

オープンデータ・ビッグデータを用いた混雑予測

岡野 宙輝, 小田中 育生

鉄道の列車内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。小池百合子東京都知事は「満員電車をゼロへ」を公約に掲げて当選し「快適通勤ムーブメント」を開始していることからも、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」が重要であり、ナビタイムジャパンがユーザーに対してどのように混雑情報を届けているかを最新の新型コロナウイルスに関連する事例も交えて紹介する。

キーワード:鉄道,混雑予測,経路選択

1. はじめに

1.1 背景

鉄道の列車内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氏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も、混雑対策への社会的な要請が高いことが伺える。また、日本政府は満員電車が世界的に流行している新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の感染要因の一つだと言及[3]するなど、ここにきて社会的な課題として再注目されている。鉄道事業者は国土交通省の要請で駅構内や列車内のアナウンスで時差通勤やテレワークの推進を呼びかけて混雑の緩和へ取り組んでいる。

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土交通省答申 [4] においても指摘されている、鉄道事業者は、独自のアプリ [5,6] や Web サイト [7] 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、鉄道事業者の最新の車両の一部はリアルタイムで混雑率を計測可能だが、古い車両や他社線と相互乗り入れしている車両に関しては混雑率が測定できないなどの課題がある。

そこで筆者らは定常時の混雑を推定する「電車混雑 予測」とイベントなどの非定常時を予測する「駅混雑 予報」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, 2).

1.2 混雑推計データ・研究

鉄道の列車の混雑推計に関してはさまざまな技術が 提案されている。しかし、鉄道事業者のダイヤ評価向

 $08:44 \rightarrow 08:59$ 早楽 15分 336円 乗換1回 混雑度 JR > 渋谷 > 6 > 着 $08:40 \rightarrow 09:02$ 安楽 22分 199円 乗換1回 混雑度 F > 明治神宮前 > C > 着 $08:47 \rightarrow 09:03$ 楽 16分 336円 乗換1回 混雑度 JR > 渋谷 > ⑥ > 着 $08:40 \rightarrow 09:13$ 安楽空 33分 199円 乗換1回 混雑度 👬 M > 赤坂見附 > ⑤ > 着

図1 乗換検索アプリ画面

けの技術 [8] は対応路線が限定的であること,路線計画向けの技術 [9] は解像度が列車ごとではなく路線ごとであることが課題であった.また,時空間ネットワークを用いたシミュレーション [10] は最新の時刻表を適用する運用に課題があった.

2. 電車混雑予測の概要

本節では定常時の首都圏の主要な路線の列車それぞれについて停車駅ごとに混雑を推定した「電車混雑予測」について説明する。「電車混雑予測」は首都圏の電車を利用するすべての乗客の乗換検索を行い経路を選択することによって人の流れをシミュレーションしている

2.1 シミュレーション

筆者らの開発した「電車混雑予測」は 2020 年 4 月 現在, 首都圏の 66 路線, 893 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, シミュレー

おかの ひろき, おだなか いくお (株) ナビタイムジャパン hiroki-okano@navitime.co.jp

2020年8月号 (27) 445



図2 駅混雑予報サービス画面



図3 6段階の混雑アイコン

ションではさらに詳細に1列車1列車, 各停車駅ごと に乗車率の推定が可能である.「電車混雑予測」の概要 を次に示す。まず平成27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、 タラッシュ時の 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ことによりタラッシュ時 のデータとみなした. さらに一部足りない定期券外の 利用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1. 独自現地調査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、2.2 節で説明するロジットモデル 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 定員で割った数値を混雑率とし、最終的に適宜図3の ような6段階のアイコンに変換した. 経路選択モデル は文献 [12] 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.

2.2 経路選択モデル

2.2.1 経路選択データの概要

ナビタイムジャパンの乗換検索アプリは, サービス

1 ある駅と駅の間を 1 日あたりに通過した人数

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。

2.2.2 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。ここでは乗換検索アプリ上で表示される経路検索結果を上から順番に第1経路,第2経路,…、と定める。

$$V_i = a_1 N_i + a_2 F_i + a_3 (C_i)^2 T_{Ri}$$

+ $a_4 T_{Ri} + a_5 T_{Wi} + a_6 D_{Ci} + a_7 D_{Fi}$

ただし.

N: 乗換回数

 F_i : 運賃

C_i: 混雑度 (1~6 の整数)

 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 $a_n(n=1,...,7)$: 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.

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

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、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[12]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。

2.2.3 パラメータ推定結果・分析

本節では、全データを用いて推定した結果について

表1 パラメータ推定結果

	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	-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	

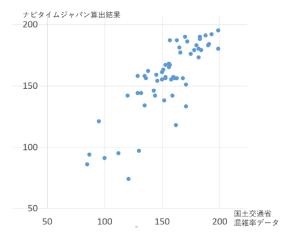


図4 国土交通省-ナビタイムジャパン混雑度較

述べる. 推定結果は表 1 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, 混雑度 2 乗* 所要時間 から混雑不効用を計算すると 1.83 分 (所要時間 30 分の経路で混雑度アイコンが 4 から 5 へと変動した場合)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言える.

2.3 混雑推定精度結果

この節では「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整合しているかを比較 検証する. 1 節で述べたように列車内の混雑に関する データ自体がそもそも少ないが、ここでは最も信頼性 が高いと思われる年に1 度国土交通省が発表している 混雑率データ [11] と比較する. 図 4 は各路線について のピーク時混雑率について国土交通省の発表データを

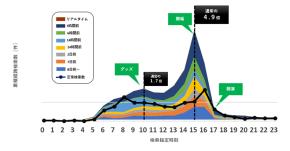


図5 新横浜駅・北新横浜駅・小机駅を到着指定した検索数

横軸に、ナビタイムジャパンの算出データを縦軸にプロットしたものである。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。

3. 駅混雑予報

本節ではイベントなどの非定常時を予測する「駅混雑予報」について説明する。

乗換検索アプリでは膨大な件数の検索が行われており、近年では乗換検索アプリの実績データを交通分析に適用した研究も始まっている. 経路検索の際には未来の発着日時を指定することが多いため、その実績データには未来の移動需要が反映されていると考えられる. したがってそれを分析することで、従来の統計や予測モデルによる手法では難しかった、数分から数日後の近未来の移動需要の分析が可能になると考えられる.

移動需要分析の一例として 2018 年 6 月 9 日に日産 スタジアムで行われた東方神起のライブの分析事例を 紹介する. 図 5 は, 到着駅を日産スタジアムの最寄り 駅である新横浜駅, 北新横浜駅, 小机駅を到着日時を同日に指定した乗換経路検索数の時間別分布であり, 開場時間とグッズ販売開始時に検索が集中していた. また 15 時台の検索件数は, 普段はほぼ検索がない 7 日前の時点で定常検索数を上回り, 事前に突発的移動需要を検出することができた. このような検出結果を, 交通分野においては増便・増結といった輸送力調整, マーケティング分野においては小売店の仕入調整などに適用すれば, イベントの円滑化・経済効果増に寄与すると考えられる.

4. 新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) による首都圏の電車混雑の変化について

2020 年 4 月時点で日本政府は新型コロナウイルス 対策として時差出勤やテレワークを呼びかけており、 自粛ムードも広がる中、鉄道の利用客が減少している

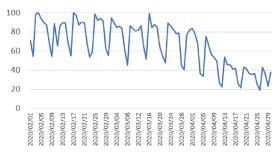


図 6 通勤·通学検索回数

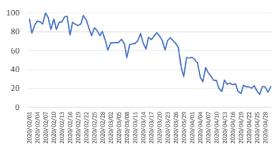


図7 非日常利用検索回数

との報道がある [13].

全体として混雑率が減少傾向であることは間違いないものの,詳細なデータは発表されていないため,経 路検索ログを利用して列車ごとにどの程度混雑率が変化したのか推定を試みた.

4.1 データ分析

4.1.1 検索数

まず、乗換検索アプリの検索回数から公共交通利用の動向を探る、乗換検索アプリはそのサービスの性質上通勤・通学の検索ログがほとんどない、毎日乗っている電車の時刻を調べる必要がないからである。ただ、人によっては毎日乗車する電車が完全に固定されていない場合や、いつもの電車に間に合わなかった場合など、検索するケースも存在する。そこでユーザの定期券経路と出発地と目的地が一致する検索ログを通勤・通学ログ、定期券が登録されているが出発地もしくは目的地が一致しないログを非日常利用ログとしてそれぞれ集計した。期間は新型コロナウイルスの影響がほぼないと思われる2020年2月上旬から、緊急事態宣言以降となる執筆時点の4月末までである。

図6は通勤通学の検索回数である。検索回数は非公開情報であるため最大値の百分率で表している。新型コロナウイルスの影響が出始めた3月上旬頃からわずかに通勤・通学の検索が減っており、緊急事態宣言が発令された4月7日前後で急激に減っていることがわ

表 2 都営地下鉄利用者数推移

日付	6:30~7:30	7:30~9:30	9:30~10:30
4/27~4/30	-47.86%	-68.97%	-67.96%
$4/20 \sim 4/23$	-45.27%	-68.44%	-68.13%
$4/13 \sim 4/17$	-40.76%	-65.48%	-65.50%
$4/6 \sim 4/10$	-17.64%	-48.24%	-47.14%
$3/30 \sim 4/3$	-9.93%	-34.50%	-30.62%
$3/23 \sim 3/27$	-4.28%	-26.27%	-14.34%
$3/16 \sim 3/19$	-1.36%	-23.98%	-11.22%
$3/9 \sim 3/13$	-1.22%	-24.87%	-12.05%
$3/2 \sim 3/6$	0.47%	-22.36%	-10.16%
$2/17 \sim 2/21$	-0.36%	-4.11%	-6.95%
$2/20 \sim 2/14$	-0.96%	-2.94%	-7.48%

表 3 駅別減少率上位駅

駅名	減少率
成田空港	100.0%
羽田空港	94.4%
舞浜	92.9%
海浜幕張	88.3%
鎌倉	87.9%
原宿	87.4%
新横浜	87.3%
後楽園	85.8%
有楽町	85.5%
124714	001010

かる. さらに全国に対象範囲が拡大された 4 月 17 日 前後からもう一段階減っている. 土日の検索ログは平日の半分程度あるが, 鉄道会社の改札データによると 定期券利用は実際その程度利用があることがわかっている.

一方,通勤・通学を除いた検索回数のグラフを図7に示す。こちらも百分率で表している。非日常利用は通勤通学とは違い休校要請を出すなどした2月28日前後から急激に減少している。3月末の3連休頃にいったん緩んだようにも見えるが、緊急事態宣言の前後からより一層減少し最終的には、もともとの2割程度まで減っている。通勤・通学はもともとの4割程度までしか減少していないので不要不急の外出は控えられていると言ってもよいと思われる。

これらの検索ログの傾向が実際の公共交通の利用実態と整合しているかどうか検証することは非常に難しいが、報道されているニュースや東京都交通局が発表している週単位での改札通過回数のグラフ(表 2 [14])と比較すると大きいズレはないと考えられる.

4.1.2 駅別検索数

次に検索ログを駅別に集計し、どのような属性の駅 の利用動向が大きく変化したのか分析する。2月3~

	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時
2019/2月	0.9	0.2	0.1	5.7	0.3	1.1	3.5	7.7	9.2	7.5	5.3	4.3	4.7	4.0	3.6	3.7	4.2	5.7	6.9	5.9	4.9	4.2	3.6	2.9
2020/2月	0.9	0.3	0.1	5.9	0.3	1.0	3.2	6.9	9.1	7.7	5.2	4.4	4.9	3.8	3.4	3.5	4.3	5.6	8.1	6.3	4.9	4.1	3.5	2.7
2019/4月	0.9	0.2	0.1	5.7	0.2	1.1	3.7	9.1	11.0	7.5	5.3	3.8	4.5	3.6	3.3	3.3	4.0	5.6	6.8	5.8	4.4	4.1	3.4	2.8
2020/4月	0.8	0.3	0.2	7.5	0.4	1.7	5.0	8.9	9.5	8.3	5.1	4.3	4.3	3.4	3.1	3.3	4.1	5.7	7.3	5.6	4.3	3.0	2.3	1.6

図8 時間別検索割合

7日と4月20~24日の検索回数の減少率が大きい駅順に並べると表3のようになった.対象は首都圏のある程度大きな駅としている.上位は空港と観光地やイベント施設のある駅となった.特に成田空港を発着地としたリクエストはほぼゼロとなっていた.

4.1.3 時間別検索数

最後に検索される時間帯の変化を分析する. 図8は 2020 年 2 月と 2020 年 4 月の平日の時間帯別検索率 の割合を%表記で表している. たとえば 2019 年 2 月 は全体の検索の 0.9%が 0 時台に行われているという 意味である。3時台の検索が多いがこれは始発・終電 検索をここに含めているためである。季節変動を考慮 できるように 2019 年の検索率も併記した。2019 年と 2020年の2月のデータを比較すると新型コロナウイ ルスと関係ないユーザの行動の変化がわかる。大きく 変わった点は理由は不明だが18時台の検索が2020年 は多い. それを踏まえて 4 月の 2019 年と 2020 年の データを比較すると8時台の検索が減り、その前後の 時間の検索が増えていること、21時~23時の検索が 減っていることがわかる。これはオフピーク通勤が進 んだことと、飲み会などの自粛の影響によると考えら れる.

4.2 シミュレーション

大都市交通センサスは電車利用者にアンケートを取っており、その利用者の属性・出発地・目的地・時間帯に拡大係数がかけられ、のべ800万人分のOD需要データとしている。ここではさきほどの分析結果を出発地・目的地・時間帯ごとにその拡大係数に反映してシミュレーションを行った。シミュレーション結果は現在実際に乗換検索アプリ[15]に混雑度として表示されている。

平常時はシミュレーション結果が現実の混雑状況と一致しているか実地調査を行って確認しているが、現在の自粛ムードの中で通勤ラッシュを長時間調査するのは好ましくない、また鉄道会社で現在の混雑状況を公開しているのは首都圏新都市鉄道(つくばエクスプレス)のWEBサイトと一部の鉄道会社のアプリだけだと思われる。しかし鉄道会社各社ともに混雑状況を

	東急混雑度	Ē				
ナビタイム 混雑度	1	2	3	4	5	6
1	507	19	2	0	0	0
2	360	109	4	0	0	0
3	49	129	17	0	0	0
4	0	0	2	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0

図 9 混雑度精度検証

表すアイコンと混雑率の対応表は非公開のため、乗換検索アプリと比較することも難しい。ただその中では東急アプリのリアルタイム混雑度は乗換検索アプリと同じアイコンを使用しているため、東急アプリのリアルタイム混雑度がもっとも精度比較が容易である。そこで精度比較を試みた結果が図9である。

乗換検索アプリも東急アプリも混雑度を 6 段階で表 示しており、同じ列車の同じ駅発の混雑度を比較しそ の個数を集計した。 データは 2020 年 4 月 20 日のもの を使用している. 図はたとえば乗換検索アプリで混雑 度2のアイコンを表示する予定だったが、東急の測定 によると混雑度は1だった場合が計360回あったとい うことを表している. 事前のシミュレーションが一致 したケースは53%、予測と実測がアイコンで一段階違 うのケースが43%, アイコンで2段階以上離れている ケースが4%となった。乗換検索アプリでは予測より 現実のほうが混雑していた場合, その逆よりユーザの 不効用が大きいと考え、すこし混雑寄りにシミュレー ションしており、それが表の偏りに現れている。ほと んどのケースでは一致しているか、実際より1段階混 んでいる表示になっており、実用上はほぼ問題ない精 度で緊急事態宣言後の様子をシミュレーションできて いると考える.

5. まとめ

本稿では首都圏の列車の混雑を1本,1駅ごとに推 定できる「電車混雑予測」とイベントなどの突発的イ ベントの混雑も予測できる「駅混雑予報」について述 べた、また、電車混雑予測のシステムを応用すると新

2020 年 8 月号 (31) 449

型コロナウイルスの混雑への影響もシミュレーション 可能なことを示した. 今後は東京オリンピックに向け て混雑緩和を目標にこれらのシステムをさらに発展していくことなどが考えられる.

参考文献

- [1] 東京都、東京都知事特設ページ、https://www.yuriko. or.jp/senkyo/seisaku/ (2017 年 4 月 27 日閲覧)
- [2] 東京都,「快適通勤の実現に向けてムーブメントを展開」, https://www.jamstec.go.jp/es/jp/ (2017 年 4 月 27 日 間覧)
- [3] 厚生労働省、「新型コロナウイルス感染症対策の見解」、 https://www.mhlw.go.jp/content/10900000/00060600 0.pdf (2020 年 4 月 27 日閲覧)
- [4] 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)
- [5] 東急電鉄,「東急アプリ」, https://ii.tokyu.co.jp/toky usenapuri/ (2020 年 3 月 12 日閲覧)
- [6] 東武鉄道,「東武アプリ」, https://railway.tobu.co.jp/useful/app/ (2020 年 3 月 12 日閲覧)
- [7] 首都圏新都市鉄道,「朝ラッシュ時間帯の混雑状況」, http://www.mir.co.jp/service/other/rushhour.html

- (2020年3月12日閲覧)
- [8] 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.
- [9] 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)
- [10] 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**, pp. 85-108, 2005.
- [11] 国土交通省, 最混雑区間における混雑率, https://www.mlit.go.jp/common/001245349.pdf (2020 年 3 月 16 日間管)
- [12] 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, 38,2008.
- [13] 日本経済新聞(2020年3月10日)、「鉄道の定期利用 大幅減 JR 東など、テレワークで」、https://www.nikkei. com/article/DGKKZO56589170Z00C20A3TJ2000/
- [14] 東京都、新型コロナウイルス感染症対策サイト, https://stopcovid19.metro.tokyo.lg.jp/ (2020 年 4 月 29 日 問覧)
- [15] ナビタイムジャパン、NAVITIME、http://products. navitime.co.jp/service/navitime/ (2020 年 4 月 29 日 閲覧)