

# 夜の都市鉄道利用における混雑不効用関数に関する研究\*

## Analysis on Disutility of Congestion by Users Behaviour Commuting Train at Night\*

山崎翔平\*\*・森田泰智\*\*\*・窪田崇斗\*\*\*・山崎公之\*\*\*\*・家田仁\*\*\*\*\*

By Shohei YAMAZAKI\*\*・Yasutomo MORITA \*\*\*・Takato KUBOTA\*\*\*・KimiYuki YAMAZAKI\*\*\*\*・Hitoshi IEDA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

都市鉄道の混雑問題は、利便性・サービス向上を図る上で主要な要素の1つである。従来は、朝のピーク時の混雑緩和に主眼がおかれ、新線建設、複々線化、列車の長編成化、などの輸送力増強が講じられてきた。その結果、東京圏鉄道ネットワークにおける主要31区間の全体平均混雑率は170%程度と徐々にではあるが緩和されてきたところである<sup>1)~2)</sup>。一方で、夜の帰宅時間帯の混雑も問題視されるようになってきており、朝ピーク時の対策に続く「第2フェーズの混雑対策」が求められているが、この問題に対する対策は十分に検討されてこなかったと言える。

そこで、本研究は夜の混雑問題に対する基礎研究として、朝の通勤時と夜の帰宅時における混雑不効用（不効用：不快、苦痛に感じる度合い）の差異を明らかにすることを目的とし、鉄道駅での実測調査を行い、その実測データを用いて混雑不効用関数を推定した。このアプローチに関しては、着席効用度を算出するために地下鉄丸ノ内線池袋駅で現地調査を行った家田ら<sup>3)</sup>の研究を参考としている。

本研究では西武池袋線池袋駅を対象としている。同駅は全列車が始発であるため、列車到着前から並ぶことで着席できる。また、座席指定有料特急列車が設定されており、追加料金を支払うことでも着席を確保できる。従って列車選択肢が豊富であり、モデル化に好都合な駅である。

### 2. 予備調査の概要及び基礎分析

鉄道利用において通勤時間帯と帰宅時間帯で異なる状況として、直感的には疲労の度合いや飲酒の有無等が考えられる。夜の混雑不効用を算出するにあたり、そのような指標を科学的に分析・検証するため予備調査を行った。

#### (1) 調査概要

疲労に関しては、被験者（20代前半の男女それぞれ3人）を用意し、西武池袋線の池袋一所沢間において朝と夜の時間帯でそれぞれ混み合った列車に立席乗車させて各種指標を測定する。飲酒に関しては乗客本人の状態よりも、飲酒した乗客がいることによる外部不経済を重視し、その中でも酒臭いという指標を数量的に実測・分析した。

#### (2) 測定項目および測定結果

以下の項目<sup>4) 5)</sup>について測定した。

表-1 予備調査の測定項目

項目	内容
心拍間隔(RRI) :	身体ストレス
ふくらはぎ周長 :	脚の「むくみ」
唾液アミラーゼ活性 :	精神ストレス
エタノール・アセトアルデヒド濃度 :	「酒臭さ」の指標

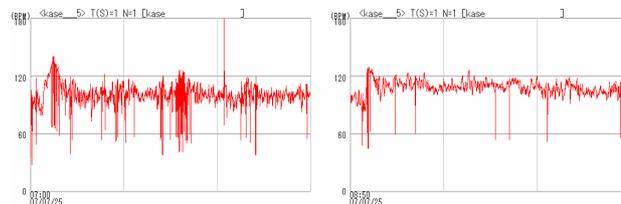


図1 心拍数 (RRIの逆数、左：朝、右：夜)

RRI、ふくらはぎ周長では通勤時間帯に対して帰宅時間帯において、より疲労していることを示す結果を得た。しかし、唾液アミラーゼ活性では個人差が大きく、疲労によるストレスを実証するには至らなかった。エタノール、アセトアルデヒド濃度に関しても、機器が局所的な濃度しか測定できないためか、全く検出できなかった。

#### (3) 小括

簡便な測定ではあったが、飲酒に関する指標は得られなかったものの、夜の鉄道利用における疲労が朝に比べて大きいことは示された。

\*キーワード：第2フェーズの混雑、夜の混雑不効用

\*\*学生員、学（工）、東京大学大学院工学系研究科社会基盤専攻  
（東京都文京区本郷7-3-1工学部1号館324号室、

TEL : 03-5841-6118、FAX : 03-5841-8507)

\*\*\*正員、修（工）、鉄道・運輸機構 東京支社 計画部 調査第一課

\*\*\*\*非会員、修（工）、西武鉄道株式会社 鉄道本部計画管理部計画課

\*\*\*\*\*フェロー員、工博、東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻

### 3. 鉄道駅での実測調査の概要

夜の鉄道駅では、乗客が座席を獲得するためにどの程度の時間待っているのか、また、列車の立席密度はどの程度であるかを実測調査し、以下のフローにより混雑不効用関数を推定した。

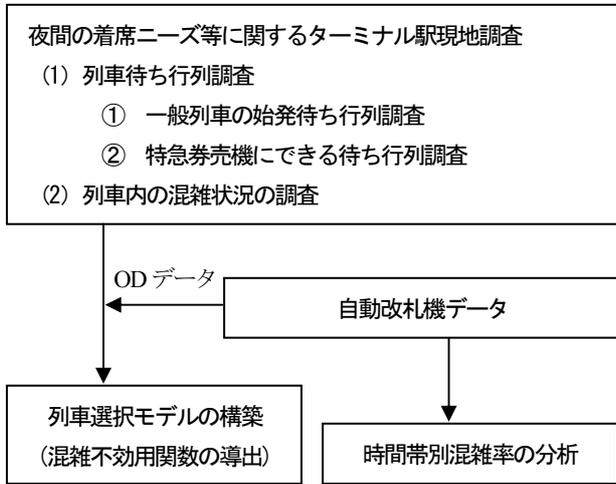


図2 分析フロー

#### (1) 池袋駅調査概要

##### a) 西武池袋駅の概要

池袋駅は西武池袋線の始発駅である。表1に池袋駅の概要を示した。特急券は改札内外で購入できるが、先発列車分は改札内のもののみしか購入できない。インターネットで予約していた場合は改札外でも購入できる。予約分は発車10分前に販売を終了し、発車5分前からキャンセル分として一般向けに販売する。一般ホームはおおむね種別によって使用するホームが分けられている。

##### b) 調査日および調査時間

実施日は平成19年10月17日(水)と同19日(金)である。水曜日は平日の平均的な傾向を見るため、金曜日は飲み会等で帰宅時間が遅くなることを考慮して設定した。時間はそれぞれ18時台と22時台である。18時台は定時で帰宅する人による混雑の第1波を、22時台は飲酒・残業等を経て帰宅する人による混雑の第2波として設定した。なお、調査結果の詳細な分析は森田らの<sup>6)</sup>論文に委ねる。

表2 池袋駅の概要

日平均乗車人数 (18年度)	514, 829人
ホーム構造	頭端式4面4線(1-7番ホーム) 有料特急専用ホームあり
列車運行間隔	18時台: 3-4分(特急30分) 22時台: 4-6分(特急30分)
列車編成	10両または8両 特急は7両(座席数404)

車両構造	両開4ドアまたは3ドア 乗車定員135-168人
------	-----------------------------

#### (2) 調査項目

##### a) 待ち行列調査

この調査は、特急列車及び一般列車を対象とし、待ち行列人数を行列の開始時刻から時系列的に計測するものである。特急の場合は改札内にある特急券販売機(先発特急のみ販売)にできる待ち行列人数を測定した。その他の一般列車の場合は進行方向最後尾車両の前から2つ目のドアに対してできる待ち行列人数を測定した。

この一例として金曜日18時台の急行列車の待ち行列測定結果を図3に示す。この例は金曜日18時台の急行列車の測定結果である。これによると開扉前から30分以上も待っている人がいることや、前の列車が発車する前からすでに次列車の列が出来始めていること等が確認できる。

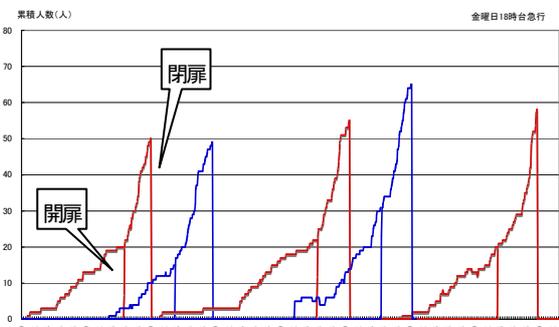


図3 列車待ち行列の分布(金曜日18時台急行)

##### b) 車内人員調査

この調査では、対象列車を18時台と22時台の急行・準急・各駅停車の各1列車とし、それぞれ池袋からその列車の終点までの各駅間の車内立席乗車人数を測定し、立席密度(立席乗車人数/測定箇所床面積)を求めた。測定箇所は各列車の最後尾車両の第2・第3ドア付近と、隣接の座席間である(図4)。

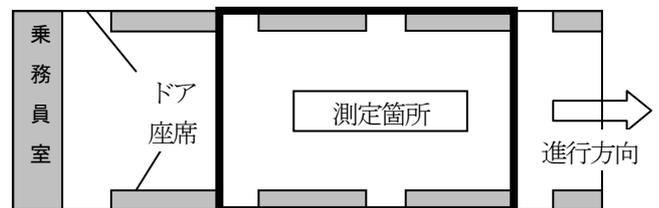


図4 車内測定箇所

この測定結果の一例として、図5に金曜日22時台の駅間立席密度を示す。池袋発車直後では足の長い急行列車の混雑が最も激しく、各種別とも池袋駅から離れるにつれて立席密度も減少していくことが確認できる。

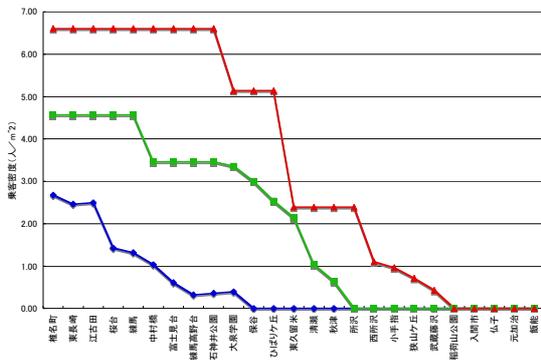


図5 車内立席密度推移 (金曜日22時台)

#### 4. 不効用関数の推定

##### (1) 不効用関数の設定

本章では混雑不効用を含む不効用関数のパラメータ推定のプロセスについて述べる。本研究における不効用関数は次のように表される。

$$V_{t,i,j} = \alpha_1 t_{Wi} + \alpha_2 t_{Li} + \sum_j \alpha_3 C_{ij}^{\alpha_4} \Delta t_{ij} + \alpha_5 \delta_i t_{Si} + \alpha_6 \delta_i f_k$$

各変数は、

$V_{t,i,j}$  : 時刻tに池袋駅に到着した乗客が、駅jに向かうた

め列車iを選択することによる不効用

$t_{Wi}$  : 列車iをホームで待つ待ち時間

$t_{Li}$  : 列車iに乗車している時間

$C_{ij}$  : 列車iの駅jと駅j-1間の混雑率

$\Delta t_{ij}$  : 列車iの駅jと駅j-1間の所要時間

$\delta_i$  : 着席ダミー変数 (着席: 1、立席: 0)

$t_{Si}$  : 列車iでの着席時間

$\delta_i'$  : 特急ダミー変数 (特急利用: 1、一般利用: 0)

$f_k$  : 駅kまでの特急利用にかかる追加料金

$\alpha_n$  ( $n=1,2,\dots,6$ ): パラメータ

である。

列車選択モデルはこの不効用関数を組み込んだロジットモデルを利用した。すなわち時刻tに池袋駅に到着した乗客が、駅jに向かうため列車iを選択する確率 $P_{t,i,j}$ は次のようになる。

$$P_{t,i,j} = \frac{\exp(V_{t,i,j})}{\sum_i \exp(V_{t,i,j})}$$

##### (2) 最適解の算出

本モデルは池袋駅の入場者数/分にOD表から得られた池袋発のD比率をかけた各駅着人数/分を入力とし、前

節の $P_{t,i,j}$ の計算を経て、各列車の待ち行列の時系列データを出力するものである。

パラメータ推定は次の要領で水曜日、金曜日のそれぞれ18時台、22時台の4種類について行った。

- I. 各時刻 (1分毎) における各駅に到達する列車の選択肢を列挙する
- II. 選択された各列車に対して待ち時間、乗車時間、追加料金を設定する
- III. パラメータを入力し混雑項、着席時間を計算する
- IV.  $P_{t,i,j}$ を求め、池袋駅からの各駅着人数を入力し、各列車の期待待ち人数を計算する
- V. 調査時間帯とその前30分の計90分間に対してI-IVを繰り返し計算し、各列車の待ち行列分布を得る
- VI. 入力パラメータを少しずつ変化させて、調査データとの誤差二乗和の大きさを比較し、誤差が最小となるパラメータを採用し、IIIから繰り返す

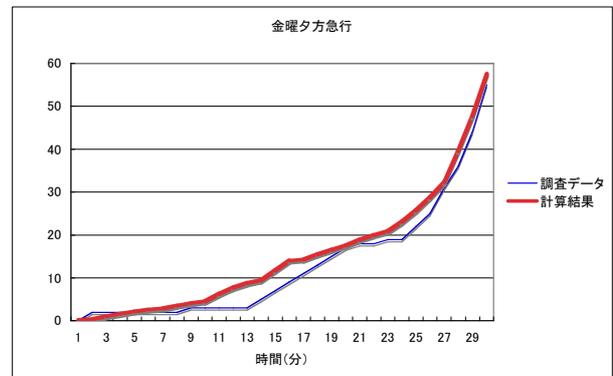


図6 待ち行列の計算結果と調査データの例

算出された最適パラメータを表2に示す。なお、朝ラッシュ時は鉄道事業評価マニュアル<sup>7)</sup>で用いられている値を掲載する。

表3 最適パラメータ

	$\alpha_1$ 待ち時間	$\alpha_2$ 乗車時間	$\alpha_3$ 混雑係数
水曜日18時台	1.736	6.170	0.12830
金曜日18時台	0.935	4.116	0.04153
水曜日22時台	0.612	4.094	0.15307
金曜日22時台	1.497	9.102	0.11951
朝ピーク時	/		0.005
	$\alpha_4$ 混雑指数	$\alpha_5$ 着席時間	$\alpha_6$ 追加料金
水曜日18時台	1.344	-1.2797	0.00060
金曜日18時台	1.124	-0.7073	0.00117
水曜日22時台	1.435	-0.2642	0.00040
金曜日22時台	2.038	-0.7551	0.00030
朝ピーク時	3.8	/	

### (3) 混雑不効用から得られた知見

混雑不効用（不効用関数第3項： $\sum_j \alpha_3 C_{ij}^{\alpha_4} \Delta t_{ij}$ ）に

対して上記パラメータを使用し、混雑率を入力する実証実験を行った。その結果を図7に示す。また、18時台は両日ともほぼ同じ値であったため、水曜日のみ掲載する。

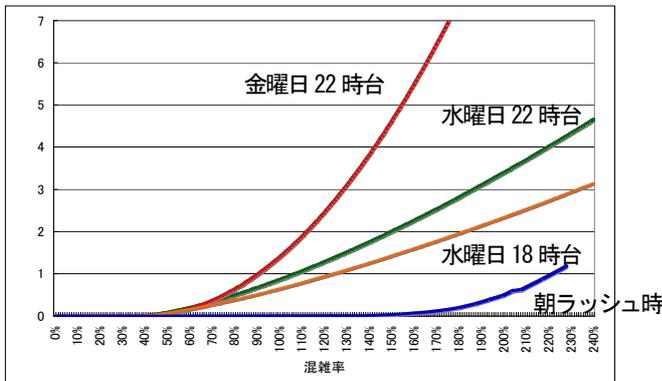


図7 混雑不効用の計算結果

図5の左端は着席人員が定員まで入っていて立席が0の状態、混雑率は39%となっている。池袋調査時は最大の混雑率を示した列車で160%程度であった。

上のグラフを見ると、金曜日22時台の不効用が際立って高いことがわかる。例えば、同時間帯の混雑率150%の列車に1分間乗車することの不効用は、空いている列車に5分余計に乗車する不効用と等しいことがわかる。また水曜日22時台も朝ラッシュ時や18時台に比べると高くなっている。

また、その他の項の特徴を見ていくと、やはり金曜日22時台がその他の時間帯と比べて異なる傾向を示していることがわかる。待ち時間や乗車時間では不効用が高く、着席することによる正の効用は高く、追加料金を払うことによる不効用は低くなっている。このことから、金曜日22時台は他の時間帯よりもより快適さ重視の行動を選択することがわかる。

ただし、グラフの朝ラッシュ時に示すような既存研究の値に比べて、夜の混雑不効用は著しく大きい値となっており、その値の信頼性が疑問視された。また、待ち時間よりも乗車時間の方が大きい不効用を示したり（直感的には待ち時間の方が不効用が大きいと思われる）、追加料金項も曜日によって大きく値が異なることに対してもやや疑問が残る。これは本研究で用いたロジットモデルの説明性が悪いためではないかと考えた。朝ラッシュ時の先行研究で家田ら<sup>3)</sup>は着席効用度を提案しているが、この時は乗客の個人差を反映するため効用に確率分布を適用している。今後、本研究の不効用値の精度を上げるために、上記の方法を参考にモデルのアプローチを再検討する必要がある。

しかし、本モデルの各種実験等から列車選択モデルとし

ての方向性は妥当であることを確認したため、本研究の結果については定性的には大小関係や符号条件は妥当であると考えている。

## 5. まとめと今後の展開

予備調査では、夜の鉄道利用に関して、乗客の疲労が朝と比較して蓄積していることを検証した。西武池袋駅における実測調査では、待ち行列と車内立席密度を実測し、曜日・時間帯による待ち時間や人数の傾向を把握した。また、前列車の開扉前から次列車へ並ぶ乗客の存在が確かめられた。不効用計算では、列車選択モデルを設定して最適パラメータを算出した。その結果、夜の混雑不効用は朝ラッシュ時と比べて著しく増大することが確認でき、同じ夜間でも水曜日に比べて金曜日の不効用が大きくなることが明らかになった。

これにより、実際の政策への活用として、乗客への列車混雑情報の提供や、夜間・ピークサイドにおける実態に応じたダイヤ設定、新たな有料着席列車の設定などといった混雑緩和等施策が考えうる。

今後はより精緻なモデル構築を目指した、不効用値の計算の精度を上げる研究を継続していく。また、他路線においても本研究の理論が有効であることを確かめるために、東武東上線を対象に西武線と同様の調査を行い、その混雑不効用を計算することとしている。ここから乗客の列車選択行動について、今回と同様の傾向を示すかを分析したいと考えている。

### 参考文献

- 1) 財) 運輸政策研究機構：数字で見る鉄道2006、2006
- 2) 国土交通省：平成17年度大都市交通センサス首都圏報告書、2007
- 3) 家田、松本：短距離鉄道通勤者における着席効用度の分布特性に関する研究、土木計画学研究・講演集、1986
- 4) 土川、岩倉：長距離トリップに伴う乗車ストレスの計測技術に関する研究、土木計画学研究・講演集、2000
- 5) 山口、金森、金丸、水野、吉田：唾液アミラーゼ活性はストレス推定の指標になり得るか、医用電子と生体工学、2001
- 6) 山崎翔平、森田泰智、窪田崇斗、山崎公之、家田仁：西武池袋線を対象とした混雑と着席ニーズに着目した利用者行動に関する分析、土木計画学研究・講演集 Vol.38, 4page, 2008
- 7) 財) 運輸政策研究機構：鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル 2005、2005