

電車混雑予測 ～混雑の可視化が社会にもたらすインパクト～

岡野 宙輝¹・太田 恒平²・廣田 正之³

¹株式会社ナビタイムジャパン 鉄道予測プロジェクト (〒107-0062 東京都港区南青山 3-8-38)
E-mail:hiroki-okano@navitime.co.jp

²株式会社ナビタイムジャパン メディア事業部 (〒107-0062 東京都港区南青山 3-8-38)
E-mail:kohei-ota@navitime.co.jp

³株式会社ナビタイムジャパン 鉄道予測プロジェクト (〒107-0062 東京都港区南青山 3-8-38)
E-mail:masayuki-hirota@navitime.co.jp

鉄道の混雑は都市交通インフラに残された大きな課題であり、適切な情報提供による混雑分散や着席列車の利用促進が期待される。しかしこれまで鉄道の混雑率に関する情報は、一部の路線を除き、朝ラッシュピーク時の再混雑区間の平均値という断片的な情報しか公開されてこなかった。

そこで筆者らは、首都圏を対象に始発から終電まで各列車の停車駅ごとの混雑度を推定する「電車混雑予測」を開発し、朝ラッシュだけでなく、帰宅ラッシュ、ピークサイド時の混雑状況も明らかにした。

さらに、ユーザが経路選択の意思決定をするタイミングである乗換検索アプリ上にて、各経路の混雑情報を提供することで混雑回避行動を促すとともに、その経路選択データを記録し情報提供の効果測定を可能とした。

本研究では、首都圏の全時間帯の電車混雑の詳細な実態、乗換検索サービスにおける混雑の情報提供が及ぼす経路選択への影響などについて報告する。

Key Words: railway, congestion, simulation, route choice model

1. はじめに

鉄道の混雑は都市交通インフラに残された大きな課題である。2016年には、「満員電車をゼロへ」を公約¹に掲げた小池百合子が東京都知事に当選し「快適通勤ムーブメント」²を開始していることから、混雑対策への社会的な要請が高いことが伺える。

混雑対策のためには、鉄道利用者に対する混雑状況の「見える化」を通じた混雑分散やサービス設計の重要性が国交省答申³においても指摘されている。鉄道事業者は、独自のアプリ⁴やWebサイト上で混雑率情報を公開し混雑の平準化に取り組んでいる。しかし対象路線は事業者内に留まっており、また利用者毎の発着地や利用経路に合わせて適切なタイミングで情報を届けることが難しかった。

鉄道の交通量推計に関しては様々な技術が提案されている。しかし、路線計画向けの技術は解像度が列車毎ではなく路線毎であること⁵、鉄道事業者のダイヤ評価向



図-1 電車混雑回避ルート

けの技術は対応路線が限定的であること⁹⁾、時空間ネットワークを用いたシミュレーション⁷⁾は最新の時刻表に適用した運用に課題があった。そこで筆者らは、各列車の停車駅ごとの混雑度をシミュレーションをベースに推定する「電車混雑予測」を開発し、乗換検索アプリを通じた混雑情報の提供を 2015 年 4 月より行っている⁸⁾。2017 年 3 月には、混雑度表示対象を朝ラッシュ方向 54 路線から平日終日両方向 65 路線とし、通常経路よりもさらに混雑の少ないルートを追加表示する「電車混雑回避ルート」の提供も開始した⁹⁾。「電車混雑回避ルート」は図 1 のように表示される。また混雑度情報を考慮したユーザの経路選択モデルについても分析を進めており、年間 17 億回、運賃料金表示額にして 1.7 兆円もの鉄道経路が検索される乗換検索アプリにおいて混雑情報の提供を行うことが、混雑分散、閑散路線の収益改善を促す可能性が示唆されている¹⁰⁾。

以上の背景のもと本研究の目的は、平日終日両方向に対応した「電車混雑予測」による情報提供が混雑分散および収益に及ぼす影響を明らかにすることとした。具体的には、第 2 章にて「電車混雑予測」の技術およびアプリの概要、第 3 章にてその精度評価結果、第 4 章にて首都圏鉄道の混雑実態、第 4 章にて乗換検索サービスにおけるユーザの経路選択モデル、第 5 章にて公共交通網への影響分析について述べる。

2. 「電車混雑予測」の概要

本研究では終日始発から終電まで上下両方向の列車の混雑を推定するシステム「電車混雑シミュレーション」を開発し、ナビタイムジャパンの運営する乗換検索アプリに表示するようにした。2017 年 4 月現在、首都圏の 65 路線、852 駅が対象である。国土交通省の混雑率データ¹¹⁾では最混雑区間の 1 時間単位での平均乗車率のみ発表されているが、さらに詳細に 1 列車 1 列車、各駅間単位での乗車率の推定が可能である。

「電車混雑シミュレーション」の概要を次に示す。まず平成 22 年度大都市交通センサスの 800 万人分のデータを移動需要とみなす。このデータは朝ラッシュ時のみのデータなので、夕ラッシュ時の OD 需要データを作成する必要があるが、朝ラッシュ時の出発地と目的地を逆にするにより夕ラッシュ時のデータとみなした。さらに一部足りない普通券のデータに関しては各鉄道会社や都市交通年報などで公開されている駅別乗降人員、駅間断面通過人員、経路検索ログなどを用いて総合的に推定した。次にナビタイムジャパンの乗換検索エンジンを利用して経路選択肢集合を求め、ロジットモデルを適用した経路選択モデルにより経路選択率を推定した。経路選択肢集合にこのモデルを適用し合算することにより、

列車・駅間ごとの人数を求め、それを車両定員で割ったものを混雑率とし、最終的に適宜アイコンに変換した。ただし、大都市交通センサスでは出発/到着時刻が不明だったので、自社現地調査データなどで補った。経路選択モデルは文献を参考に構築した。各車両の定員についても現地調査を行った。

3. 混雑推定精度結果

この章では「電車混雑予測」の混雑率推定結果が、どの程度既存の統計データと合致しているかを比較検証する。

(1) 国土交通省発表混雑率との比較

「電車混雑予測」ではひと駅ごと、1 本毎に混雑率を算出しており、各駅間の最も混雑している 1 時間を集計すると、年に 1 度国土交通省が発表している混雑率データ¹¹⁾と同様のデータを求めることができる。そのようにして各路線ごとに求めた結果は表 1 のようになった。70%程度の路線が国土交通省混雑率データとの誤差が±15%以内に収まっており、おおむね一致する結果となった。表 1 を散布図にすると図 2 のようになっており、比例関係にあることがわかる。

(2) 平成 27 年度大都市交通センサス集計結果との比較

公開されている大都市交通センサスは OD データはあるが、個々の OD の時刻に関するデータがないため、「電車混雑予測」の時刻分布がどの程度確からしいか大都市交通センサスの出発時刻、到着時刻分布の集計結果を比較して精度検証を行う。

図 3、図 4 の左側が朝の通勤通学目的の時間分布である。大都市交通センサスによると、乗車のピークは 7:30~7:44 であり、降車のピークは 8:30~8:45 となっている。本研究もほぼそのようになっており、朝のピークに関しては一致していることがわかる。

図 3、図 4 の右側が帰宅時のピークの時間分布である。大都市交通センサスによると、乗車のピークは 18:00~18:29 であり、降車のピークは 18:30~18:59 となっている。一方本研究では乗車のピークは一致しているものの、降車のピークが 19:00~19:29 となっていることから、乗車降車に関してピークの時間帯が 15 分程度ずれていると考えられる。このギャップの解消は今後の「電車混雑予測」の課題である。

表-1 国土交通省と本研究で算出した混雑率の比較

線名	平成 27 年度 国土交通省 混雑率デー タ (%)	ナビタイム ジャパン 算出混雑率 (%)
JR 横須賀線	193	192
JR 横浜線	170	190
JR 京浜東北線	182	173
JR 京葉線	171	151
JR 高崎線	172	186
JR 根岸線	162	118
JR 埼京線	183	188
JR 山手線	163	187
JR 常磐線	160	157
JR 総武線快速	180	183
JR 総武線各停	199	195
JR 中央線	188	191
JR 東海道線	182	180
JR 宇都宮線	150	161
JR 南武線	190	183
JR 武蔵野線	175	176
ゆりかもめ	130	97
京王井の頭線	144	142
京王線	165	181
京王相模原線	129	144
京成押上線	152	138
京成本線	132	144
京急本線	145	159
小田急江ノ島 線	135	158
小田急小田原 線	191	184
小田急多摩線	85	86
西武新宿線	156	165
西武池袋線	159	142
西武有楽町線	100	91
相鉄本線	146	154

東京メトロ丸の内線	157	187
東京メトロ銀座線	158	155
東京メトロ千代田線	178	179
東京メトロ東西線	199	180
東京メトロ南北線	153	156
東京メトロ日比谷線	153	167
東京メトロ半蔵門線	171	133
東京メトロ有楽町線	161	156
東京メトロ副都心線	143	146
東京モノレール	95	121
東急大井町線	168	156
東急池上線	136	156
東急田園都市線	184	179
東急東横線	163	156
東急目黒線	166	177
都営大江戸線	153	157
都営三田線	157	167
都営新宿線	151	163
都営浅草線	120	142
りんかい線	135	134
東武伊勢崎線	150	155
東武東上線	138	162
東葉高速鉄道	112	95
北総線	87	94
東急多摩川線	129	158
埼玉高速鉄道	121	74
つくばエクスプレス	156	168
日暮里舎人ライナー	183	190

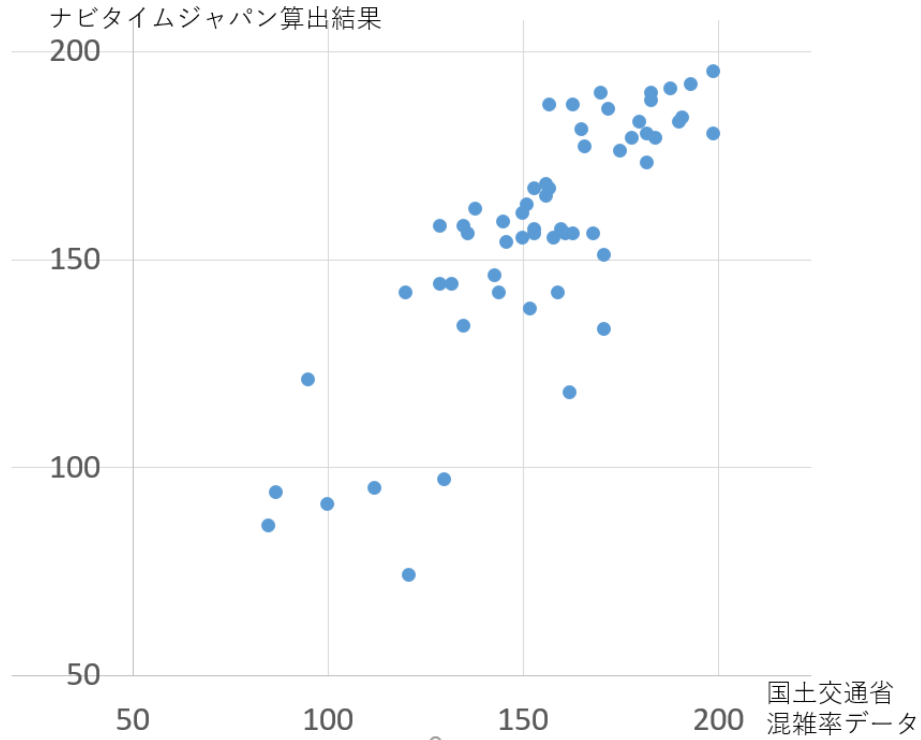
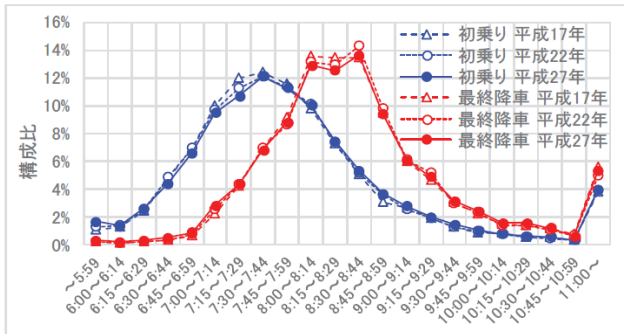


図-2 混雑率比較散布図

〈通勤・通学目的の初乗り・最終降車時間帯分布〉



〈帰宅目的の初乗り・最終降車時間帯分布〉

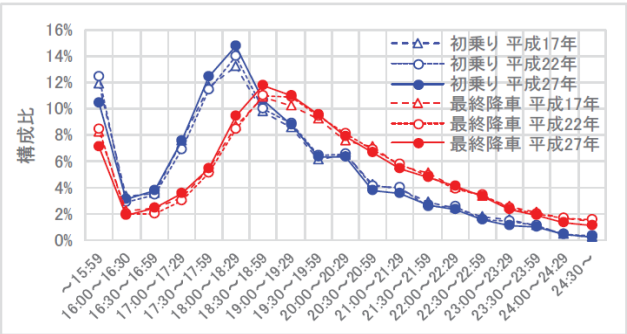


図-3 初乗り・最終降車時間帯分布 (大都市交通センサス)

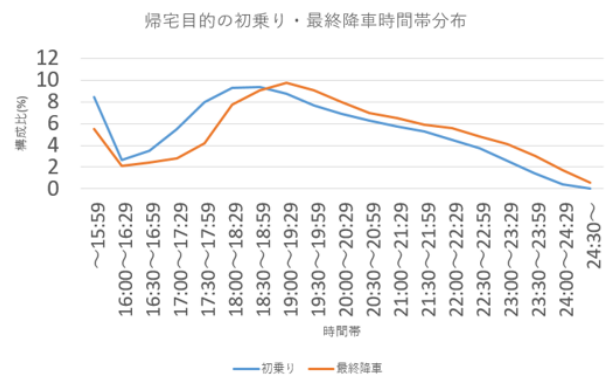
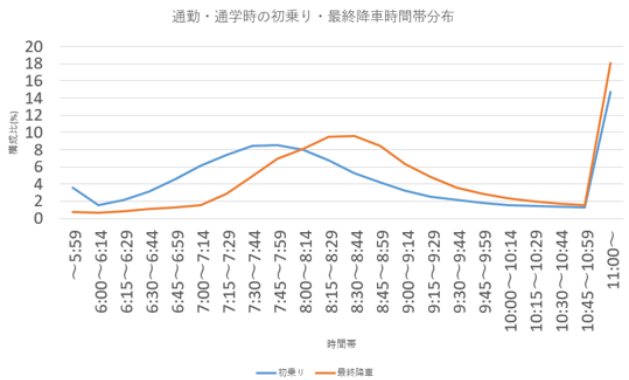


図-4 ナビタイムジャパン推定時間帯分布

4. 混雑の実態

この章では「電車混雑予測」の算出結果から観察される統計データには現れないような個々の事象について考察する。

(1) 電車混雑マップ

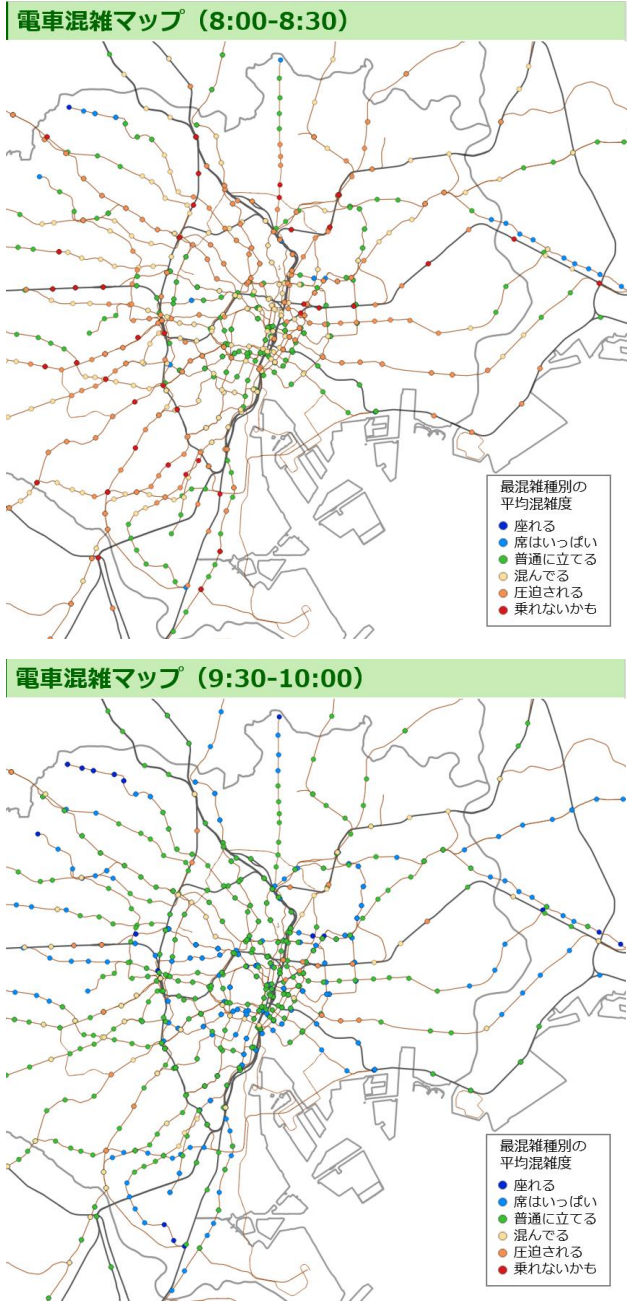


図5 電車混雑マップ

図5はある時間帯での最混雑種別の平均混雑度を地図上に表した図である。8:00 - 8:30 は山手線の外側を中心にかなり混んでいる路線がほとんどだが、9:30 - 10:00になるとそのような路線は大幅に減る。このことからオフピーク通勤で10:00頃に出社をすればほとんどの路線で混雑を避けて通勤できることがわかる。

(2) 運行種別平均混雑度

西武池袋線		ひばりヶ丘	保谷	大泉学園	石神井公園	練馬高野台	富士見台	中村橋
代表	630	9.7	7.5	9.0	11.0	5.5	6.0	6.8
種別	700	10.5	10.0	11.0	11.0	6.0	6.3	7.0
混雑度	730	12.0	11.0	12.0	12.0	5.9	6.4	7.0
(時間帯別)	800	12.0	10.5	11.5	12.0	6.1	7.1	7.6
	830	10.0	9.0	10.0	12.0	6.8	7.8	8.4
	900	8.0	6.7	8.5	9.5	4.8	5.4	5.8
	930	7.0	5.0	6.5	9.0	4.3	4.4	4.5
800-830 混雑度 (種別毎)	各停	5.3	5.2	6.6	5.9	6.1	7.1	7.6
	準急	7.0	9.0	9.0	11.0			
	通勤準急	10.0	10.5	11.5				
	快速	9.0			12.0			
	通勤急行		10.5	11.0	12.0			
	急行	10.0			11.0			
	快速急行	12.0			12.0			

図6 西武池袋線 種別平均混雑度

3章で1時間の最混雑区間の混雑度を求め、国土交通省混雑率データと比較したが、種別ごとに平均的な混雑度を集計することもできる。例えば西武池袋線について集計した結果が図6である。数値は混雑具合を表していて高いほど混雑している。この図からは各停以外の混雑度がほぼ等しく、千鳥停車で混雑分散に成功していることがわかる。この種別ごとに平均的な混雑度を求めた結果は住居検索にも有用な情報であり、例えば NIFTY 不動産検索¹²⁾で利用されている。

(3) ピークサイド

図7はJR中央線中野駅新宿方面の混雑度を表した散布図である。横軸が時間、縦軸が混雑度で、種別ごとに色が割り振られている。



図-7 JR 中央線 中野駅 混雑度図



図-8 JR 中央線 新宿駅 混雑度図

同様に図 8 は中央線新宿駅高尾方面のグラフである。ピーク時には 180% を超える混雑になる中央線もオフピーク時には 100% を切る混雑になり、この駅毎の混雑度の時間推移も NAVITIME などの乗換アプリで提供しているため、アプリを参照すればギリギリでラッシュを避けることも可能になる。

(4) ダイヤ改正シミュレーション

2017 年 3 月 25 日に東横線はピークサイド時間帯に祐

天寺駅で各停が急行の通過待ちを行うダイヤに改正された。図 9 はダイヤ改正前、図 10 はダイヤ改正後の混雑度をダイヤグラム形式で表した図である。縦軸は駅、横軸は時間帯であり、色で混雑度を表していて、電車混雑マップと同じ凡例であり、赤いほど列車が混んでいて青が最も空いている列車を表している。ダイヤ改正前は 9 時頃に各停と優等列車の混雑度がほぼ同じになっているが、ダイヤ改正後は各停と優等列車の混雑度の差が大きくなっている。しかし、優等列車もピーク時の混雑度を上回るものではないので問題にはならない程度である。この結果はダイヤ改正前にシミュレーションしたものはあるが、実際にダイヤ改正後に現地に調査に行くとほぼこのような結果になっていた。

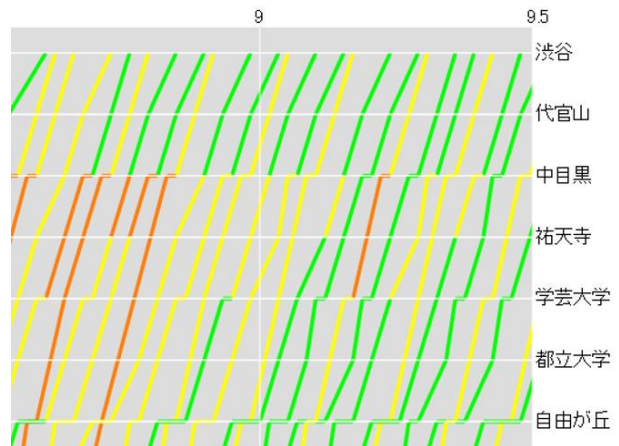


図-9 東横線ダイヤ改正前 (祐天寺退避なし)

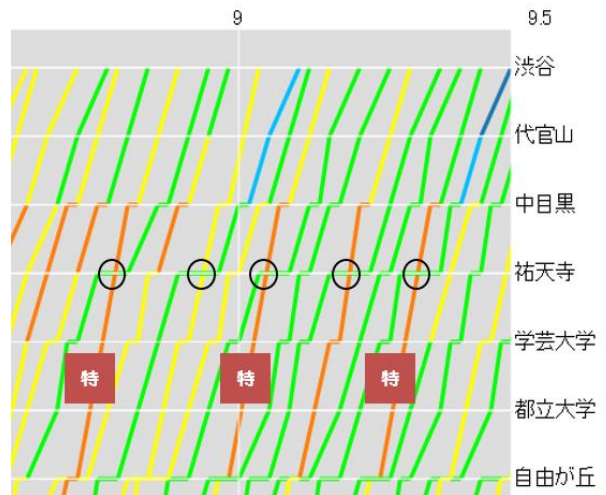


図-10 東横線ダイヤ改正後 (祐天寺退避あり)

5. 経路選択モデル構築

前章において、ナビタイムジャパン提供の経路検索サービスで表示している混雑情報の精度について検証を行った。続いて確認すべき点は、その混雑情報がどの程度サービス利用者の経路選択に影響を与えているか、という点である。そこで、ナビタイムジャパンで収集しているサービス利用者の経路選択データを用い、経路選択モデルの構築及び混雑が経路選択へ与える影響の分析を行った。

(1) 経路選択データの概要

ナビタイムジャパンの経路検索サービスは、サービス利用者が経路検索結果の中から所望の経路の情報を保存できるよう、カレンダー登録機能やメール・SNSによる情報共有機能を有している。経路選択モデルのパラメータ推定には、上記機能の利用記録を用いた。

本研究においては、2017年3月26日～2017年4月9日に記録され、検索結果に混雑度の表示ある経路が1経路以上存在した全31,934件の経路選択データを利用した。

(2) 経路選択モデル

所要時間・運賃・乗換回数・待ち時間・混雑度などを説明変数とした多項ロジットモデルを構築し、上記の経路選択データを利用してパラメータの推定を行った。本節では構築したモデルについて具体的に説明する。第*i*経路を選択することによる効用を下記のように設定した。

$$V_i = a_1 N_i + a_2 F_i + a_3 (C_i)^2 T_{Ri} + a_4 T_{Ri} + a_5 T_{Wi} + a_6 D_{Ci} + a_7 D_{Fi} \quad (4a)$$

ただし、

N_i : 乗換回数

F_i : 運賃

C_i : 混雑度 (1～6の整数に変換されている)

T_{Ri} : 所要時間

T_{Wi} : 待ち時間

D_{Ci} : 混雑度表示ダミー変数

D_{Fi} : 第一経路ダミー変数

$a_n (n=1, \dots, 7)$: パラメータ

である。上記効用関数を用い、第*i*経路を選択する確率を次のように表す多項ロジットモデルを構築した。

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_i \exp(V_i)} \quad (4b)$$

混雑度の不効用は指数的に増大すると仮定される場合も多いため¹⁰⁾、混雑度は2乗した値を利用することとし

た。また、混雑度と所要時間の交互作用項を入れた理由は、同じ混雑度でも乗車時間の長さによって人が感じる不快感は変わってくると考えられるためである。先行研究¹⁰⁾においても、混雑不効用を表現する式に所要時間と混雑率の交互作用項を導入している。

(3) パラメータ推定結果・分析

a) 全データを用いた推定結果

本項では、全データを用いて推定した結果について述べる。推定結果は表-2に記載した。所要時間価値は1345.74円/時間で乗換抵抗は9.09分/回であった。また混雑度表示価値は5.05分で、混雑不効用は1.83分(所要時間30分の経路で混雑度アイコンが4→5と変動した場合)であった。特に混雑の影響に着目すると、混雑度が明示されており、かつ混雑状況が穏やかな経路の効用が高くなる傾向があるといえる。

以後はデータセットを分割し、データの特長(検索結果の経路数、時間帯、経路の優先順)によって推定結果にどのような変化が現れるか確認していく。

b) 経路検索結果の経路数による推定結果の変化

本項では、経路検索結果の経路数によって推定結果がどう変化するか確認する。元データを経路検索結果での表示経路数ごとに分割し、各々のデータセットを用いてパラメータの推定を行った。結果は表-3に記載した。経路数が2経路のケースのみ他のケースと異なる傾向が見受けられたため、表には2経路・3経路のケースを抜粋して記載している。2経路のケースにおいては、他のケースと比べて所要時間・待ち時間のパラメータの絶対値が約半分となっている。そもそも検索結果で2経路しか返ってこない区間においては、移動経路のバリエーションも少ないため、運賃に差が生じにくい。実際、第一経路と第二経路の運賃の差の絶対値が100円以上になるケースの割合を計算してみると、2経路(サンプル数4647)で6%、3経路(サンプル数9456)で10%、4経路(サンプル数16802)で18%となっており、2経路では運賃に差がある経路が出にくい傾向があることが確認できた。推定結果はこの事情を反映したものになっていると考えられる。また混雑不効用も大きな差があるように見えるが、これは所要時間パラメータの差に影響された結果生じた差である。

c) 発着時間帯による推定結果の変化

次に、発着時間帯によって推定結果がどのように変わるかを確認する。サービス利用者は、経路検索の際に発時刻もしくは着時刻を入力する。本項では、その指定時刻が15時以前か以後かによってデータを2分割し、各々のデータを用いてパラメータ推定を行った。結果は

表4に記載した。15時に境界を設定した理由は、行きと帰りそれぞれにおける経路選択傾向の差を見ることを意図して設定した。両区分の推定結果を比較すると、混雑不効用が15時以降は小さくなり、混雑度表示値も下がっている。つまり、行きの時間帯の方が経路選択に与える混雑の影響は大きいことが読み取れる。

d) 経路の優先順による推定結果の変化

最後に、経路の優先順による推定結果の変化を確認する。ナビタイムジャパンの経路検索サービスでは、おすすめ順・時間短い順・運賃安い順・乗換回数少ない順など、様々な優先順に基づく経路検索機能を提供している。そこで、サービス利用者が選択した優先順によってデータを分割し、各々のデータを用いてパラメータ推定を行った。結果は表5に記載した。本研究においては、確保できたサンプル数の都合上、おすすめ順・時間短い順での推定結果のみ分析対象とする。両者の推定結果を比較すると、時間短い順の時間価値がおすすめ順の約2倍程度となっており、ユーザの志向が推定結果に現れたといえる。また、時間短い順では混雑度表示ダミーの影響も強く受けていることが読み取れる。一方混雑不効用についてはおすすめ順の方が影響を強く受けている。

表-2 全データ利用時の結果

	推定値	t 値
乗換回数 [回]	-0.90	-50.37
運賃 [100 円]	-0.44	-35.41
混雑度 2 乗×所要時間 [10 分×混雑^2]	-0.0067	-13.71
所要時間 [10 分]	-0.99	-45.84
待ち時間 [10 分]	-0.96	-47.34
混雑度表示ダミー	0.50	8.48
第一経路ダミー	0.88	52.59
サンプル数	31934	
修正済み尤度比	0.27	
乗換抵抗 [分/回]	9.09	
所要時間価値 [円/時間]	1345.74	
待ち時間価値 [円/時間]	1308.93	
混雑度表示価値 [分]	5.05	
第一経路表示価値 [分]	8.89	
混雑不効用 [分] [所要時間 30 分 混雑度 1→2]	0.61	
混雑不効用 [分] [所要時間 30 分 混雑度 4→5]	1.83	

表-3 検索結果の経路数ごとにデータを分割した時の結果

	2 経路		3 経路	
	推定値	t 値	推定値	t 値
乗換回数 [回]	-1.02	-6.83	-1.04	-24.05
運賃 [100 円]	-0.74	-7.6	-0.55	-15.36
混雑度 2 乗 ×所要時間 [10 分×混雑^2]	-0.0091	-2.8	-0.010	-7.77
所要時間 [10 分]	-0.51	-4.52	-0.92	-19.69
待ち時間 [10 分]	-0.56	-5.69	-1.0	-23.46
混雑度表示 ダミー	1.03	3.44	0.47	3.24
第一経路 ダミー	1.26	18.21	1.04	29.21
サンプル数	4647		9456	
修正済み 尤度比	0.36		0.37	
乗換抵抗 [分/回]	20		11.3	
所要時間価値 [円/時間]	409.89		1010.16	
待ち時間価値 [円/時間]	454		1096.98	
混雑度表示 価値 [分]	20.2		5.11	
第一経路 表示価値 [分]	24.71		11.3	
混雑不効用 [分] [所要時間 30 分 混雑度 1→2]	1.61		0.98	
混雑不効用 [分] [所要時間 30 分 混雑度 4→5]	4.82		2.93	

表4 時間帯毎にデータを分割した時の結果

	始発～15時		15時～終電	
	推定値	t値	推定値	t値
乗換回数 [回]	-0.97	-44.15	-1.02	-30.11
運賃 [100円]	-0.48	-30.79	-0.48	-20.63
混雑度2乗 ×所要時間 [10分×混雑^2]	-0.0068	-12.14	-0.0045	-4.39
所要時間 [10分]	-0.97	-36.04	-1.03	-26.07
待ち時間 [10分]	-0.95	-37.85	-1.02	-27.85
混雑度表示 ダミー	0.53	7.09	0.41	3.91
第一経路 ダミー	0.91	44.31	0.9	29.33
サンプル数	21581		9856	
修正済み 尤度比	0.27		0.28	
乗換抵抗 [分/回]	10		9.9	
所要時間価値 [円/時間]	1203.57		1295.68	
待ち時間価値 [円/時間]	1182.77		1275.89	
混雑度表示 価値[分]	5.46		3.98	
第一経路 表示価値[分]	9.38		8.74	
混雑不効用 [分] [所要時間 30分 混雑度 1→2]	0.63		0.39	
混雑不効用 [分] [所要時間 30分 混雑度 4→5]	1.89		1.18	

表5 優先順毎にデータを分割した時の結果

	おすすめ順		時間短い順	
	推定値	t値	推定値	t値
乗換回数 [回]	-0.98	-33.74	-0.81	-32.37
運賃 [100円]	-0.55	-25.38	-0.33	-19.29
混雑度2乗 ×所要時間 [10分×混雑^2]	-0.0072	-9.04	-0.0065	-9.21
所要時間 [10分]	-0.89	-25.49	-0.93	-29.27
待ち時間 [10分]	-0.9	-27.91	-0.94	-30.42
混雑度表示 ダミー	0.55	5.86	1.19	13.09
第一経路 ダミー	0.96	34.24	0.91	36.89
サンプル数	12153		15795	
修正済み 尤度比	0.29		0.25	
乗換抵抗 [分/回]	11.01		8.71	
所要時間価値 [円/時間]	964.89		1707.1	
待ち時間価値 [円/時間]	970.55		1724.03	
混雑度表示 価値[分]	6.18		12.8	
第一経路 表示価値[分]	10.79		9.78	
混雑不効用 [分] [所要時間 30分 混雑度 1→2]	0.73		0.63	
混雑不効用 [分] [所要時間 30分 混雑度 4→5]	2.18		1.89	

6. 公共交通網への影響分析

本章では前章で推定した経路選択モデルをナビタイムジャパンの1日500万件のアクセスログに適用した場合、

混雑度を表示したことにより路線選択がどのように変化したかを推定する。

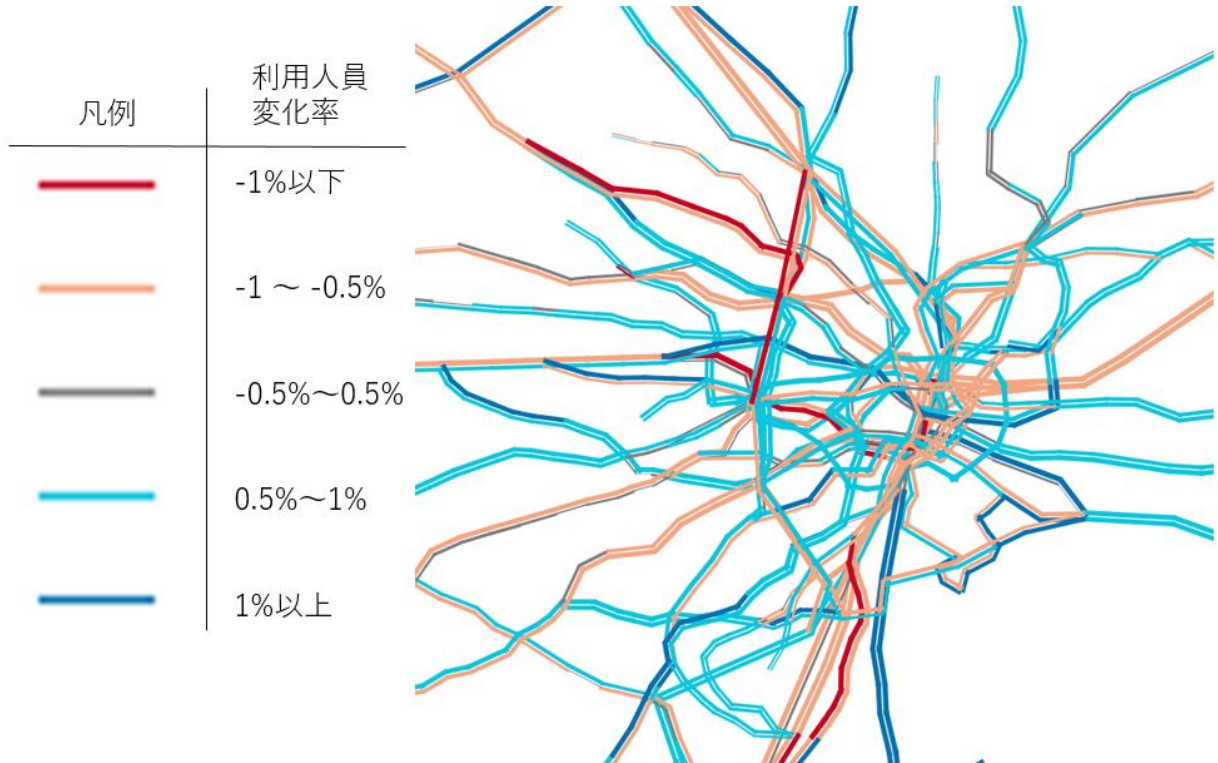


図-11 路線別利用人員増減図

(1) 路線別人数増減推定結果

表-2 の経路選択モデルを使用し、混雑度考慮ありの場合のモデルを適用した場合の各路線・区間の合計人数から混雑度考慮なしのモデルを適用した場合の各路線・区間の合計人数を引き算し、路線毎に利用人員の増減をシミュレーションし集計した結果、図2のようになった。青色が混雑度を表示することにより利用人員が増加した路線・方面。赤色が混雑度を表示することにより利用人員が減少した路線・方面である。進行方向に向かって左側が上り、右側が下りを表している。

特に並行路線で混んでいる路線から空いている路線への転換が見られた。駅間ごとに1日数百人単位での変動がある路線が多い。

a) 副都心線と埼京線と山手線

埼京線と山手線から副都心線への転換が多い。山手線は副都心線並行区間以外でも利用人員が減少が見られもともと人気のある路線であることがわかる。

b) 田園都市線と小田急線

上りは中央林間から着席できる田園都市線を利用し下りは新宿から着席できる小田急線を利用するケースがそれなりに発生していることがわかる。しかし小田急線は下り方面の利用者が京王線に流出しており、下り方面を見た場合でもプラスにはなっていない。複々線が完成し

た際は逆転すると考えられ、小田急電鉄株式会社の試算によればその運賃収入増額は年額50億円に達する。

c) 埼京線と京浜東北線と上野東京ライン

上り方向は大宮から着席できる埼京線と京浜東北線が増加し、上野東京ラインが減少している。下りは上野から着席できる上野東京ラインの利用者が増加し、京浜東北線と埼京線が減少している。

(2) 路線別収支増減推定結果

表-6 運賃収入増加上位路線

線名	収支 (円/日)	割合 (%)
東京モノレール	132648	0.442
J R 京葉線	94325	0.094
J R 武蔵野線	79203	0.062
東京メトロ有楽町線	64353	0.065
東急田園都市線	61230	0.048
都営大江戸線	46761	0.064
東京メトロ南北線	45938	0.099
東急目黒線	45084	0.146
J R 横須賀線	43505	0.035
東京メトロ半蔵門線	42515	0.051

表-7 運賃収入減少上位路線

線名	収支(円/日)	割合(%)
J R 山手線	-262866	-0.098
J R 東海道本線	-129302	-0.068
J R 京浜東北線	-94601	-0.045
J R 宇都宮線〔東北本線〕 J R 上野東京ライン	-64110	-0.046
京急本線	-58849	-0.065
東武東上線	-51553	-0.055
京急空港線	-48776	-0.994
小田急小田原線	-44747	-0.026
都営浅草線	-34341	-0.049
東武野田線	-30825	-0.986

表 6, 表 7 は利用人員の増減を金額換算した表である。収支の変化が大きい上位 20 路線を掲載している。黒字は増額, 赤字は減額を表す。鉄道運賃は同一事業者内では路線ごとの運賃というものはないが, 距離に比例して運賃を按分することに仮想的に路線ごとの運賃を算出した。乗継割引がある会社をまたいだ時の運賃も同様に距離按分した。

結果としては概ね路線別増減と一致している。1 日あたり 200 人増減, 1 人あたりの運賃が 200 円とすれば運賃収入は 1 日 4 万円前後の変化があることになり, 結果は妥当だと考えられる。年額換算すると平日が年間 250 日とすれば 1 路線 1000 万円前後の変化がある計算になる。

京急空港線はナビタイムジャパンのサービスで混雑度を表示しておらず, 東京モノレールは混雑度を表示しているため, 混雑度表示価値の分だけ東京モノレールへの転換が多く見られる推定結果となった。また京急空港線と直通している都営浅草線, 京急本線が連動して減収になっていることがわかる。

7. おわりに

(1) まとめ

本研究で行ったことは以下の 4 点である。

- ・首都圏の全時間帯の列車の混雑度を列車・駅毎に推定し, 経路検索サービスで表示するようにした
- ・推定結果を国交省発表のデータと比較し, 妥当性の確認を行った
- ・経路選択モデルを構築し, 混雑度がサービス利用者の経路選択にどの程度影響を及ぼすか分析を行った
- ・構築した経路選択モデルを利用し, 混雑度を明示する前後における公共交通網の人の流れの変化を推定した

(2) 今後の展開

本研究の今後の展開としては, 以下のものが考えられる。

a) データの精度・粒度の向上

突発的な変動への対応: 本研究で扱ってきた混雑は, 通勤・通学などの日常的な利用で生じる混雑を想定していた。そのため, イベント開催時などの突発的に生じる混雑に関しては推定対象外としていた。今後は経路検索データや携帯端末の GPS データなどを利用して, 突発的に発生する混雑の予測していくことが考えられる。

車両別混雑度: 本研究では列車単位の混雑度の推定を行ったが, 車両単位の混雑度推定までは至っていない。今後は, 自動改札機・応荷重データなど鉄道事業者の保持するデータを活用し, 混雑情報の解像度を上げていくことが考えられる。

実績データとの照合による精度向上: 鉄道事業者の保持する応荷重データや交通量実態調査の結果などの実績データを活用することで, 混雑度の推定精度を向上させていくことが考えられる。

b) 混雑回避を誘発する情報提供サービス

経路並び順への反映: 経路選択モデルのパラメータ推定結果を見ると, 第一経路に表示されている経路は他の経路と比べて選ばれやすいことがわかる。また現在のナビタイムジャパンの経路検索サービスでは, 空いている順で表示する機能は提供していない。そこで, 空いている列車を上位に表示する機能を提供することで, さらに混雑を分散させることができると期待される。

着席列車への誘導: 混雑回避策として, サービス利用者に有料着席列車やグリーン車利用経路を提示することで

利用者の快適性の向上, 鉄道事業者の増収に貢献できると考えられる。

混雑回避へのインセンティブ付与: 混雑回避行動をとったサービス利用者に対し「ナビタイムマイレージ」¹²⁾ を付与することで, 混雑回避行動を促していくことが考えられる。

c) 鉄道事業者や地域との連携

快適通勤ムーブメントへの貢献: 2017 年夏に東京都は「快適通勤ムーブメント」²⁾ の実施を予定している。この取り組みにナビタイムジャパンは少なからず貢献できると考えている。混雑の見える化は本研究を通じて行っており, さらに混雑の具体的な回避方法をサービス利用者に提示するための「混雑回避ルート」⁹⁾ を提供している。ただし 1 社のみで実現できることには限りがあるため, 東京都や企業・大学と連携して混雑回避の方策を検討していきたいと考えている。

鉄道事業者との連携: 鉄道事業者との連携によ

り本研究はさらなる発展が期待できる。鉄道事業者からのデータ受領があれば、ナビタイムジャパンで提供している混雑度情報の網羅性・精度の向上が期待できる。また、ナビタイムジャパンの混雑推定システムはダイヤ改正前後の人の流れの変化の推定にも使えるため、鉄道事業者のダイヤ改正支援などにも活用できると考えている。

筆者らは引き続き、上記のような取り組みを通じて、サービス利用者の快適な移動の支援に取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 小池百合子：「小池ゆりこ 東京都知事選特設ページ」 <<https://www.yuriko.or.jp/senkyo/seisaku/>>(2017年4月27日閲覧)
- 2) 東京都：東京都知事記者会見 2017年02月24日「快適通勤の実現に向けてムーブメントを展開」 <http://www.metro.tokyo.jp/tosei/governor/governor/kishakaien/2017/02/documents/24_01.pdf>(2017年4月27日閲覧)
- 3) 国土交通省：「東京圏における今後の都市鉄道のあり方について」, <<http://www.mlit.go.jp/common/001138591.pdf>>(2017年4月27日閲覧)
- 4) JR 東日本：「JR 東日本アプリ」, <<http://www.jreast-app.jp/>>(2017年4月27日閲覧)
- 5) 国土交通省：「鉄道需要分析手法に関するテクニカルレポート」, <<http://www.mlit.go.jp/common/001138608.pdf>>(2017年4月27日閲覧)
- 6) 鉄道総合研究所：「列車運行・旅客行動シミュレータ」, <<http://www.rtri.or.jp/rd/division/rd47/rd4740/rd47400113.htm>>(2017年4月27日閲覧)
- 7) 田口東：「首都圏電車ネットワークに対する時間依存通勤交通配分モデル」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, 48巻, 85-108 (2005年)
- 8) ナビタイムジャパン：「電車混雑予測」 <https://www.navitime.co.jp/lp/predict_congestion/>(2017年4月27日閲覧)
- 9) ナビタイムジャパン：プレスリリース「世界初！「電車混雑回避ルート」を提供開始」, <http://corporate.navitime.co.jp/topics/pr/201703/16_4083.html>(2016年10月27日閲覧)
- 10) 岡野宙輝, 太田恒平, 廣田正之, 今岡将大：「電車混雑予測～各列車・停車駅ごとの混雑推定情報が乗換検索にもたらすインパクト～」, 第23回鉄道技術連合シンポジウム, 2016年
- 11) 国土交通省：「混雑率データ」, <<http://www.mlit.go.jp/common/001139448.pdf>>(2016年10月27日閲覧)
- 12) NIFTY CO, Ltd：「@nifty 不動産アプリ」, <<http://myhome.nifty.com/apps/>>(2017年4月28日閲覧)
- 13) 山崎翔平, 森田泰智, 窪田崇斗, 山崎公之, 家田仁：「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」, 土木計画学研究・講演集, No. 38, 2008年11月

(2017.4.28 受付)

Estimation of the railway congestion

Hiroki OKANO, Kohei OTA and Masayuki HIROTA

Railway congestion is the major issue that has been left in the public transportation network, so congestion dispersion by appropriate information service and promoting the use of reserved seats on the train is expected. The public data of railway congestion, however, have only the averages of congestion rates in the most crowded sections over the morning rush hours. Therefore, we developed the "train congestion prediction" system to estimate the degree of congestion of each stop and each train in Tokyo Metropolitan area throughout the day. We provided congestion information through the route search services for the purpose of encouraging users to avoid getting on crowded trains. In addition, we made it possible to analyze the influence of congestion information by collecting the route choice log data from our route search services. In this study, we report detailed realities of congestion in Tokyo Metropolitan area throughout the day and the influence of congestion information on the route choice.