

自動改札データ等を活用した 号車単位乗降者数推定

山本 航介¹・小西 勇介²・坂入 整³

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 フロンティアサービス研究所
(〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479)

E-mail: kousuke-yamamoto@jreast.co.jp (Corresponding Author)

²非会員 東日本旅客鉄道株式会社 フロンティアサービス研究所
(〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479)

E-mail: yuusuke-konishi@jreast.co.jp

³非会員 東日本旅客鉄道株式会社 フロンティアサービス研究所
(〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町 2-479)

E-mail: sakairi@jreast.co.jp

鉄道利用実態を表す旅客流動データは、輸送計画やより良い駅空間づくりに向けた駅施設規模の設計だけでなく、鉄道ネットワークの特性を生かした駅・駅周辺等での各種サービス事業の最適化における活用が期待されており、これまで以上に詳細な旅客流動把握に対するニーズは高まっている。一方で現状、改札入出場時以外の改札内の動きを把握することは難しく、駅施設規模設計や各種サービス事業最適化等に求められる詳細な駅構内 OD データは把握しきれていない。

本稿では、自動改札データ・乗車人数データ・駅構内設備配置等に基づき、お客さまの改札内移動実態を詳細に推定する乗車車両選択モデルをロジットモデルにて構築した。精度やデータ補正等の課題は残るものの、号車単位での乗降者数の傾向を現地計測なしで推定可能となる方向性を示した。

Key Words: 旅客流動, 駅構内旅客流動, OD データ, ロジットモデル, 号車別乗降人員

1. はじめに

鉄道事業者は、鉄道ネットワークを利用した各種サービスの実施を通じ、多くのお客さまの移動と生活に関わっている。近年では、ICT の発達によって、日々生まれ続ける膨大な量の実績データの蓄積・分析・活用が可能となり、実績データ活用による、より信頼性の高い輸送サービスやより便利なサービスの企画・実現に寄与することが期待されている。このような実績データの中でもお客さまの鉄道利用の実態を表す旅客流動データは、安全・安定かつニーズに合った輸送計画・運用策定による輸送品質向上や、適正な規模の駅構内空間設計、鉄道ネットワークの特性を生かした駅・駅周辺・列車内などでの小売・飲食・広告などの各種サービス事業の最適化等での活用が期待されている。また、COVID-19 の世界的な流行によって、移動を含む生活全体に関するお客さまの価値観やニーズは大きく変化し、お客さまの鉄道利用の実態と将来傾向を正確にとらえることの重要性はますます増している。

そこで、本研究では、お客さまの流動実態を詳細に把

握するために、自動改札データ等に基づき各駅における列車・号車単位での乗降者数を推定するモデルを検討した結果を報告する。

2. 旅客流動把握に関する現在の課題

JR 東日本では、首都圏を中心に複雑な鉄道ネットワークを構成し、改札を出ることなく多方面に伸びる路線を乗換可能とすると共に、複数路線を直通する列車を設定することで、移動の利便性を高めている。一方で、このような複雑な鉄道ネットワークにおけるお客さまの移動実態は、自動改札機で取得可能な入出場駅とそれらの時刻帯を記録した OD データや、各列車に取り付けられた重量センサで取得できる乗車人数データ等の断片的なデータしか入手できず、お客さま毎の移動経路や実利用列車等の移動詳細を継続的に蓄積されるデータから把握することは難しい状況にある。

また、駅構内における移動実態については、各通路や階段・エスカレーター等の昇降設備における時間当たり通過人員を調査員によりカウントする、利用者にコンコ

ース上の特定箇所(昇降設備入口・改札付近等)でカードを配布し利用者の目的地で回収する等の計測手法が用いられている。しかし、大規模な駅になるほど多くの調査員が必要となり多額の流動調査費用を要する点や、駅構内 OD についてはカードの回収率の悪さ等により精度に懸念がある点等の課題がある。

前者の計測手法における課題解決のためにセンサーやカメラ映像による断面交通量計測手法の開発¹⁾や駅構内 OD 推定手法に関する研究²⁾等が行われているが、画角により計測精度が変化する点や、新たなカメラ/センサーの設置に費用を要する点、映像における個人情報保護等の課題がある。

そこで本研究では、現地及び映像等による計測や新規設備の設置を要さずに駅構内 OD を把握することが可能な推定手法を検討する。

3. 旅客流動推定手法の概要

前章の通り、お客さまの移動実態を 24 時間 365 日取得し蓄積可能なデータである自動改札機データ(以下、自動改札 OD)では図-1 のように、時間帯毎の改札入場・出場・券種の情報しか得ることができず、改札内でどのような経路を通して移動しているかは把握することは出来ない。一方で輸送計画や駅設備規模の算出、駅構内の店舗配置等の施策を検討する際には、改札入場～改札出場の移動実態を把握することが不可欠であり、それらのニーズは大きいと言える。

そこで、本研究では自動改札 OD データを図-2 に示すステップで分解することによりお客さまの移動実態を推定することとした。



図-1 自動改札 OD データで取得可能なデータ(例)

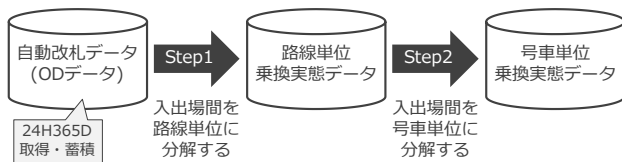


図-2 自動改札 OD データの分解ステップ

(1) Step1: 路線単位への分解

本 STEP では、入場駅・出場駅間の「あり得る当社線経由の乗換経路候補(図-3)」を乗換経路検索エンジンで生成し、乗車時間や乗換回数に基づいて算出可能な乗換経路候補毎の選択確率を用い、旅客 OD を集計すること

で OD データを路線単位に分解する手法³⁾を用いた。

この手法を用いることにより、各路線方面・時間帯毎に、各駅相互間の駅間 OD と各乗換駅における駅構内 OD を改札・路線方面間及び路線方面・路線方面間の粒度で推定することができる。各乗換駅における駅構内 OD 推定結果のイメージは以下の図-4 の通りである。

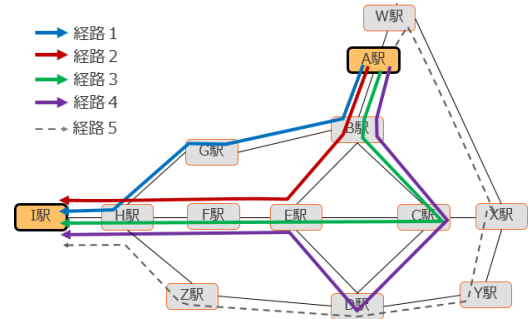


図-3 あり得る当社線経由の乗換経路候補抽出イメージ

時間帯	改札⇄各路線方面間OD推定値(人)				各路線方面⇄各路線方面間OD推定値(人)																
	改札A→A線	改札A→B線	改札A→C線	改札A→Z線	A線A線	A線B線	A線C線	A線Z線	B線A線	B線B線	B線C線	B線Z線	C線A線	C線B線	C線C線	C線Z線	Z線A線	Z線B線	Z線C線	Z線Z線	
4:00-4:15	10.89	14.67	13.20	18.39	0	8.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4:15-4:30	16.39	9.75	14.70	11.56	11.74	8.2	21.50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
4:30-4:45	24.06	9.37	27.45	14.30	23.72	11.86	24.42	8.23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
...
23:45-0:00	57.17	60.16	48.23	47.34	31.32	42.80	49.85	2.27	8.69	65.96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0:00-0:15	5.48	34.78	14.43	17.97	20.30	21.3	39.44	1.99	4.66	25.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0:15-0:30	1.71	28.39	1.86	7.61	18.42	37.81	26.44	1.09	0	51.77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

図-4 乗換駅における駅構内 OD 推定結果イメージ

(2) Step2: 列車・号車単位への分解

Step1 で路線単位に分解した OD データ(以下、乗換全量推定データ)を入力データとして、図-5 に示すような各乗車駅・降車駅におけるお客さまの乗車号車の選択行動をモデル化し、列車・号車単位へ乗換全量推定データを分解し、各駅間における号車単位乗降者数を推定する手法を検討した。詳細は次章にて述べる。

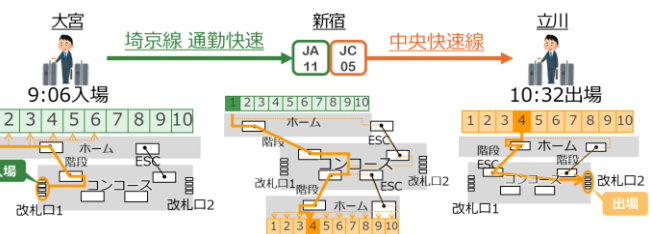


図-5 入出場間の各駅における乗車号車選択行動

4. 号車単位乗降者数推定手法

Step1 で分解した乗換全量推定データは運行路線・時間帯毎の駅間 OD 及び駅構内 OD である。本章では時間帯別の OD を列車単位及び号車単位に分解・推定する手法について検討結果を述べる。なお本研究では、推定手

法の基礎を検討するため埼京線(大崎～大宮)と山手線の2線区のみを対象とし、2021年11月30日の両線区における各種データを用いて検討を行う。なお、同日は終日大きなダイヤの乱れはなかった。

(1) 列車単位への分解手法

乗換全量推定データでは最小で15分単位での各OD推定結果を出力することが可能である。これらを各列車別に分解する方法を検討した。

同データの時間帯単位範囲に乗車駅を発車し、降車駅に停車する列車を列車ダイヤから特定し、特定した各列車に当該時間帯の旅客を分配する。分配形式として、案①単純な本数按分と、案②各列車の乗車人数による重みづけ配分の2通りを検討した。時間帯Tに列車1~4の4列車が運行している場合の駅i→駅jにおける乗車人数 $N_{(T,i,j)}$ を案②で按分する場合の例を図-6に示す。案①・②における各駅間における列車単位の推定乗車人数と実乗車人数データをプロットした結果は図-7の通りである。

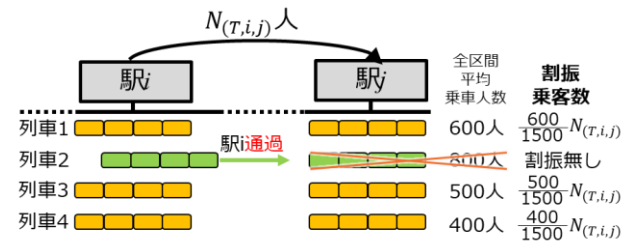


図-6 案②による列車単位乗車人数按分方法

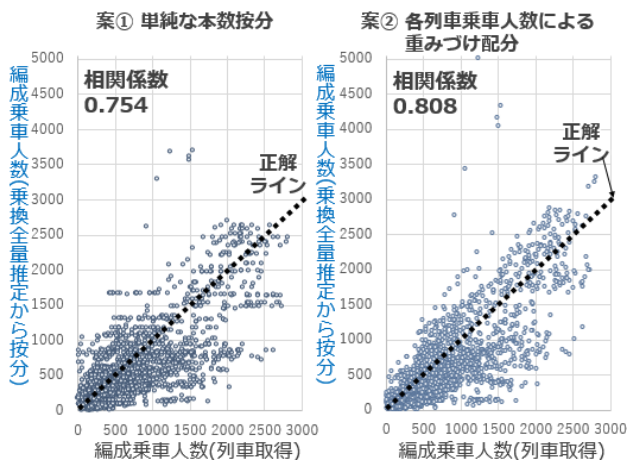


図-7 列車単位按分手法による編成単位乗車人数の比較

図-7の通り、案①より案②で按分した結果の方が相関係数が高く、時間帯・列車による誤差も考慮できる手法であることから、案②を採用することとした。

(2) 号車毎への分解手法(乗車車両選択モデルの構築)

前項にて分解した列車毎の各駅間 OD を更に号車別に分解する手法を検討する。

プラットホーム上での乗車位置の選択行動については、

1980年～1981年に国鉄東京第三工事局により行われた調査⁴⁾にて扉別乗降人数を回帰分析した結果、昇降設備を最大値とし昇降設備から離れるほど乗車人数が減少する指数関数に近似できることが明らかになっている。そこで本手法においては号車選択に寄与する項目として、乗車駅及び降車駅構内における移動コストを採用することとした。更に、列車到着時に混雑している号車への乗車は避ける傾向があると仮定し、乗車駅へ列車が到着した時の混雑率も要素として加えることとした。

駅構内における移動コストは、改札口等から各ホーム各号車への移動距離等に応じた一般化時間とし、国土技術政策総合研究所の調査⁵⁾による階段・エスカレータ等における等価時間係数のうち、各利用目的の平均値を採用し、各改札・車両間の移動コストを算出したものを用いる。また、列車到着時の混雑率は日々蓄積されている各駅間における列車乗車人数を用いて各車両の列車内乗客分担率を採用することとした。

上記の項目を説明変数として、ロジットモデルにて乗車車両選択モデルを構築する。車両kを選択する際の効用 U_k は、前述の要素を式(1)の通りに設定した。また、各車両の選択確率 P_k は式(2)の通りとなる。

$$U_k = V_k + \varepsilon_k = w_1 f_k^1 + w_2 f_k^2 + w_3 g_k + \varepsilon_k \quad (1)$$

f_k^1 : 車両kを選択した場合の乗車駅における移動コスト(一般化時間)

f_k^2 : 車両kを選択した場合の降車駅における移動コスト(一般化時間)

g_k : 乗車駅における列車乗車率

$w_{1\sim3}$: 各項目におけるパラメータ

ε_k : 誤差項

$$P_k = \frac{\exp(V_k)}{\sum_{j=1}^n \exp(V_j)} \quad (2)$$

n: 対象路線・列車における車両数

次に、各線及び各方面別に $w_{1\sim3}$ の各パラメータを推定する。本研究では、乗車車両選択に関する評価を抜き出すために、1列車における各車両の乗客分担率 S_{xak} に着目する。駅x発車時の列車aのk号車における乗客分担率 S_{xak} は式(3)のとおり示される。例えば、編成全体の乗車人数が1,600人の列車aにおいて1号車の乗車人数が160人であった場合は列車aの1号車における乗客分担率は10%となる。

$$S_{xak} = \frac{N_{xak}}{\sum_{i=1}^K N_{xai}} \quad (3)$$

N_{xak} : 駅x発車時の列車aのk号車における乗客数

K: 列車aの編成あたり車両数

各 OD 別にどの列車のどの車両に乗車したかという正解データを旅客追跡調査等で十分な数を取得することは非現実的であるため、式(4)のように、各列車毎に乗車車両選択モデルの推定結果から集計された駅x発車時の列車aのk号車における乗客分担率 $\tilde{S}_{xak}(w_1, w_2, w_3)$ と、各列車に取り付けられた重量センサで取得した乗車人数データから式(3)で算出された乗客分担率 S_{xak} の全サンプルにおける誤差二乗和 $V_{(w_1, w_2, w_3)}$ を算出し、 $V_{(w_1, w_2, w_3)}$ を最小とするパラメータ w_1, w_2, w_3 の組合せを最適解としてグリッドサーチ法にて推定を実施した。

$$V_{(w_1, w_2, w_3)} = \sum_x \sum_a \sum_k \{S_{xak} - \tilde{S}_{xak}(w_1, w_2, w_3)\}^2 \quad (4)$$

ここで、各路線・方向・時間帯毎に各パラメータの値に差が出ることを想定し、線区別に最適解を推定した。

埼京線では各方面別に全時間帯・朝時間帯(6:00~10:00)・夕時間帯(17:00~21:00)の3種の時間帯にて $V_{(w_1, w_2, w_3)}$ を最小とする w_1, w_2, w_3 の組合せを試行した。号車別・走行区間別の重量センサによる乗車人数は全ての列車では取得できないため各時間帯で同データを取得できた列車のみ採用している。試行の結果は表-1の通りである。

表-1 パラメータ推定結果(埼京線)

方面	南行			北行		
	全時間帯	朝時間帯	夕時間帯	全時間帯	朝時間帯	夕時間帯
w_1	-0.010	-0.005	-0.010	-0.010	-0.010	-0.005
w_2	-0.010	-0.005	-0.010	-0.020	-0.020	-0.020
w_3	-1.10	-0.10	0.00	-1.40	-1.25	-1.40
採用列車数	275	148	91	289	106	104

埼京線では、いずれの時間帯でも乗車駅における移動コストと降車駅における移動コストに対する感度が南行・北行で異なり、北行の利用者の方が降車駅移動コストに関する感度が高いことが読み取れる。また、乗車列車における乗車時の乗車率は朝ラッシュ時にピークを迎える南行では比較的影響度が小さく、逆向きとなる北行での乗車車両選択に及ぼす影響が大きいことが分かる。

山手線では朝時間帯(6:00~10:00)に限定し内・外回り別に $V_{(w_1, w_2, w_3)}$ を最小とする w_1, w_2, w_3 の組合せを試行した。試行の結果は表-2・3の通りである。本試行結果は対象の時間・列車を各方面・時間当たり5本に絞り、うち4本でパラメータ推定を試行した暫定推定結果となる。

内・外回りの Group 別にパラメータを見ると、数値は比較的安定しており、内回りは乗車駅における移動コストと乗車列車の混雑度に対する感度とが外回りよりも高く出ており、方面別に感度が異なることが山手線でも明らかとなった。

表-2 パラメータ推定結果(山手線内回り・朝時間帯)

方面	内回り					平均
	内A	内B	内C	内D	内E	
w_1	-0.020	-0.025	-0.020	-0.025	-0.020	-0.022
w_2	-0.010	-0.015	-0.015	-0.015	-0.010	-0.013
w_3	-2.00	-3.10	-2.60	-3.30	-1.90	-2.58
除外列車末尾番号	00G	02G	06G	60G	62G	—

※列車番号末尾 00G, 02G, 06G, 60G, 62G で当該時間帯に運転している各5列車計25本から、各末尾番号を1つずつ除外してパラメータを推定

表-3 パラメータ推定結果(山手線外回り・朝時間帯)

方面	外回り					平均
	外A	外B	外C	外D	外E	
w_1	-0.010	-0.015	-0.010	-0.010	-0.010	-0.011
w_2	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010	-0.010
w_3	-2.10	-2.50	-1.90	-1.90	-2.00	-2.08
除外列車末尾番号	05G	07G	09G	11G	61G	—

※列車番号末尾 05G, 07G, 09G, 11G, 61G の当該時間帯に運転している各5列車計25本から、各末尾番号を1つずつ除外してパラメータを推定

5. 乗車車両選択モデルの精度検証

(1) 埼京線モデルの精度検証

埼京線南行・北行の各時間帯別におけるパラメータ推定結果を用いた場合の乗客分担率の散布図を図-8に示す。縦軸が乗車人数推定モデルにおける各編成内乗客分担率 $\tilde{S}_{xak}(w_1, w_2, w_3)$ 、横軸が各列車の重量センサで取得した乗車人数データから算出した実乗客分担率 S_{xak} である。

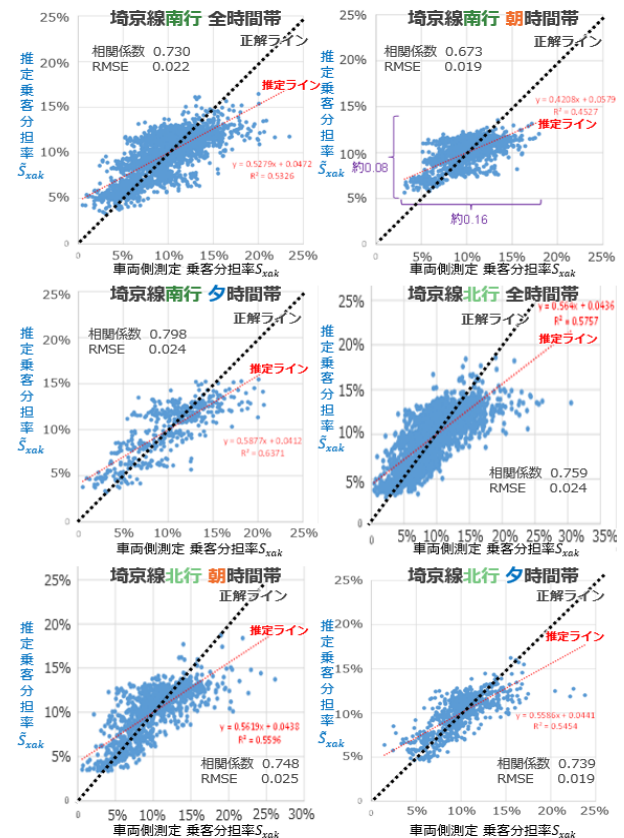


図-8 埼京線推定・車両側測定乗客分担率散布図

各モデルの相関係数は南行朝時間帯モデルを除き、0.7 以上を確保できており、乗客分担率の傾向はつかめるモデルとなっている。しかし、いずれのモデルも最大で乗客分担率 5%程度の誤差が生じている。また近似直線を見ると、傾きは正解となる 45° 線より寝ており、10両編成の各号車に均等に乗車している場合の乗客分担率10%付近を境に、実乗客分担率が低い場合は実乗客分担率より大きく、逆に実乗客分担率が高い場合は実乗客分担率より小さく推定している傾向がある。これらの要因として、編成全体での乗車人数が少ない列車について、乗客1人が乗客分担率に与える影響が大きく、推定分担率との差が大きくなること等が想定される。また、今回はデータ取得の都合上、特定1日かつ車両別乗車人数実績が取得可能であった列車における実乗客分担率と推定乗客分担率の突き合わせを行ったため、汎化性能に懸念がある上、閑散時間帯の乗客数にその日特有の偏りが生じた可能性も考えられる。今後、さらなる精度向上に向けて複数日における乗車人数実績データ取得や、モデルへの採用項目の検討、閑散時間帯の乗車人数ボリュームを考慮したモデル改良を実施していく必要がある。

(2) 山手線モデルの精度検証

内・外回り別のパラメータ推定結果のうち、表2・3右端の平均値におけるパラメータを用いた場合の推定・実乗車人数分担率の散布図を図9に示す。

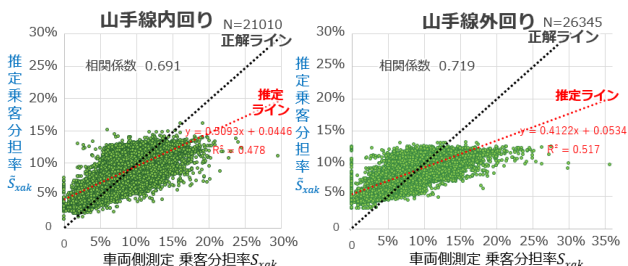


図9 山手線 推定・車両側測定乗客分担率散布図

相関係数は 0.7 前後となっており乗客分担率の傾向はつかめるモデルとなっている。しかし、埼京線と同様にいずれのモデルも最大で乗客分担率 5%から実乗車分担率が高い列車では 20%以上の誤差が生じている。また近似直線についても埼京線と同様に、傾きは正解となる 45° 線より寝ており、11両編成の各号車に均等に乗車している場合の乗客分担率 9%付近を境に、同分担率が低い場合は実乗車人数分担率より大きく、同分担率が高い場合は実乗車人数分担率より小さく推定している傾向がある。山手線については終日全列車における車両別乗車人数実績が取得可能であったことから、埼京線以上に乗車人数が少なく、乗車人数 0 人の車両も含まれていることから、乗客1人が乗客分担率に与える影響が大きい列

車の割合が多い点等が要因として想定される。今後、埼京線同様に時間帯別でのモデル検討や複数日における乗車人数実績データ取得、モデルへの採用項目の検討、閑散時間帯の乗車人数ボリュームを考慮したモデル改良を実施していく必要がある。

6. まとめと今後の課題

本研究では、現地及び映像等による計測や新規設備の設置を要せずに駅構内 OD を把握すべく、24時間 365日蓄積され続けている自動改札 OD データや列車単位乗車人数と駅構内旅客設備配置、列車停止位置等のデータより、改札入場～乗車駅駅構内移動経路～乗車車両選択～降車駅駅構内移動経路～改札出場の一連の改札内 OD を推定する手法を、埼京線・山手線を対象に乗車車両選択モデルを構築することで検討した。

今回構築した乗車車両選択モデルは相関係数 0.7 程度を示し、乗車車両選択の傾向をある程度把握可能なものとなった。一方で、乗客分担率での評価結果から、精度改良に向けては、時間帯別でのモデル検討やモデル汎化性の検証、複数日における乗車人数実績データ取得、モデルへの採用項目の検討、閑散時間帯の乗車人数ボリュームを考慮したモデル改良等の課題があることが分かった。

また、首都圏の路線網は非常に複雑かつ多くの種類の編成が走行しており、特に多路線が乗り入れる大規模ターミナル駅の駅構内に対応していくためには各路線の特性等にも対応する必要がある他、多くの路線における汎化性検証やモデルの組合せ検証も必要となる。適用範囲を広げた場合条件が非常に複雑となるが、既設のカメラ映像による断面交通量の自動計測結果やそれらのデータを用いた駅構内 OD 推定手法等の結果と組み合わせることで鉄道ネットワーク全体の移動実態ボリュームを正確に把握できるようになる可能性もある。

お客さまの移動実態ボリュームを把握できると、更なるプラットフォームや昇降設備をはじめとした、旅客設備規模算定の最適化に向けた検討や、近年普及率が大きく向上した交通系 IC カードのデータを用いたお客さまの属性を考慮した流動実態把握も可能となり、輸送計画や施設計画だけでなくマーケティング等にも活用できる。

今後もお客さまの移動実態の把握を通じて、より安心・快適かつお客さまのニーズに応えた鉄道利用空間の構築・企画に活かしていく。

参考文献

- 1) 柴田宗典, 石突光隆, 対馬銀河: 断面交通量に基づく OD 交通量推計モデルの比較分析 - 駅構内における OD 交通量自動推計の実現に向けて -, 鉄道工学シンポジウム論文集, No.24, pp.57-64, 2020
- 2) 柴田宗典, 石突光隆, 対馬銀河: 駅改良のための構内における旅客の分布交通量推計手法, 鉄道総研報告, Vol.35, No.7, pp.47-52, 2021
- 3) F. Tsunoda et al.: Customer-Oriented Evaluation Method of Railway Performance, 6th International Conference on Railway Operations Modelling and Analysis, Rail Tokyo 2015, 2015
- 4) 西山秋二ら: 旅客設備規模算定式に関する調査(その2), 東三工 第 10 号, pp.37-55, 1981
- 5) 塚田幸広ら: 一般化時間による交通結節点の利便性評価手法, ISSN 1346-7328 国土技術政策総合研究所資料 第 297 号, 2006

ESTIMATION OF NUMBER OF PASSENGERS GETTING ON AND OFF PER CAR UNIT

Kosuke YAMAMOTO, Yusuke KONISHI and Sei SAKAIRI

Passenger flow data is used not only for transport planning and designing station facility scales to construct more comfortable stations, but also for marketing that take advantage of the characteristics of the railway network. It is expected that it will be used in industrialization. Therefore, there is a growing need for a more detailed understanding of passenger's behavior than ever before. On the other hand, it is difficult to grasp the behavior inside the ticket gate, and the detailed OD data required for station facility scale design and business in stations is too.

In this research, in order to estimate the details of the movement of customers inside the ticket gate, we try to make a boarding vehicle selection model by the logit model using automatic ticket gate data, number of passengers data, station equipment layout, etc.

Although the model still has issues such as accuracy improvement, the possibility of estimating the number of passengers getting on and off per car unit and the OD in the station without on-site measurements was shown.

Key Words : *passenger flow, passenger flow in stations, OD data, logit model, number of passengers getting on and off per car unit*