1人目降車時間を確率分布で表したものである。非高齢者では高齢者に比べて短い秒数にピークが来ているのに対し、高齢者の分布では全般的にばらつきがあることが分かる。

次に、2人目以降の降車時間の分布を図4に示す。非高齢者は13秒あたりで多く降りる。一方、高齢者において非高齢者ほどまとまった時間でおいておらず、ばらつきがみられる。

図5に扉閉安全時間の分布を示す。高齢者と非高齢者による分布型の違いはあまり見られない。なお、データとしては把握できていないが、扉閉時間は運転手毎のタイミングの違いも要因の1つと考えられる。

以上のデータについて、各種統計量を表2にまとめる。中央値において1人目降車時間は1秒の違い、2人目以降降車時間において0.5秒の違いがあり年齢層により降車時間が変わることが示された。扉閉安全時間において年齢層による降車時間の差はあまり見られなかった。

(2) 1バス停降車人数の降車時間への影響

まず1バス停あたりの降車人数別での降車時間についてみていく。図6、図7、表3より1バス停での降車人数が多くなると降車時間が短くなる。降車人数が1, 2人の場合、ばらつきが大きいことがわかる。ばらつきが大きいことから降車する人の扉からの距離に依存

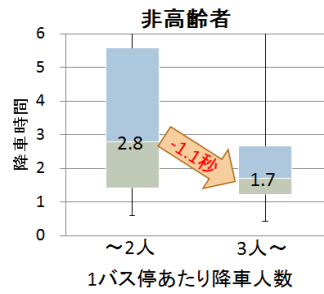


図 6 非高齢者降車時間

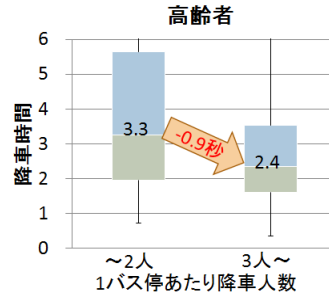


図 7 高齢者降車時間

表 3 全降車人数別 1人あたり降車時間

年齢層	全降車人数			
	高齢者		非高齢者	
	1~2人	3人~	1~2人	3人~
中央値(秒)	3.3	2.4	2.8	1.7
平均(秒)	4.2	2.9	3.9	2.3
標準偏差	3	1.8	3.5	1.8
データ数	210	296	182	330
有意	***		***	

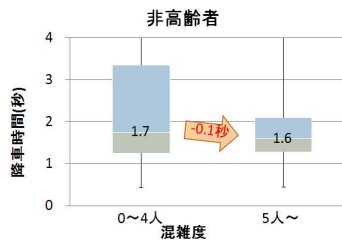


図 8 非高齢者降車時間

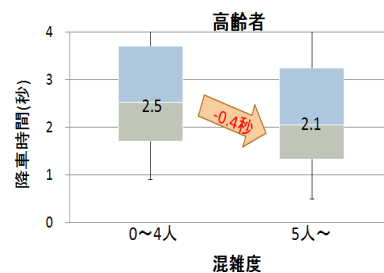


図 9 高齢者降車時間

表 4 混雑度別 1人あたり降車時間

年齢層	混雑度			
	高齢者		非高齢者	
	0~4人	5人~	0~4人	5人~
中央値(秒)	2.5	2.1	1.7	1.6
平均(秒)	3.3	2.7	2.7	1.9
標準偏差	2.9	1.9	2.3	2.3
データ数	260	64	220	81
有意	***		*	

表 6 連続型確率密度関数のパラメータ

	分布型 パラメータ	正規分布		対数正規分布		ワイブル分布		ガンマ分布		指数分布
		$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\gamma$	$\phi$	$\alpha$	$\beta$	$\lambda$
1人目降車 時間分布	高齢者	3.025622	3.422094	0.933685	0.348182	1.764707	3.423365	3.038545	0.995669	0.330537
	非高齢者	2.189172	2.317068	0.588678	0.368366	1.593463	2.464949	2.722066	0.804241	0.45678
2人目以降 降車時間分布	高齢者	2.185674	1.908012	0.620056	0.330488	1.729527	2.46843	3.24771	0.67307	0.457509
	非高齢者	1.622245	1.292025	0.351468	0.235655	1.654574	1.826769	3.935683	0.412172	0.616427
扉閉安全 時間分布	高齢者	6.782775	20.05217	1.783157	0.2273	1.711745	7.675044	5.43721	1.23003	0.147416
	非高齢者	6.002175	7.007787	1.725677	0.115474	2.292299	6.764584	7.689576	0.780832	0.166614

表 5 連続型の確率密度関数

分布	パラメータ	公式
正規分布	$\mu, \sigma$	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
対数正規分布	$\mu, \sigma$	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma x} \exp\left(-\frac{(\log x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$
指数分布	$\lambda$	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$
ワイブル分布	$\gamma, \phi$	$f(x) = \frac{\gamma}{\phi} \left(\frac{x}{\phi}\right)^{\gamma-1} \exp\left\{-\left(\frac{x}{\phi}\right)^\gamma\right\}$
ガンマ分布	$\alpha, \beta$	$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right)$

すると考えられる。

(3) 混雑度の降車時間への影響

次に混雑度別の降車時間をみていく。混雑度はバス停直前で車内に立っている人数を指標としている。

図 8,9,表 4 より高齢者、非高齢者ともに混雑度が大きくなると、多少ではあるが降車時間は短くなる傾向にある。立っている乗客は車内中央から前方に多く降車扉に近いことが影響すると考えられる。

4. 1人あたり降車時間分布の確率分布の推定

現地調査データの降車時間分布を複数の連続型の確率分布に当てはめパラメータを推定するとともに、分布系の適合に関する検定を行い、当てはまる確率分布を明らかにする。分析手順は以下の通りである。

①分析対象とする確率分布をは表-5 に示すものとする。この確率分布に対して、現地調査データ（1人目降車時間分布/2人目以降降車時間分布/扉閉安全時間分布の3つに対してそれぞれ高齢者/非高齢者別）に対して最尤推定法によりパラメータを推定する。

②コルモゴロフ・スミルノフ検定により、推定した確率分布と現地調査データの分布との差を検定する。

表 7 コルモゴロフ・スミルノフ検定の結果

	分布型	正規分布	対数正規分布	ワイブル分布	ガンマ分布	指数分布
1人目降車 時間分布	高齢者	***	***	11%	31%	***
	非高齢者	***	***	**	**	***
2人目以降 降車時間分布	高齢者	***	***	***	24%	***
	非高齢者	***	***	***	21%	***
扉閉安全 時間分布	高齢者	***	***	***	***	***
	非高齢者	***	***	***	***	***

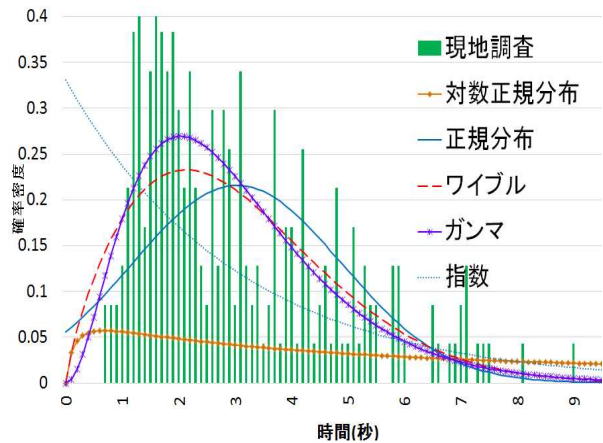


図 10 2人目以降 非高齢者降車時間分布

(1) 確率分布パラメータの推定値と検定結果

表 6 に各ケースの確率分布パラメータの推定値を示す。また、表 7 にコルモゴロフ・スミルノフ検定の結果を示した。表 7 より、ガンマ分布において多くケースで有意でなく、同じ分布系であることを棄却できない結果となっている。このことから、ガンマ分布が最も適用可能であると考えられる。

なお、扉閉安全時間については、ガンマ分布を含むいづれの確率分布も当てはまりがよくないようである。

(2) 確率分布と実観測サンプル分布の比較

図 10 において推定したパラメータを用いて描いた確率密度関数と実際に観測したサンプルの度数を合わせて示す。これらを見ると、ガンマ分布が最も近い分布となることが示される。

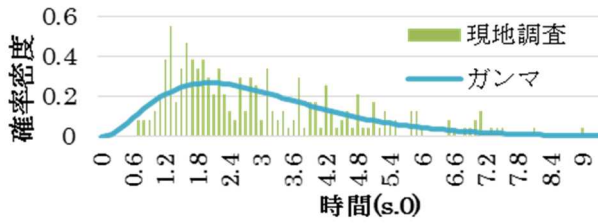


図 11 高齢者 1 人目降車時間分布

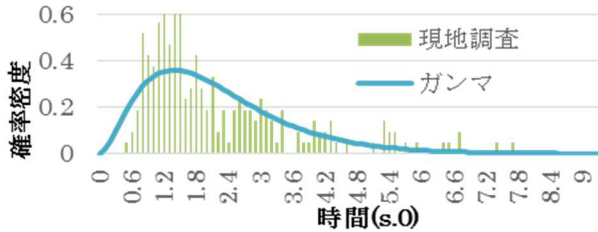


図 12 非高齢者 1 人目降車時間分布  
時 降車時間分

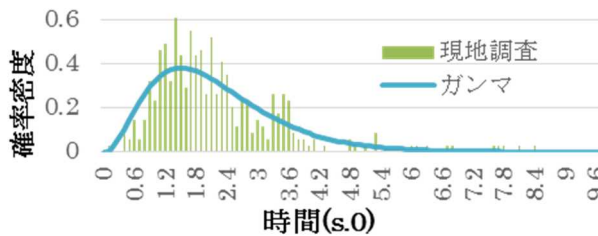


図 13 2 人目以降高齢者時 降車時間分布

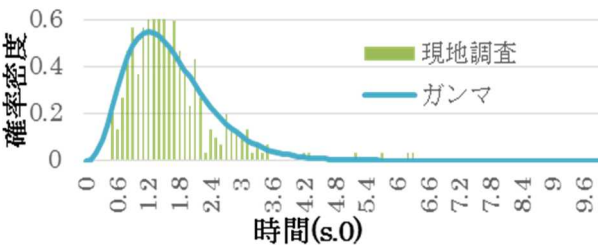


図 14 2 人目以降非高齢者時 降車時間分

図 11～図 14 は 1 人目降車時間と 2 人目以降降車時間においてガンマ分布と現地調査データの分布を示すが、いずれもガンマ分布が比較的適合しているように見える。

#### 4. まとめ

各パターン別降車時間の分布としてはガンマ分布が適用可能であることが示された。今後、この結果を用いて、降車人数をパラメータとした降車時間分布の同定を行うとともに、降車人数の推計に活用することを検討する。一方、運転手の特性や乗客の特性も降車時間の重要な要素であるので、これらの要因も把握して分析する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 東京都交通局, 都バス運行情報サービス <http://tobus.jp>
- 2) 小根山 裕之, 広瀬 一樹, 小澤 精治, 鹿田 成則: バス利用者の Web 情報利用に関する実態分析、2013
- 3) 元田 良孝, 金澤 崇: バス乗降時間の要因に関する基礎研究, 交通工学研究発表会論文報告集 25, 269-272, 2005-10
- 4) 宇佐美 誠史, 元田 良孝, 金澤 崇: バス乗降時間の要因に関する基礎研究, 交通工学研究発表会論文報告集 25, 269-272, 2005-10
- 5) 鳥海 重書, 中村 幸史, 田口 東: 通勤電車の遅延計算モデル, 公益社団法人日本オペレーションズ・リサーチ学会 vol.50, no.6, pp.409-416, 2005-06-01
- 6) 箕輪 真輝人: バス利用交通 IC データを用いた首都圏道路の混雑の分析, 中央大学理工学部情報工学科卒業研究 論文, 2015

Analysis of actual conditions of passengers getting off the car in consideration of various factors in the Tokyo bus  
Takumi Suzuki, Masami YANAGIHARA and Hiroyuki ONEYAMA