

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～

岡野 宙輝* 太田 恒平 廣田 正之 (株式会社ナビタイムジャパン)
今岡 将大 (東京工業大学)

Estimation of the railway congestion
Hiroki Okano*, Kohei Ota, Masayuki Hirota (NAVITIME JAPAN)
Masahiro Imaoka (Tokyo Institute of Technology)

Railway congestion is the major issue that has been left in the public transportation network, and so congestion dispersion by appropriate information service and promoting the use of reserved seats on the train is expected. Therefore the authors have developed “train congestion prediction” to estimate the degree of congestion of each stop of each train in the rush hours in Tokyo Metropolitan area and have provided information about congestion through the journey planner service. In this study, we report detailed realities of the congestion in Tokyo Metropolitan area and the influence on the route choice.

キーワード：鉄道，混雑，シミュレーション，経路選択モデル
(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。その対策のためには、路線や車両の増強等のハード施策に加え、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(1)においても指摘されている。鉄道事業者は、独自のアプリや 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(2)。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、鉄道事業者のダイヤ評価向けの技術(3)は対応路線が限定的であること、路線計画向けの技術(4)は解像度が列車毎ではなく路線毎であること、時空間ネットワークを用いたシミュレーション(5)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、首都圏の朝ラッシュを対象に、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、乗換検索アプリを通じた混雑情報の提供を行った(図1)。本稿では、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章にて混雑の予測結果、第4章にて乗換検索サービスにおける経路選択への影響について報告する。

2. 「電車混雑予測」の概要

本研究では平日の 6:30～10:00 の朝ラッシュ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。2016年10月現在、首都圏の54路線、766駅が対象である。国土交通省の「東京圏における主要区間の混雑率」(7)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。



図1 経路選択画面

「電車混雑シミュレーション」の概要を次に示す。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し、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、列車・駅間ごとの経路選択人数を車両定員で割ったものを混雑率とし、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(6)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。

この推定結果を乗換検索サービスに連動して表示することにより、経路選択の意思決定の一助となるようにした(図1)。乗換検索結果には利用者が直感的に理解できるように乗車率ではなく混雑を6段階で表したアイコンを表示する(図2右)。アイコン1つがおおよそ混雑率40%に相当する。図2左はある列車に着目した場合の各駅での混雑度の表示画面である。図3はある駅に着目した場合の各列車の混雑度である。

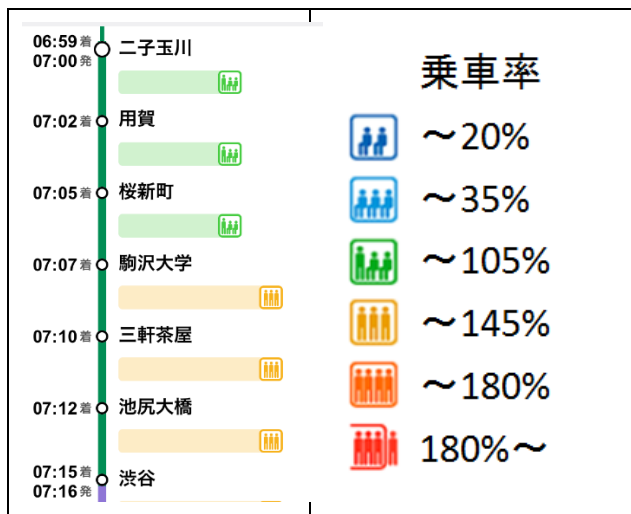


図2 左：停車駅リスト画面 右：混雑度アイコン



図3 田園都市線 鷺沼駅 渋谷方面 時刻表画面

3. 混雑推定結果

〈3-1〉発見！おトクな列車

「電車混雑シミュレーションシステム」の結果を俯瞰するとすいているおトクな列車を発見できる。たとえば図4は副都心線渋谷方面の混雑度を表したダイヤグラムである。横軸は時間で8:00~9:00の範囲となっている。縦軸は停車駅になっており小竹向原~西早稲田間をピックアップしている。色が6段階で混雑度を表しており、図2とそれぞれ対応している。図4をみると千川始発の列車が8時台のみ2本存在し、特に2本目の列車は池袋駅からでも座れる可能性があることがわかる。

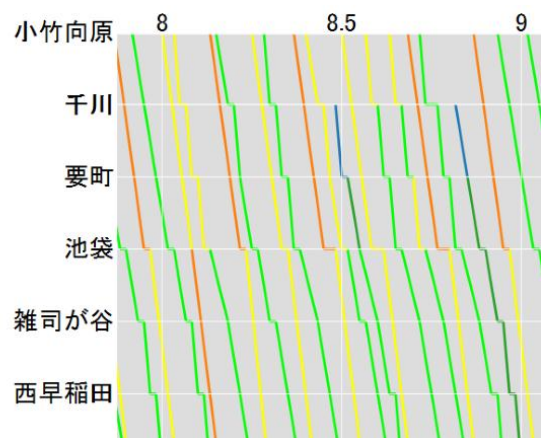


図4 電車混雑ダイヤグラム(副都心線 渋谷方面)

〈3-2〉すいている時間帯は？

表1 田園都市線 30分平均混雑度

		二子玉川	用賀	桜新町	駒沢大学	三軒茶屋	池尻大橋
最混雑種別の混雑度	6:30	4.0	3.2	3.3	3.3	4.2	3.4
	7:00	4.5	4.5	3.8	3.8	5.0	3.9
	7:30	4.6	4.8	5.0	5.1	5.5	5.5
	8:00	4.8	4.9	5.2	5.4	5.5	5.6
	8:30	5.0	4.6	4.8	5.0	5.2	5.8
	9:00	4.8	3.8	3.9	4.0	5.3	5.0
	9:30	4.3	3.5	3.6	3.8	5.2	3.9
各停 8:00	3.8	3.9	4.3	4.5	4.6	5.0	
準急 8:00	4.8	4.9	5.2	5.4	5.5	5.6	
各停 9:30	3.4	3.5	3.6	3.8	3.9	3.9	
急行 9:30	4.3	-	-	-	5.2	-	

また推定した混雑度を時間帯ごとに平均値を取ると、ポイントで空いている列車だけでなく、空いている時間帯を見つける事も可能になる。表1は田園都市線の各種別の6段階混雑の平均値を取り、複数の種別が停車する駅では最も混雑する種別の値を記した表となっている。8時台がピークとなっているが、前後の時間帯や各停と準急で大きな混雑の差はない。急行の準急化により上手く混雑が分散できている結果となった。9:30も過ぎてくると各停

はピーク時間帯よりすいてくるが、急行が運行し始め急行はピーク時間帯並みの混雑度となっていることがわかる。

4. 混雑情報の経路選択への影響分析

前章のように特定の列車を狙うもしくは時間帯をずらせば満員列車は回避できるが、実際にサービス利用者がどの程度混雑を避けた経路を選択しているかについて、筆者らは分析を行った。

乗換検索サービスでは所要時間、乗換回数、運賃などに基いて算出された経路選択肢集合が明示的に示され(図 5 左側)、基本的にサービス利用者は選択肢を総合的に比較し、1つ経路を選び移動する。本研究では株式会社ナビタイムジャパンが提供している乗換検索サービスにて収集される経路選択データを基に経路選択モデルを構築した

〈4・3〉 経路選択データの概要

対象となる経路選択肢集合は混雑度が表示されている首都圏朝ラッシュ時の上り方向の 54 路線の乗換検索結果に限定した。乗換検索サービスに示される経路の中から利用者が選んだ経路の判定には、カレンダー登録機能およびメール・SNS による情報共有機能(図 5 右側)の利用記録を用いた。本研究では 2016 年 8 月 10 日～10 月 16 日に記録された 32,694 件の経路選択データを対象とした分析結果を示す。

図 5 経路選択判定方法



〈4・4〉 経路選択モデルの構築

本データを用いて、所要時間、運賃、乗換回数、待ち時間、混雑度などが経路選択に及ぼす影響を、多項ロジットモデルを用いた経路選択モデルにより推定した(表 2)。推定結果は、時間価値(1分節約のために何円支払うか)は 20～24 円/分、乗換抵抗(乗換 1 回節約のために何分所要時間が伸びても良いか)は 10.5 分/回となった。混雑不効用はアイコン 1 つ分の差につき所要時間 1.7 分の差に相当する結果となった。また混雑の不効用は指数的に増大すると仮定されることも多く(8)、2 乗に比例するモデルを構築した場合、パラメータ推定結果は表 3 のようになった。この場合だと混雑アイコンが 1 段階目と 2 段階目の経路の差は所要時間 1 分に満たないが 4 段階目と 5 段階目

の差は所要時間 2.5 に相当する。経路が 2 つしか表示されていない場合は 6 分弱の差になる。尤度比は線形のモデルとほぼ同じ結果となった。

表 2 全経路セットの推定結果

説明変数	全経路セット		表示が 2 経路	
	推定値	t 値	推定値	t 値
乗換回数[回]	-0.94	-50.6	-0.90	-8.4
運賃・料金 [100 円]	-0.74	-35.7	-0.93	-10.3
混雑度[6 段階]	-0.25	-23.4	-0.25	-8.7
所要時間[10 分]	-1.51	-70.7	-0.68	-7.1
待ち時間[10 分]	-1.8	-79.7	-1.1	-12.3
第一経路ダミー	0.29	20.9	0.96	19.5
サンプル数	32,694		7,589	
修正済み尤度比	0.26		0.34	
乗換抵抗[分/回]	6.2		12.6	
所要時間価値 [円/分]	20.4		7.5	
待ち時間価値 [円/分]	24.2		11.9	
混雑不効用 [分/アイコン]	1.7		3.7	

表 3 不効用が乗車率の 2 乗に比例するモデル

説明変数	全経路セット		表示が 2 経路	
	推定値	t 値	推定値	t 値
乗換回数[回]	-0.95	-51.1	-0.89	-8.4
運賃・料金 [100 円]	-0.74	-35.7	-0.94	-10.3
混雑度 ² [6 段階]	-0.041	-23.3	-0.046	-9.4
所要時間[10 分]	-1.53	-70.6	-0.71	-7.4
待ち時間[10 分]	-1.8	-79.7	-1.1	-12.3
第一経路ダミー	0.29	20.9	0.97	19.6
サンプル数	32,694		7,589	
修正済み尤度比	0.26		0.34	
乗換抵抗[分/回]	6.2		11.8	
所要時間価値 [円/分]	20.5		7.5	
待ち時間価値 [円/分]	24.2		11.8	
混雑不効用[分/アイコン 4→5]	2.4		5.82	

いずれのモデルの場合でも経路が 2 つのみ表示されているデータに制限した時の尤度比がかなり高くなる結果となった。これは多くの経路が表示されているとそれぞれの指標を総合的に評価するのが難しく、利用し慣れている路線などユーザ好みの経路を選ぶことが多くなる可能性があると考えられる。また混雑の不効用はすべてのモデル

で経路選択に2～6分の所要時間相当の影響があることがわかった。

5. さいごに

〈5・1〉 まとめ

本研究では首都圏朝ラッシュ時上り方向の列車の混雑を1本、1駅毎に推定した。さらにその結果を乗換検索サービスに表示しサービス利用者の経路選択にどの程度影響を与えるか測定を行った。その結果利用者が混雑を回避できる経路をある程度選択していることが示された。

〈5・2〉 今後の展開

本研究の今後の展開としては下記が考えられる。

(1) データの拡充・精緻化

情報配信対象の拡大:本研究では朝の通勤ラッシュ方向を対象としているが、双方向・終日に対象を広げる予定である。

突発的な変動への対応:本研究では過去のデータに基づく平均的な混雑度を出力している。今後は、経路検索関連データを用いて、リアルタイムや未来の混雑を予測(9)することで、イベントや輸送障害等による突発的な混雑を通知することが考えられる。

事業者保有データの活用:本研究で用いたデータは公開統計と自主調査である。今後は、自動改札機、応荷重や交通量実態調査など鉄道事業者の保有するデータを活用し、予測精度の向上や、列車単位から車両単位に推定の解像度を上げることが考えられる。

(2) 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:4章にて示したように一番目に表示される経路は選択されやすい。現在は時刻順の表示がデフォルトだが、これを総合評価順とし評価要素に混雑度を加えることで、空いている経路が上位に表示され選ばれやすくなると考えられる。さらには、着席を好む人や体の不自由な方向けの設定として、所要時間などよりも混雑度を重視した経路を優先的に表示することが考えられる。

空いている経路の強調・推薦:座れる経路を強調表示する、あるいは前後の時間帯の空いている経路を推薦するなどして、ユーザが空いている経路の存在を認知しやすくすることが考えられる。

着席列車への誘導:混雑を回避する打開策として有料着席列車やグリーン車利用経路を提示することで、利用者には快適性の向上、鉄道事業者には増収をもたらすことが考えられる。

混雑回避へのインセンティブ付与:混雑回避行動を取ったユーザに対し「ナビタイムマイレージ」(10)を付与し、回避を促すことが考えられる。

(3) 見える化による沿線価値向上

住宅検索との連携:3章に示したような混雑の統計情報を住宅検索サイトに提供し、快適な通勤が可能な住居探しを支援することが考えられる(参考事例(11)(11))。

輸送改善支援:本研究で示した、他社線も含めた混雑状況や経路選択への影響などは、鉄道事業者の混雑緩和や集客競争においても有用な知見と考えられる。さらにはシミュレーションによりダイヤ改正を支援することも考えられる。

筆者らは引き続き、上記のような取組を通じて、ユーザの快適な移動と、鉄道網の混雑緩和・魅力向上・利用促進に貢献できるよう努める所存である。

文 献

- (1) 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>>(2016年10月27日閲覧)
- (2) JR 東日本:「JR 東日本アプリ」, <http://www.jreast-app.jp/>
- (3) 平井力:「顧客満足度の観点による列車ダイヤの評価」, 第232回 鉄道総研月例発表会
- (4) 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>>(2016年10月27日閲覧)
- (5) 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)
- (6) 石村怜美, 梶原康至, 太田恒平:「乗換検索サービスの経路選択データを用いた公共交通の経路選択行動分析」, 土木計画学研究・講演集, Vol.49, 土木学会, 2014
- (7) 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)
- (8) 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負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
- (9) 石村怜美, 太田恒平, 富井規雄:「経路検索サービスの実績データに基づく近未来の突発的移動需要の検出」, 第47回土木計画学会研究発表会, 2013年
- (10) ナビタイムジャパン:「ナビタイムマイレージ」, http://corporate.navitime.co.jp/topics/pr/201607/12_3773.html (2016年10月27日閲覧)
- (11) NEXT CO.,Ltd:「快適通勤検索」, <http://www.homes.co.jp/chintai/comfort-commute/> (2016年10月27日閲覧)