

混雑車両への課金による プラットフォーム上の混雑緩和効果の計測

安倍 智紀¹・川崎 智也²・西内 裕晶³・轟 朝幸⁴

¹学生会員 日本大学大学院 理工学研究科社会交通工学専攻 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: cst014003@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 日本大学助教 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: kawasaki.tomoya@nihon-u.ac.jp

³正会員 長岡技術科学大学助教 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)
E-mail: nishiuchi@vos.nagaokaut.ac.jp

⁴正会員 日本大学教授 理工学部交通システム工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail: todoroki.tomoyuki@nihon-u.ac.jp

都市鉄道では、降車駅の階段が近いなどの理由により特定の車両に混雑が集中し、ホームから出る際に余計な時間を要している。そこで本研究では、混雑している車両に対して課金を行い、ホームにおける利用者集中を分散させる手法を提案する。そこで本稿では、ホーム混雑の解消を目的として、東葉高速線船橋日大前駅の利用者を対象とした課金条件下におけるアンケート調査を実施し、車両選択モデルを構築し、シミュレーションを行った。その結果、課金時の利用者の車両選択行動要因および車両選択確率が明らかとなった。さらに、生存分析を用いて、利用者の車両移動に対する課金額の受諾可能性を分析した。その結果、受諾率は課金を始めた際に急激に減少することが明らかとなった。また、Viswalkを使用してシミュレーションを行い利用客のホーム上の動きを可視化し、課金時におけるホーム上の流動を把握した。

Key Words : *congestion charge, urban railway, discrete choice model, survival assay, Viswalk*

1. はじめに

日本の都市鉄道では、朝夕のピーク時に定常的な混雑が発生している。これにより、利用者は肉体的・精神的な苦痛を強いられている。また事業者側はピーク時間帯に発生する過剰な利用者により乗降時間が拡大し、列車の定時運行を妨げられている。これらの問題を解決するために、鉄道会社では新線開業や複々線化、信号設備改良による列車の増発やプラットフォーム（以下、ホーム）や列車車両の設備改良による輸送力確保など、ハード面での混雑緩和施策を講じてきた。その成果もあり、東京圏における主要 31 路線の最混雑区間の平均混雑率は、1975 年度には 221%であったが 2013 年度には 164%まで減少し、年々減少傾向にある¹⁾。しかしながら、本研究が対象とする東京メトロ東西線のように、混雑率が 197%と混雑が非常に激しい路線や区間は多い。

車両内の混雑率が高いとホーム上も混雑し、転落事故が発生する可能性が高くなる。そのため、鉄道会社では

ホームドアの設置、列車非常停止ボタンの設置、転落検知装置の設置、車両外幌の設置など、転落事故防止の対策を行っている³⁾。しかしながら、日本におけるホームからの転落事故による死傷者数は、2003 年度時は 106 名、2012 年度では 223 名と増加傾向にある²⁾。また、利用者は目的駅の出口の階段及びエスカレーター付近に停車する車両に乗車する傾向があるため⁴⁾、ホーム上の特定の場所に利用者が集中する。そのとき、降車客数が階段やエスカレーターの処理容量を上回るため、ホーム上で降車客の滞留が生じる。ホーム上での滞留は、利用者の時間的損失に加え、線路への転落など、安全面において問題となっている。以上より、ホーム上での混雑緩和は重要な課題となっている。

そこで本研究では、ホーム上での混雑を緩和するための一策として、混雑車両に課金を行うことを提案する。混雑車両に課金を行うことで、比較的空いている車両にシフトするインセンティブを利用者に与え、階段への利用者の到着を時間的に分散させることが期待できる。そ

の結果、出口の階段やエスカレーター付近でのホーム上の滞留が緩和されるものと考えられる。

そこで、混雑車両への課金によりどの程度ホーム上での混雑がどの程度緩和されるか計測することを目的とする。混雑緩和の計測には Viswalk を用いたシミュレーションを行う。混雑課金に対する利用者の車両選択行動は離散選択モデルを用い、混雑課金支払意志額については生存分析を用いる。

本研究の構成は以下の通りである。まず、2.本研究に関連する既存研究の整理を行う。3.では、本研究での対象路線について概説し、その現状についてまとめる。3.で現状について明らかとなりそれに基づき、4.では利用者の車両選択行動について、離散選択モデルを用いてモデル化する。これより、混雑課金を実施した場合の利用者の車両選択行動を分析する。5.では、混雑課金支払意志額の分析を行い、どの課金額で利用者が乗車車両を変更しやすいか検討を行う。6.では、4.と5.で分析した利用者の行動モデルに基づき、混雑車両に課金した場合のホーム上の歩行者流動のシミュレーションを行い、混雑緩和効果を計測する。最後に、7.で研究の結果・今後の課題について述べる。

2. 既存研究の整理

(1) ホーム上の混雑に関する文献

島田ら⁴⁾は JR 西日本京都線を対象として、車両の各扉の乗降客数を測定した。その結果、乗車・降車客共に乗車駅で階段位置に付近の車両の扉から乗降車することが分かった。特に降車客については階段位置との関係が強く、降車人数体の 5~9%が降車駅階段付近の扉に集中することが分かった。これより、降車客は目的地（降車駅）において、階段付近に混雑が集中し、滞留が発生しやすい状況にあるといえる。

水野ら⁵⁾は東京地下鉄株式会社東西線（以下、東京メトロ東西線）を対象に、各車両に混雑情報を開示した場合利用者の車両選択行動を分析した。分析の結果、各車両に混雑情報の開示を行った際に、利用者が混雑率の低い列車・車両に移動することが明らかとなった。

また植原ら⁶⁾は、通勤時刻転換を行う上で、乗車ポイント、アクセス費用割引、待合施設の設置、車内混雑緩和というインセンティブを利用者に付与する場合を想定し、東急電鉄田園都市線にてアンケート調査を行った。その結果、乗車ポイントを与えるインセンティブが最も効果的に通勤時刻転換を行うことができることが示唆された。

以上より、混雑車両から他の車両へ利用者を転換させるには、混雑情報の開示が効果があることが分かっている。

しかし、植原らは車両転換を促すインセンティブとして、金銭ポイントの付与が最も大きな要因であると指摘している。したがって、本研究では金銭付与を行うことで車両転換を促した場合、どの程度の利用者が車両を転換し、その結果、ホーム上の混雑がどの程度されるのかを検討する。

3. 研究の対象とその現状

本研究では、東葉高速鉄道東葉高速線（以下、東葉高速線）船橋日大前駅の下り（東葉勝田台方面）を対象とする。東葉高速線は千葉県東部にあり、東京メトロ東西線と直通運転を行っている。船橋日大前駅を選定した理由は、①朝の混雑時間帯においてホーム上で混雑が発生している、②学生の利用が多く、利用者が利用する出口が一方に集中し、また時間帯も集中する、③車両ごとの混雑率に大きな偏りがあるためである。東葉高速線のピーク時における混雑率は2000年度からおおよそ100%を推移している⁹⁾。船橋日大前駅は2012年度において平均7,910人/日⁷⁾の利用者がおり、徒歩圏には日本大学及びその附属中・高等学校などの学校が存在し、朝のピーク時には、授業開始時刻に合わせて学生が多く降車し、ホーム上での滞留が発生している。

船橋日大前駅の列車ごと・車両ごとにおける現状を把握するために、混雑率の調査を2011年5月13日（金）7:30~9:30に行った。

調査方法は鉄道事業者が自動改札データなどとの併用を含め7割使用している⁹⁾ため、ホーム最後尾での目視による測定を行った。目視による混雑率調査の実施にあたっては、国土交通省鉄道局¹⁰⁾では、表-1に示す混雑率の目測基準表を用いて東西線を対象に目視による混雑率調査を実施しており、本研究の対象路線である東葉高速線は東京メトロ東西線に直通していることから、本研究においても、表-1を用いて混雑率を計測した。ただし対象路線の混雑率は東西線よりも低いいため、表-1のように区分として空白（人が乗っていない）、N（人がほとんど乗っていない）、0（座席半分に人が座っている）を追加して行った。なお対象とした列車は、車両間に混雑率の差があり、ホームでの混雑が発生する朝ピーク時間帯の7:30~9:30に船橋日大前駅に到着する、快速東葉勝田台行き10本、各駅停車東葉勝田台行き7本、各駅停車八千代緑が丘行き2本の計19本とした。

表-1 混雑率目視調査の基準表

区分	車内の状況	混雑率
	人が乗っていない	0%
N	人がほとんど乗っていない	5%
0	座席半分に人が座っている	15%
1	座席一杯	35%
2	座席一杯と吊革半分程度	68%
3	座席一杯と吊革 90%程度	100%
4	吊革全部のほか、各ドア付近に 10 人ほど	130%
5	吊革全部のほか、中間にあまり隙間がなくなる	150%
6	中間に隙間が無くなるが余裕がある	180%
7	肩が触れ合い、ほぼ満員状態だが新聞等はまだ読める	200%
8	満員、新聞等は読めない	230%
9	利用者は吊革、パイプ等につかまり、入口からの圧力にやっところえている	250%
10	係員の手を借りないと車両に入れ残り残しがでる。車内はほぼ満員	280%
11	超満員、ドアが開かないことがあり座席前の利用者は窓ガラスに手をつき窓ガラスが割れることがある	300%

船橋日大前駅に到着した時間帯別の平均混雑率の推移を図-1 に示す。縦軸は目視による混雑率、横軸は車両番号を示している。調査結果を見ると、東葉勝田台方面の 1~5 号車は 7:30~9:00 にかけて、平均混雑率は大きく変化しないことがわかる。一方、8:30~9:00 における 8 号車の混雑率は 112%で、他の時間や車両と比べて大きい。これは、船橋日大前駅の乗降口が 8 号車付近にあるためである。また 8:30~9:00 に乗降客が多い理由として、隣接する大学の授業開始時刻が 9:00 であるためと考えられる。

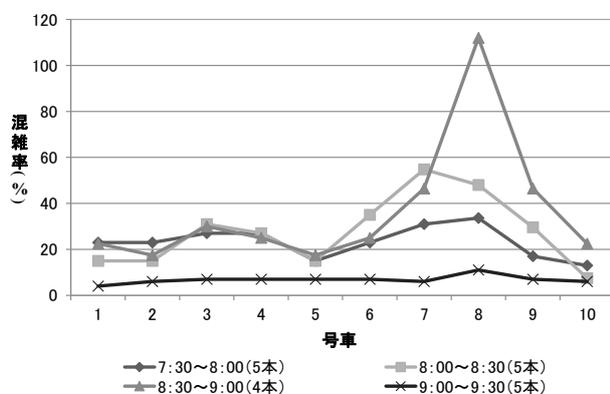


図-1 船橋日大前駅における車両別平均混雑率

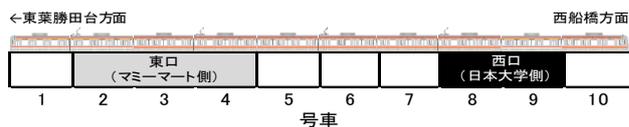


図-2 船橋日大前駅降車位置図

4. 車両選択行動の分析

(1) モデル

利用者に対して混雑課金を実施した場合にどのような要因を重視しているのかを明らかにするため、車両選択モデルを構築する。本研究では、混雑課金を実施した際、利用者が乗車する車両を「変更する」か「変更しないか」の選択問題と考えるため、二項ロジットモデルを用いる。式(1)に利用者の車両選択に関する効用関数を示す。

$$V_i = \beta_1 T_r + \beta_2 D_f + \beta_3 P_c \quad (1)$$

V_i : 選択肢*i*を選択した場合の効用確定項

β_k : *k*番目の変数パラメータ

T_r : 乗車時間

D_f : 高頻度(週 4 回利用)ダミー

P_c : 混雑課金額

効用関数の説明変数は、「乗車時間」、「高頻度ダミー」、「混雑課金額」である。

「乗車時間」は、利用者に①乗車駅から東葉高速線および東京メトロ東西線に乗り換える駅、②家から目的地までの時間の2つを調査することにより、ルートを特定して算出を行った。なお符号条件は、乗車時間は大きければ大きいほど空いている快適な号車(非混雑車両)に乗りたいたと考えたため「プラス」とした。また「乗車時間」に関しては、乗車距離に依存すると考え運賃や総所要時間なども検討したが、統計的に良くなかったので却下した。

「高頻度ダミー」については、次節にある SP 調査の結果より約 8 割以上の利用者が週 4 回以上船橋日大前駅を利用する人を示す変数である。また、週 4 回以上船橋日大前駅を利用している人は、利用していない人より週ごとに考えるとより多くのインセンティブが与えられ、普段よりも空いている車両に動きたいと考えるために設定をした。なお、高頻度ダミーは、利用する人(週 4 回以上利用) 1, 利用しない人を 0 としており、符号条件は、高頻度利用者は現状の習慣を変化させるのが難しいため混雑車両に居座るのではないかと考えたため「マイナス」である。

「混雑課金額」は、混雑車両への課金額を示している。0~200 円の間で 20 円刻みに混雑課金額を示し、車両変更

の意向を調査した。なお符号条件は、混雑課金は大きいほど空いている車両（非混雑車両）に移動すると考えたため「プラス」とした。

またここでいう到着時間とは、始業時刻（目的地に到着すべき時刻）より何分前に船橋日大前駅に到着するかを示す。

(2) SPアンケート

船橋日大前駅にて、車両選択モデルのパラメータ推定のため、表明選考法（SP）により、アンケート調査を実施した。アンケートは 2011 年 12 月 1 日（木）・12 月 6 日（火）・12 月 8 日（木）にチラシを配布し WEB（調査期間：2011 年 12 月 1 日（木）～12 月 8 日（木）の 8 日間）で実施した。

また、①東葉高速線を朝ラッシュ時間帯に利用したことがある人、②船橋日大前駅の階段における混雑が顕著なため、朝ラッシュ時における西船橋駅から船橋日大前駅方面へ運行される列車を対象とした。

ここで対象者は、12 月 1 日（木）に船橋日大前駅で降車した利用者に対し、改札口を出た場所で調査員がチラシを配布したものと 12 月 6 日（火）、12 月 8 日（木）は、日本大学理工学部の学生を対象として授業中に配布したものと 12 月 2 日（金）に日本大学理工学部交通システム工学科の研究室に配布したものである。対象者は、チラシに記載されているホームページにアクセスして回答してもらう方法をとった。

アンケート項目として、①現在の東葉高速線の利用実態、個人属性、混雑課金が実施された際の車両選択行動、②混雑している 7～9 号車への混雑課金が実施された場合、混雑課金額がいくらになったら比較的混雑していない 1～4 号車に移動するかを調査した。さらに、列車が船橋日大前駅に到着する時刻（学校の始業時刻）の 10 分・20 分・30 分前に到着する列車を仮定し、列車ごとに混雑課金額を 1 人あたり 12 問質問した。なお、列車を仮定する際、現状において船橋日大前駅におおよそ 9 時 10 分前・20 分前・30 分前に到着する快速列車があり、混雑率に隔たりがあったためである。

図-3 に SP アンケートのサンプルを示す。この質問では、学校の始業時間である 9 時の 30 分前（8:30）に船橋日大前に到着する列車に乗車している場合、7～9 号車の混雑課金がいくらになったら 1～4 号車に変更するかを質問している。0 円から 200 円までの間を 20 円刻みで回答を作成した。移動しない場合も考えられるため、「移動しない」も選択肢に加えた。回答者は、1～12 の選択肢のう

ち、当てはまる混雑課金額にチェックする。

なお、有効回答サンプルは 139 名であり、有効回答率は 23.2%であった。回答者の属性は、男性が 88%、女性が 12%で大学生（院生も含）が 93%、教員が 6%、その他が 1%であった。さらに、年齢は 10 代が 48%、20 代が 45%、30 代が 2%、40 代が 3%、50 代が 2%であった。

問 13

【混雑課金についてお聞きします】

始業 30 分前に船橋日大前駅に到着する列車に乗車している場合、7～9 号車の『混雑課金』の金額が何円になったら、1～4 号車に乗りますか？

- | | |
|---------|----------|
| 1.0 円 | 7.120 円 |
| 2.20 円 | 8.140 円 |
| 3.40 円 | 9.160 円 |
| 4.60 円 | 10.180 円 |
| 5.80 円 | 11.200 円 |
| 6.100 円 | 12.移動しない |

図-3 SPアンケートの例

(3) 結果と考察

表-2 に式(1)で示した効用関数のパラメータ推定の結果を示す。

全ての説明変数のパラメータの符号は妥当であり、 t 値もほぼ良好であった。しかしながら、到着時刻 30 分前における混雑課金額の t 値が低い。これは、30 分前における混雑課金が、利用者の車両選択行動において重視されていないことを示している。このことより現状において、30 分前に到着する列車は大きく混雑していなかったことが考えられる。

また、各到着時間的的中率は 3 モデルとも 75%以上と良好な結果となった。到着時刻 30 分前における修正済み尤度比が 0.832 と非常に高い値となった。これは現状において、30 分前に到着する列車は大きく混雑していなかったために利用者に混雑課金を行うと仮定しても容易に想像できなかったのではないかと考えられる。

混雑車両（7～9 号車）により高額な混雑課金が課されると、非混雑車両（1～4 号車）へ移動する効用が高くなる。そのため、利用者は混雑車両を嫌い、非混雑車両を好むのではないかと考えられる。

しかしながら高頻度利用者は、現状で乗車している混雑車両に乗車したい傾向がある。これは、高頻度利用者は混雑することは普段通りであると認識し、仮に混雑課金によって移動する人がどれくらいいるかが想定できず、混雑車両に乗車したいと思ったのではないかと考えられる。

乗車時間が長いほど非混雑車両（1～4 号車）に移動しやすいことがわかった。これは、利用者が混雑している車両に長く乗車したくないと思っているため、乗車時

間が長いほど非混雑車両に移動しやすいのではないかと考えられる。

表-2 パラメータ推定結果

到着時刻	10分前		20分前		30分前	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
混雑課金額 【共通変数】(10円)	0.179	4.68	0.077	1.56	0.047	0.56
高頻度(週4利用)ダミー	-2.19	-3.67	-2.16	-2.91	-2.27	-1.93
乗車時間(分)	0.027	4.25	0.033	3.62	0.047	2.56
的中率(%)	76.98		90.65		93.53	
サンプル数	139		139		139	
初期尤度	-96.347		-96.347		-96.347	
最終尤度	-49.518		-26.962		-13.145	
修正済み尤度比	0.455		0.689		0.832	

(4) 感度分析

ここまで、利用者への意識調査で混雑車両に課金を行った場合の車両選択行動についてモデル構築を行った。混雑課金額を変化させることにより、利用者がどの程度車両変更を行うのかを明らかにするために、①到着時間に対する感度分析と、②乗車時間に対する感度分析を行った。

乗車時間を 60 分、対象駅を高頻度で利用する利用者の感度分析の結果を、始業時間別に図-4 に示す。また、到着時刻 10 分前に船橋日大前駅に到着する列車を利用している高頻度利用者の乗車時間に対して、現状乗っていると仮定した混雑している 7~9 号車から、空いている 1~4 号車に移動する確率の結果を乗車時間別に図-5 に示す。

図-4 より、始業 10 分前に利用する人の車両変更率は始業 20 分前・30 分前よりも高くなった。また、始業 10 分前に関して混雑課金額が高くなればなるほど車両変更確率が増加した。さらに、始業 20 分前と 30 分前に関して混雑課金額が高くなっても車両変更確率にさほど変わりはない。これより、船橋日大前駅へ到着する時刻が始業時刻に近くなるほど移動確率が高いことが明らかとなった。これは、非常に意外な結果であり我々の仮説としては、始業時刻 30 分前に船橋日大前駅に到着する利用者の車両変更確率が一番高くなるのではないかと考えていた。

図-5 より、乗車時間が長いほど混雑課金額が高くなるにつれて車両変更確率の増加率が低いことが明らかとなった。これは、乗車時間が長いと元々空いている車両に利用者が乗ってくるので、あまり移動したくないのではないかと考えられる。逆に、乗車時間が短い利用者はある程度混雑している車両にいつも乗っていて不愉快であるため、混雑課金額が高くなるにつれて車両変更確率が増加するのではないかと考えられる。

混雑課金額が高くなるほど、混雑している車両から空

いている車両へ変更することがわかった。また、該当駅到着時刻が始業時刻に近くなるほど移動確率が高いことがわかった。

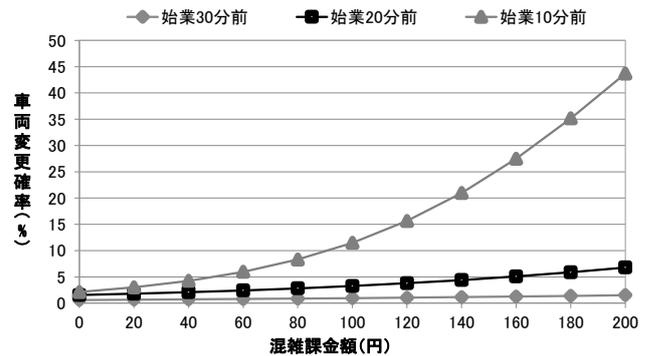


図-4 混雑課金に対する到着時間別車両変更確率 (乗車時間 60 分)

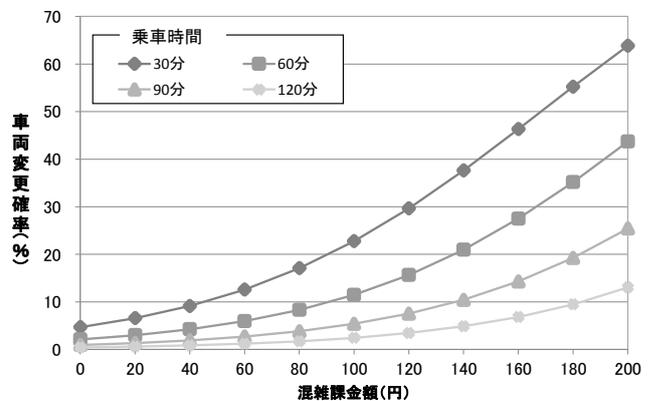


図-5 混雑課金額に対する乗車時間別車両変更確率

5. 混雑課金支払意志額の検討

前章では、乗車変更確率を把握した。しかし利用者の混雑課金額に対する感度を完全に把握することが出来なかったため、利用者に対して混雑課金を行った際にどの程度の利用者が該当する混雑課金額を支払っても良いかという、利用者の混雑課金額に対する支払意志額を明らかにする。

支払意志額の検討では、生存分析を用いる。既存研究において藤生ら¹¹⁾は、鉄道サービスの遅延を原因とする損失時間の縮減に対する支払いについて、アンケート調査を実施し、生存時間分析を用いて支払意志額モデルを推定した。その結果、共変量を考慮した支払意志額モデルを推定した。さらに推定された支払意志額モデルを用いて損失時間の縮減に対する支払意志額の期待値を算出した。

生存分析を適用する理由は、共変数(複数の要因)が導入でき、なおかつ分布を仮定しないためである。本研究のように、車両選択行動に対して混雑課金額以外で乗

車時間・高頻度利用ダミーなどの複数の要因が関係しており、非集計分析などにおいては確率計算上、ロジット分布や正規分布を仮定するが、生存分析においては、その分布を仮定しなくてよいため、分布形に特定の確率分布を仮定できない場合に適しているモデルであるといえる^{12,13)}。

使用したモデル式を式(2)、受諾率曲線式（混雑課金を支払うことができる確率曲線）を式(3)に示す。なお、受諾率とは、混雑課金額を支払っても良いと考える利用者の割合を指す。Z₀の変数には、個々の生存時間に影響を与える因子である共変数（zの値は時間tに依存しない定数）、β^Tのパラメータベクトルは、通常部分尤度法によって推定される。L_iの部分尤度関数は、Coxの部分尤度、λ₀(t)の基準ハザードである。

説明変数は、アンケート調査の結果をもとに構築した。女性ダミーは、アンケートに回答した人が女性であることを示す。また、利用者が女性の場合は1、男性の場合は0にした。運賃はアンケート回答者が答えた発駅、東葉高速線及び東京メトロ東西線への乗換駅より、調査した運賃の金額を示す。高頻度ダミーは週4回以上対象駅を利用している人を示す。また、週4回以上利用している場合は1、週4回以下の場合は0とした。定期・回数券利用ダミーは、対象駅を普段定期券及び回数券を使用して乗降している人を示す。また、定期券及び回数券を利用している場合は1、利用していない人を0とした。到着時間は始業時刻（目的地に到着すべき時刻）から何分前に対象駅に到着するかを示す。

$$L_i = \prod_j \left(\frac{\exp(\beta^T z_{(i)})}{\sum_{k \in R(t_j)} \exp(\beta^T z_j)} \right) \quad (2)$$

$$\lambda(t|z) = \lambda_0(t) \exp(\beta^T z) \quad (3)$$

t_i: 混雑課金額

z_(i): 変数

β^T: パラメータベクトル

L_i: 部分尤度関数

λ₀(t): 基準ハザード

生存分析のパラメータ推定の結果を表-3に示す。推定結果よりパラメータのt値はおおむね良好である。

特に、到着時間のt値は他の変数の中で一番高く、運賃のt値は、女性ダミーとほぼ同様の値を取っている。また、定期券・回数券利用ダミーのt値は他の変数に比べると低い。これに関しては、定期・回数券利用ダミー（船橋日大前駅にて定期券・回数券を利用している人を

1とする）については、t値が若干低い。この変数を除外してモデル構築を行うと、他の変数のt値が悪化してしまうため、モデルに含めている。女性ダミーと高頻度ダミーの係数の符号が負となり、混雑課金を支払っても良いと考える利用者の割合の受諾率を下げている。

すなわち、利用者が女性である場合や高頻度で利用する場合、非混雑車両への移動可能性を高くしていることがわかった。さらに、運賃、定期券・回数券利用ダミー、到着時間の符号条件に関してみると正となっており、混雑課金に対して良い印象を持っていると考えられる。

図-6に混雑課金別受諾率を示す。混雑課金20円、40円、60円、80円、100円、120円、140円、160円、180円、200円の場合の受諾率の減少率は、それぞれ40.4%、7.1%、4.9%、2%、15.2%、1.6%、1.1%、1.1%、3%、9.7%であった。以上10点の受諾率の平均減少率は8.3%であったが、混雑課金額が20円（40.4%の減少率）および100円（15.2%の減少率）の場合は、平均減少率を大きく上回っていることが分かる。

以上より、混雑課金20円及び100円で混雑課金を受諾できる割合、すなわち車両を移動する人が大きく変化することが示唆される。また課金額20円から100円までは平均減少率で13.9%であったが、100円以降は平均減少率で2.7%であり、受諾率の減少が少ないことがわかる。このことから混雑課金額は100円まで変化させると効果的であることがわかる。

表-3 生存分析のパラメータ推定の結果

変数	係数	t値
女性ダミー	-0.28178	-1.727
運賃(円)	0.00027	1.827
高頻度ダミー	-0.35423	-2.268
定期・回数券利用ダミー	0.25567	1.474
到着時間(分前)	0.03927	6.165
サンプル数	417(=139人×3パターン)	

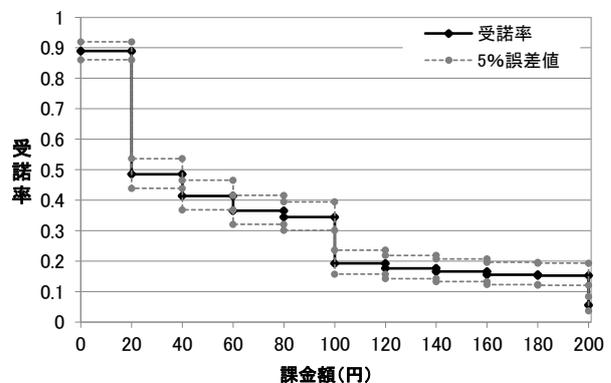


図-6 混雑課金額別受諾率

6. 混雑課金によるホーム上の混雑緩和の計測

(1) シミュレーションの方法

ここまで、混雑車両に課金した場合の鉄道利用者の車両選択モデルを構築し、さらに混雑課金を支払い意思額を分析し、20円と100円の混雑課金の場合、非混雑車両への移動が比較的行われやすいことを示すことができた。本章では、これまでの結果を受けて、実際に混雑課金を実施した場合、ホーム上混雑がどの程度緩和されるか、シミュレーションにより計測する。

シミュレーションには、Viswalk を使用した。Viswalk は PTV 社の歩行者シミュレーション用のソフトウェアであり、駅構内などの交通拠点での歩行者の動きを可視化することができる。ホームの形状、公共交通の発着状況なども再現可能である、Viswalk を使用して乗客が降車し、階段を上りきるまでの動きを再現することにより、混雑課金を実施され、混雑車両から非混雑車両に乗客が移動した場合のホーム上の混雑状況を計測し、考察する。

船橋日大前駅の乗降者数を把握するため、2013年12月4日の7:31~9:04のピーク時間帯に発車する下り列車快速東葉勝田台行き8本、各駅停車東葉勝田台行き6本、各駅停車八千代緑が丘行き1本の合計15本を対象に降車人数を調査した。

その結果、8:54に到着する列車からの降車数が242人と、ピーク時間帯に到着する15本の列車のうち、最多の降車人数となった。シミュレーションにおいてラッシュ時を想定するため、この降車人数を使用する。前述の乗降者数調査により、1編成の降車人数が明らかとなり、号車ごとの降車人数配分は、現状把握の際に求めた平均混雑率を使用し案分する。また、東葉高速線に乗り入れている車両は、全て4扉車であるため先に求めた号車ごとの降車人数をさらに4で除する。混雑課金実施後の人数配分は、前章の生存分析によって求められた受諾率を使用した。

Viswalk では、船橋日大前駅1番ホーム、階段、エスカレーター、車両の各扉を再現し、前述の降車人数をもとに現状のホーム旅客流動をシミュレーションで表現した。階段、エスカレーターについては、現状と同様の8号車4番扉~9号車1番扉付近に先端を設置した。

また、筆者らが実測したホーム面積、階段、エスカレーターの寸法は表-4に示す通りである。ここで、階段について補足的に説明をする。船橋日大前駅の階段は、ホームから改札階まで長い為、途中に踊り場が設けられている。しかしながら、Viswalk においては踊り場を含めた階段を一括に設定できないため、踊り場を挟んでホーム側と踊り場を挟んで西口改札側とした。

シミュレーションで再現した船橋日大前駅1番線のホームの全体図は図-7に示す通りである。

表-4 ホーム・階段・エスカレーターの寸法

	面積 (m ²) (幅×長さ)	段数	高さ (m)
ホーム	4,995×208.600	-	-
階段 (ホーム側)	1.639×3.169	15	2.500
階段 (西口改札側)	1.640×2.921	15	2.500
階段(踊り場)	1.638×1.011	-	-
エスカレーター	1.582×7.092	-	5.000



図-7 船橋日大前駅1番線ホーム全体像

以上の条件により、Viswalk で現状の船橋日大前駅のホームと旅客流動を再現したものを図-8に示す。



図-8 シミュレーション再現図(西口階段付近)

(2) シミュレーションの結果と考察

シミュレーションでは、生存分析により明らかになった、混雑課金の受諾率が比較的大きかった20円と100円の混雑課金を課す場合を想定してシミュレーションを実施する。シミュレーションの結果については、ホーム全体の混雑緩和の計測に加え、特に混雑が激しい西口階段付近の2ケースについて考察する。

a) ホーム全体

まず、ホームに全体における全遅れ時間(平均値)(秒)、歩行者数(人)、総遅れ時間(人・秒)のシミュレーション結果を図-9~11に示す。

「全遅れ時間」とは、ホーム上の歩行者が非混雑時(ラッシュ時以外)に例えば、8号車4番扉からエスカレーターの起点へ移動する際に必要な移動時間と混雑時の移動時間の差を表す値である。例えば、歩行者が1号車から西口付近の階段に移動するとき、非混雑時は10

秒で混雑時には 15 秒を要した場合は、全遅れ時間は 5 秒となる。全遅れ時間は、値が大きいくほど混雑が激しいことを意味している。

「歩行者数」は、Viswalk のソフトの制約上 1 時間あたりにホーム上へ車両から出てくる人数である。そのため、シミュレーション時間を設定する際の歩行者数は、シミュレーション実行時間（車両停車時間）で車両から出てくる人数を算出することによって求まる。

「総遅れ時間」は、全遅れ時間と歩行者数の積によって求まる。先全遅れ時間の際の例を用いると 10 人の場合は全遅れ時間は 50 秒となる。これにより、ホーム上での全利用者の遅れ時間の合計がわかる。

図-9~11 に示す横軸のシミュレーション時間とは、Viswalk のシミュレーション経過時間を示している。

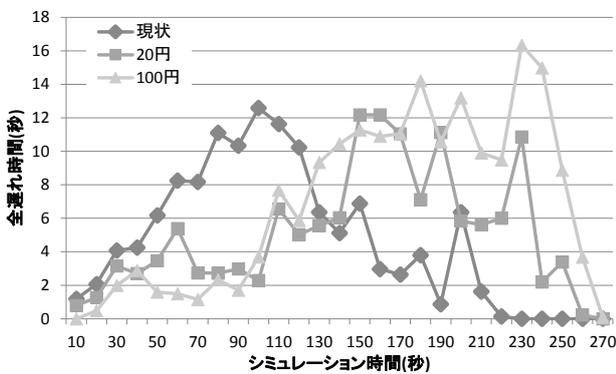


図-9 ホーム全体の全遅れ時間

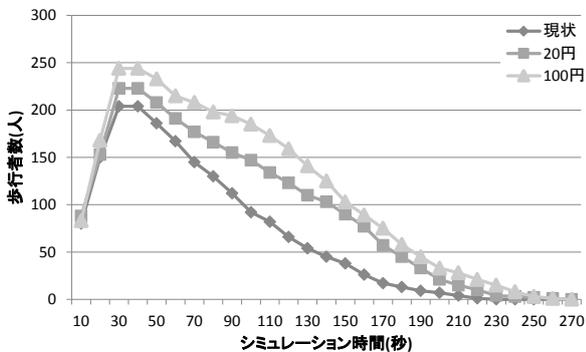


図-10 ホーム全体の歩行者数

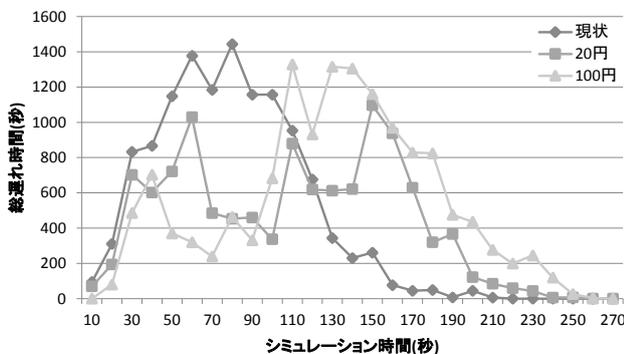


図-11 ホーム全体の総遅れ時間

ホーム全体の全遅れ時間は、現状の場合はシミュ

レーション時間 100 秒の時点で 12.58 秒と、最も混雑している。その後、多少の変動はあるものの、徐々にホーム上の混雑は緩和されていく。混雑課金額 20 円の場合、シミュレーション時間が 150 秒と 160 秒の時点で混雑が最大になる。その後は変動しながらも、260 秒後にはほぼホーム上に鉄道利用者はいなくなる。混雑課金 100 円の場合に、シミュレーション時間 230 秒の時点で最大の 16 秒となっている。このことから、列車が船橋日大前駅に到着してから 230 秒後に最も混雑している状態にあることがわかる。

以上より全遅れ時間に関しては、混雑課金を実施した際には列車到着直後よりも混雑課金額 20 円の際は 150 秒後に、混雑課金額 100 円の際は 230 秒後に遅れ時間が最大限に発生しており、これは混雑課金によって利用者が混雑車両から非混雑車両に移動するということが明らかとなった。しかしながら、混雑課金額 100 円の際には、現状の全遅れ時間と比較すると 4 秒ほど遅い。よって、過度な課金額は不適切であるのではないかと考えられる。

ホーム全体の歩行者数は現状と混雑課金を行った場合を比較すると、混雑課金額 100 円を行った場合が最大となっている。このことから、現状と比較して混雑課金を実施した際の方がほぼ全ての値においてホーム全体の歩行者数は増加している。これに関しては、ソフトの条件なのか不明瞭な点が多い。

ホーム全体の総遅れ時間は現状と混雑課金を行った場合を比較すると混雑課金 (20 円・100 円) を行った場合の方が遅れ時間が小さい。しかし、現状では 150 秒では約 300 秒となっているが混雑課金を行った場合はそれぞれ約 600 秒 (混雑課金額 20 円の場合) ・約 1,400 秒 (混雑課金額 100 円の場合) となっている。これは、混雑課金を行ったことで 8 号車付近のドアから降車する人は減少したが、駅を利用する人数には変化はないため総遅れ時間においては、列車到着後からある程度の時間が経過してから遅れ時間が増加しているのではないかと考えられる。

b) 西口階段付近

前節では、ホーム全体の人の流れについて検証した。しかしながら、ボトルネックとなる西口階段付近の状態の変化においても検証する必要があるため行った。

西口階段付近では、全遅れ時間 (平均値) (秒)、歩行者数 (人)、総遅れ時間 (人・秒)、を算出した。なお、ここでいう西口階段入口とは、8 号車 3 番ドアから 9 号車 1 番ドア付近の 4.2m × 12.4m のことを指している。

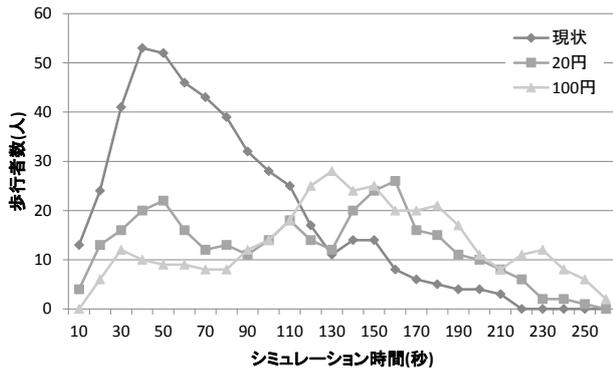


図-12 階段の入口における歩行者人数

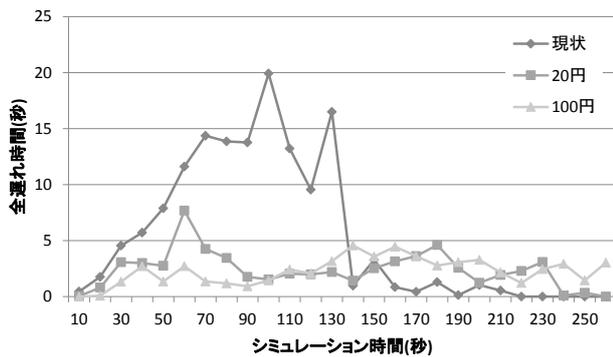


図-13 階段入口における全遅れ時間

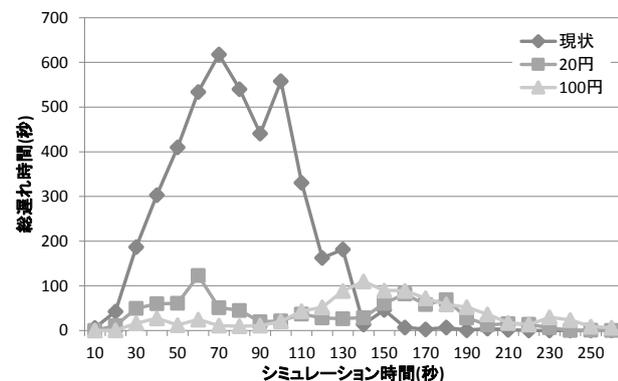


図-14 階段入口における総遅れ時間

現状において西口改札へ向かう階段入口における歩行者人数は列車が到着後 40 秒ほどで 50 人となる。しかし、混雑課金を行った場合には歩行者人数は 30 人弱であった。

また全遅れ時間に関しては、現状では最大 20 秒であるが、混雑課金を行った場合は、最大でも 7~8 秒程度であった。このことから、階段においては混雑が少ない状態であるのではないかと考えられる。

さらに総遅れ時間においては、現状において最大 600 秒の遅れが発生しているが、混雑課金によって 100 秒まで抑えることができている。これは、全遅れ時間が短いことに関係しているのではないかと考

えられる。

7. おわりに

本研究では、東葉高速線船橋日大前駅を利用する利用者に対して、①混雑車両への課金によりどのように行動する意向があるかについて意識調査を行い、②利用者の車両選択行動要因を把握するために非集計分析を行い、③利用者が課金額に対してどの程度支払うことができるかを確認した。また、生存分析によるシミュレーションを行い混雑車両に混雑課金を行うことによる旅客の車両選択行動を把握し、駅のホームでどのような動きを行うか可視化を行った。以下に結果をまとめる。

- (1) アンケート調査により、船橋日大前駅の利用実態及び東葉高速線における利用者の乗車実態を把握することができた。また列車乗車行動を行う際、下車駅の出口の場所を重視する利用者が多いことが明らかとなった。
- (2) 利用者に混雑課金が行われた際の車両選択行動モデルについて構築を行い、到着時間ごとに「課金額」「乗車時間」「高頻度ダミー」の3変数で説明できることを示した。
- (3) 構築したモデルを利用して、到着時間ごと及び乗車時間ごとにおける混雑課金額について感度分析を行い、双方共に混雑課金額が上昇すると空いている車両へ移動することが明らかとなった。また到着時間 10 分前の列車において最も車両選択行動が行われており、乗車時間が短くなるほど、空いている車両へ移動することが明らかとなった。
- (4) 利用者に混雑課金が行われた際の車両選択行動について生存分析を行い、混雑課金における受諾率曲線を構築する際、「女性ダミー」「運賃」「高頻度ダミー」「定期・回数券ダミー」「到着時間」の5変数で説明できることを示した。その結果より受諾率曲線をグラフ化した結果、課金額 20 円及び 100 円の時に受諾率が急激に減少することが明らかとなった。また 100 円以降の受諾率の減少率が小さいため、生存分析では 100 円以上の課金額を与えても大きな結果が得られないことが明らかとなった。
- (5) 生存分析から得られた受諾率を基にシミュレーションを行い可視化することで、階段付近や階段での歩行者密度の高さと歩行者速度の遅さ、遅れ時間の高さから混雑が生じ、混雑課金を実施することによって、歩行者密度が下がり、歩行者速度が速まり、遅れ時間を減り、混雑を緩和できることが明らかとなった。

- (6) 課金額 20 円の時に最良値を示している。課金額 100 円では課金額 20 円の時よりも混雑してしまう理由として、100 円で降車客全体の 76% が 1~4 号車に集中していること、それらの車両の付近に東口の階段・エスカレーターがあり、通れる箇所が狭くなっていることが挙げられる。

以上の結果より、車両間混雑課金を導入する際に、「課金額」「乗車時間」「高頻度ダミー」が選択行動に影響を及ぼすと考える。また 100 円以上の課金額は大きな結果が得られないことから、対象路線・対象駅においては 100 円以下で混雑課金を運用することが効果的であると考えられる。

また、シミュレーションの計測値から、船橋日大前駅では、20 円の混雑課金を実施した方が混雑を緩和できると推察できる。

今後の課題として、車両選択行動の変容を行う場合、空いている車両に金銭等のインセンティブを付与することもできると考えられる。そのためインセンティブ付与を行った際の車両選択行動について分析を行う必要がある。本研究では選択行動によってホーム混雑が緩和することまで述べていないため、今後は車両選択行動の変容により、ホーム混雑がどのように解消するかを分析する必要がある。

また、混雑課金ではなくインセンティブ付与を行った場合のホーム旅客流動、さらに対象駅以外で施策を行った場合のホーム旅客流動についても把握する必要がある。

また今回研究の制約条件で、シミュレーションを行った際に降車人数を 1 扉あたりの人数は 1 車両あたりの降車人数から 4 扉で除して求めたため、正確に実施するためには扉別に人数を把握すべきである。さらに、シミュ

レーションが現状に当てはまっているかどうかを確認するために、現況再現調査も行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局 HP：統計情報，
http://www.mlit.go.jp/statistics/details/tetsudo_list.html
- 2) 国土交通省報道発表資料，「プラットホーム事故 0(ゼロ)運動」について，
http://www.mlit.go.jp/report/press/tetsudo08_hh_000059.html
- 3) 京王電鉄発表資料，「安全・社会・環境報告書 2013CSR レポート」，
http://www.keio.co.jp/company/environment/social_environment/2013.html
- 4) 島田章義，井田弘仁，服部有紀子，青木俊幸，都築知人：鉄道駅における旅客流動に関する研究その 6 JR 西日本京東線における旅客乗降と列車停車時分に関する研究，日本建築学会学術講演梗概集 E-1 建築計画 1 Vol.1998，pp.845-846，1998.
- 5) 水野隆二，轟朝幸，松田博和：都市鉄道におけるリアルタイムな混雑情報提供の有用性の検討-乗車選択行動モデルを用いて-，土木計画学研究・講演集，Vol.40,2009.
- 6) 一般社団法人運輸政策機構：平成 23 年度版都市交通年報
- 7) 千葉県船橋市：船橋市統計書(平成 25 年版)，
http://www.city.funabashi.chiba.jp/risetoku/002/029605_dffH25tokaisho.pdf
- 8) 植原慶太，中村文彦，岡村敏之：インセンティブ導入による通勤時刻転換意向に関する研究，季刊運輸政策研究，Vol.11 No.4，Page.002-009，2009.
- 9) 財団法人運輸政策研究機構：都市鉄道における混雑率の測定方法に関する調査報告書，財団法人運輸政策研究機構，2005.
- 10) 国土交通省鉄道局ホームページ：統計情報，
http://www.mlit.go.jp/statistics/details/tetsudo_list.html
- 11) 藤生慎，高田和幸：鉄道利用者の損失時間縮減に対する支払意志額の推定，土木計画学研究・講演集，Vol.39，2009.
- 12) 高橋信：すぐ読める生存分析，東京書籍，2007.
- 13) 中村剛：Cox 比例ハザードモデル，朝倉書店，2001.