

夜間における都市鉄道利用者の行動に基づく混雑不効用に関する分析

○[土]窪田 崇斗 (鉄道・運輸機構) [土]山崎 翔平 (東京大学)

[土]森田泰智 (鉄道・運輸機構) 山崎 公之 (西武鉄道) [土]家田 仁 (東京大学)

Analysis on disutility of train overcrowding by passenger behavior
during night commuting periods

○Takato KUBOTA(Japan Railway Construction, Transportation and Technology Agency)

Shohei YAMAZAKI(The University of Tokyo)

Yasutomo MORITA(Japan Railway Construction, Transportation and Technology Agency)

Kimiya YAMAZAKI (Seibu Railway Co.,Ltd)

Hitoshi IEDA (The University of Tokyo)

Rate of train overcrowding during night commuting periods remains still high, while the rate during morning commuting periods has been decreasing in Tokyo. In order to take more effective measures, it is necessary to develop a way to grasp differences between the periods. This study tries to formulate disutility function of train overcrowding during night commuting periods by observed passenger behavior, and discusses the differences by comparing our outputs with the disutility functions of earlier studies.

キーワード：夜間の混雑，混雑不効用

Keywords：train overcrowding during night commuting periods, disutility of train overcrowding

1. はじめに

都市鉄道の利便性・サービス向上への社会的要請は増大しており，その中でも混雑問題は依然として主要な要素の1つである．これまで，主に朝ピーク時の最混雑率の緩和を主眼として，輸送力増強のための施策が講じられてきた．一方，夜間の時間帯においても混雑問題は顕著であり，都市鉄道サービスの更なる向上を図る観点から，夜間における混雑や着席ニーズに関する利用者行動の実態を把握し，今後の効果的な施策の検討に役立てることが求められている¹⁾．

そこで，本研究では夜間の混雑問題に対する基礎的研究として，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）に着目し，西武池袋線を対象に鉄道駅における利用者行動に関する実測調査を行い²⁾，その実測データを用いて混雑不効用関数を推定した．また，推定された結果に基づき朝と夜の差異等に関する傾向の把握を行った．なお，検討の際に行ったモデル化の手法に関しては，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³⁾の研究を参考としている．

2. 分析の流れ

2.1 分析フロー

本研究では，混雑に対する抵抗感を説明する指標としてターミナル駅において列車の待ち行列が形成される状況および各列車内における区間別の混雑を測定した．これに特急券販売実績，自動改札機より得られる OD データ等を組み合わせることで列車選択モデルを構築し，混雑不効用を推計した．

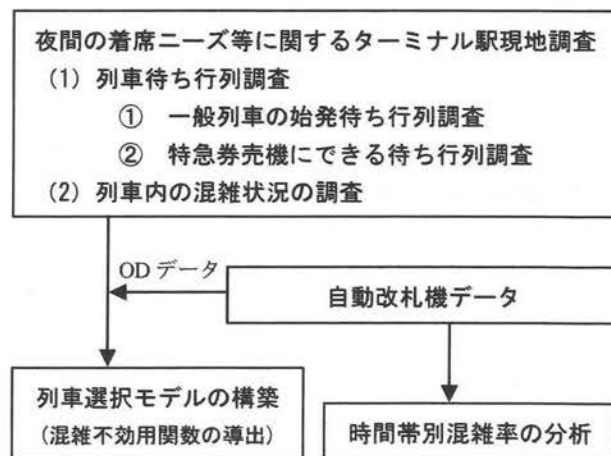


図 1 分析フロー

2.2 朝と夜の差異の把握に向けた予備検証

前項で述べた混雑不効用について、疲労や生体的なりズムにより朝と夜の差異があることは、直感的に推測されるが、科学的な視点で予備的に検証しておく必要がある。

対象路線である西武池袋線（池袋～所沢間）において、朝と夜のそれぞれの時間帯で3人の被験者（20代男女）について、疲労を示す指標となる心拍数・ふくらはぎ周長等の計測を行った^{4) 5)}。その結果、夜の時間帯は、朝に比べてより疲労していることを示すことがわかり、朝と夜の差異を把握することが一定の妥当性を持つと予備的・簡易的に検証されたといえる。

3. ターミナル駅現地調査

3.1 調査概要（西武池袋駅）

（1）西武池袋駅の概要

西武池袋駅は全列車が始発列車であり、混雑した時間帯であっても、列車到着前からホーム上で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着席を確保できる。したがって、着席チャンスを含めた列車選択における選択肢が豊富であり、モデル化に好都合な駅として選定した。

西武池袋駅では、特急券は改札内および改札外で購入できるが、直近の先発列車分（発車30分以内）は改札内では購入できない。また、事前にインターネットで予約していた場合は、改札内、改札外の双方で購入できる。この予約分は発車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改札内で一般向けに販売されるが、この購入のために列車によっては券売機前に待ち行列が発生する状況となっている。

表1 西武池袋駅の概要

日平均乗車人数 (平成18年度実績)	514,829人
ホーム構造	頭端式4面4線 (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406）
車両構造	両開4ドアまたは3ドア 乗車定員135～168人

（2）調査日および調査時間

調査実施日は平成19年10月17日（水）と同19日（金）であり、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。時間帯は、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¹⁾。

3.2 調査項目および結果

（1）列車待ち行列調査

この調査は、特急列車及び一般列車を対象とし、待ち行列の人数を行列の発生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。

調査結果の一例として、金曜日18時台の急行列車の待ち行列測定結果を図2に示す。開扉前から30分以上も待っている人がいることや、前の列車が開扉前からすでに次列車の列ができ始めていること等が確認できる。

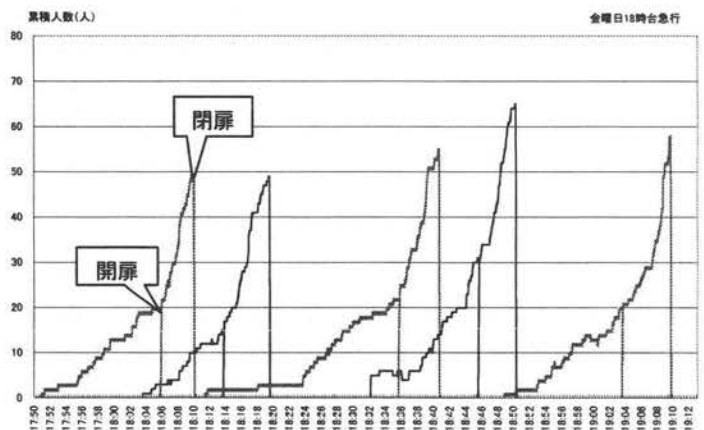


図2 列車待ち行列の分布（金曜日18時台急行）

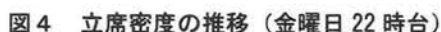
（2）列車内の混雑状況の調査

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、それぞれ始発駅である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／測定範囲有効床面積）を求めた。なお、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3）。



図3 列車内の混雑状況調査範囲

測定結果の一例として、図4に金曜日22時台の駅間立席密度を示す。池袋発車直後では乗車距離の長い利用者が多いと見られる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。



4.1 不効用関数の設定

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

$V_{t,i,j}$: 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_{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 Δt_{ij} : 列車iの駅jと駅j-1間の所要時間 δ_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 δ_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 α_n : パラメータ ($n=1, 2, \dots, 6$)

また、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設定した。すなわち、ある時刻 t に池袋駅から乗車しようとする利用者が、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。

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

4.2 パラメータ推定

池袋駅の入場者数/分に時間帯別 OD 表から得られた池袋発の各駅着数の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

具体的には、下記に示す手順で、水曜日、金曜日のそれぞれ 18 時台、22 時台の計 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

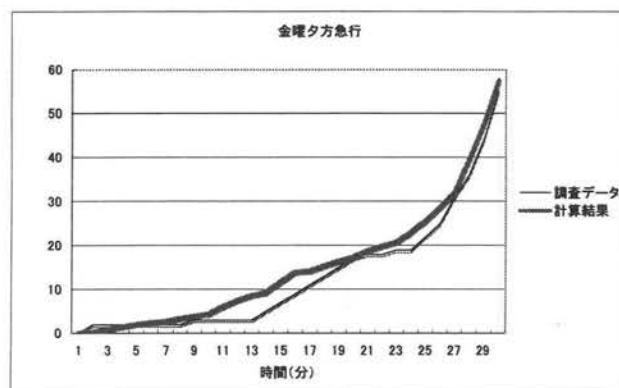


図5 出力された待ち行列データと調査データ

表2 推定パラメータ

	α_1 待ち時間	α_2 乗車時間	α_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
	α_4 混雑指数	α_5 着席時間	α_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		

※朝ピーク時は、鉄道プロジェクトの評価手法マニュアル⁶⁾で用いられている値である。

4.3 不効用関数の各項に関する分析

混雑不効用 (不効用関数第 3 項: $\sum \alpha_3 C_{ij}^{\alpha_4} \Delta t_{ij}$) に対して上記パラメータを使用し、混雑率 (立席密度を混雑率に換算した値) を実証的に入力し、図 6 にプロットした。

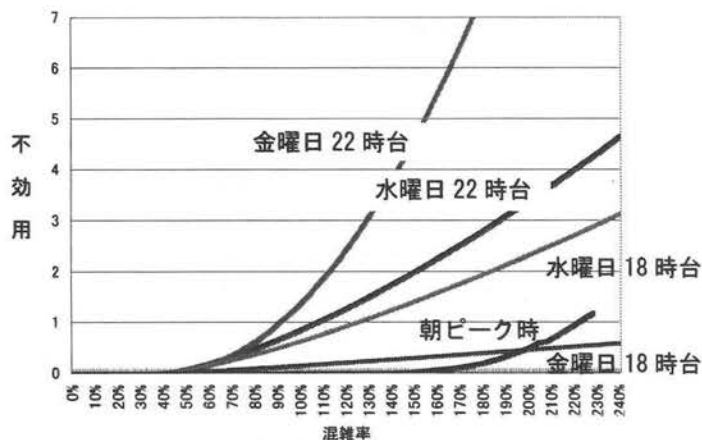


図 6 混雑不効用の計算結果

図 6 の金曜日 22 時台の曲線等が立ち上がる点は着席人員が定員分まで入り、立席が 0 の状態である (混雑率は約 39%)。なお、調査列車では、最大の混雑率を示した列車で 160% 程度であった。

グラフを見ると、金曜日 22 時台の不効用が際立って高い傾向がわかる。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示されている。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。

他の項の特徴について見ると、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。たとえば、金曜日 22 時台は他の時間帯に比べて、待ち時間や乗車時間は不効用が高くなり、着席時間による正の効用も高くなる。一方、追加特急料金を払うことによる不効用は低くなっている。これらのことから、特に金曜日 22 時台は他の時間帯よりも、所要時間の短縮や着席時間が確保できること等、快適さに関わる指標を重視した行動が選択される傾向が見られる。

ただし、グラフに示すような朝ピーク時の既存研究の値と比較すると、本研究で推定した混雑不効用は著しく大きい値となっており、信頼性の検証が必要である。また、待ち時間よりも乗車時間の方が相対的に大きい不効用を示していること、追加料金項も曜日によって大きく値が異なること等に対しても、同様に検証が必要である。これは、本研究で用いたロジットモデルの特徴によるものと考えられるため、先行研究で提案されている乗客の個人差を反映す

るために確率分布を適用した着席効用度等の考慮を視野に、検討を深度化していく必要があるものと考えられる。

5. まとめと今後の課題

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。さらに、調査結果をもとに列車選択モデルを構築し、夜の混雑不効用関数を導出することで時間帯・曜日別の混雑抵抗の把握が可能となった。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、実際の施策検討において、夜間における実態に応じたダイヤ設定、着席ニーズに対応した新たな有料着席列車の設定等の更なる混雑緩和施策に向けた基礎的資料として活用すること等が考えられる。

今後はより精緻なモデル構築を目指し、説明性や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有効性を確かめるために、同様の調査を行い、その混雑不効用を推定するとともに、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について更なる分析をしたいと考えている。

参考文献

- (1) 窪田, 森田, 太田, 古谷, 家田: 自動改札機・車両応荷重データを用いた都市鉄道の時間帯別混雑率の分析, 土木計画学研究, 論文集 vol. 25 no. 3, pp641-646, 2008. 9
- (2) 落合, 山崎, 森田, 山崎, 家田: 西武池袋線における混雑と着席ニーズに着目した利用者行動に関する分析, 土木学会第 15 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, 2008. 12 (掲載予定)
- (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) 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. 7