

都市鉄道における駅停車時分増大の ビデオ映像データを用いた実態把握と 抑制策への示唆

北山 由奈¹・日比野 直彦²・森地 茂³・家田 仁⁴

¹正会員 東京地下鉄株式会社 改良建設部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)

E-mail:y.kitayama.b7r@tokyometro.jp

²正会員 政策研究大学院大学准教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail:hibino@grips.ac.jp

³名誉会員 政策研究大学院大学教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail:smorichi.pl@grips.ac.jp

⁴フェロー会員 政策研究大学院大学教授 大学院政策研究科 (〒106-8677 東京都港区六本木 7-22-1)

E-mail:ieda@grips.ac.jp

駅停車時分は、乗降客数や列車内混雑率など、数々の要因が複合的に変動することにより増大している。しかしながら旅客の乗降行動に関するデータが不足しており、増大メカニズムの解明には至っておらず、鉄道事業者にはまだ打つべき対策が残されている。本研究では、駅停車時分増大抑制の現況策と課題を整理するとともに、駅停車時分に影響を及ぼす旅客行動をデータに基づいて明らかにし、更なる増大抑制に向けた改善策を提案することを目的としており、1) 鉄道駅踏査及び鉄道事業者へのインタビューを通し、現況策の課題の考察を行い、2) 駅停車時分における個々の旅客の乗降行動を、調査にて取得したビデオ映像に基づいて分析する。分析結果より、旅客行動に起因する駅停車時分の増大要因及び更なる増大抑制策において考慮すべき点を明らかにしている。

Key Words : train station, train's delay, behaviors of passengers, getting on and off time, video data, congestion rate

1. はじめに

(1) 本研究の背景と目的

我が国の都市鉄道は、都市の発展に伴い輸送力増強や混雑緩和を目的に新線建設、複々線化、高架化等が進められ、高頻度運行を実現している。また鉄道各社間における相互直通運転の実施により、広域的なネットワークを形成し、輸送サービスの向上が図られてきた。しかしながら、これらの施策はその効果の反面、高頻度運行によって列車間隔が狭まり、わずかな停車時分の増大が遅延の発生や増大につながり、後続列車へ波及していくという副作用により通勤時間帯の慢性的な遅延をもたらし、近年の首都圏の鉄道における課題となっている。列車遅延の発生及び増大の要因としては主に、駅間走行時分の増大と駅停車時分の増大が挙げられる。列車遅延の抑制のためには、これらの発生及び増大のメカニズムについて詳細に把握する必要がある。しかしながら、駅

停車時分の増大は列車の発着間隔に伴う乗車客数の変動や混雑率等、変動要因となる現象が多数存在し、かつ様々な現象が複合的に起こることにより引き起こされている。また、分析に必要な旅客の乗降行動に関するデータについても不足しているため、増大のメカニズム解明には至っていない。駅間走行時分の抑制策としては信号設備の改良、列車の折り返し・待避設備の設置等の施設の改良が数多く行われている。一方で、駅停車時分の抑制策はホーム拡幅、昇降設備改良、列車停止位置の変更等の対策が施されている。しかしながら、これらは中長期的な計画となることが多く、高コストであり、対策可能な箇所が限定される。そのため、多くの駅においてはホーム整理等の人の手に頼った対策に留まっており、駅停車時分の遅れを駅間走行時分による回復に頼っているという実態がある。したがって、駅停車時分抑制には更なる対応策が必要であり、鉄道事業者にはまだ打つべき対策が残されている。本研究では、駅停車時分増大抑制

の現況策と課題を整理するとともに、駅停車時分に影響を及ぼす旅客行動の実態をデータに基づいて明らかにし、更なる増大抑制に向けた改善策を提案することを目的とする。

(2) 既往研究のレビュー

a) 都市鉄道が抱える課題

近年、都市鉄道が抱える課題に関する研究として、鉄道局⁹⁾では駅の混雑に関して駅の快適性を評価する6つの混雑指標（移動速度、混雑比率、コンコース交錯箇所密度、滞留損失時間、降車客平均捌け時間・捌け率、ホーム密集率）を提案するとともに、混雑している駅を端的にとらえるためにこれらの総合化について検討を行っている。また仮屋崎ら¹⁰⁾は、都市鉄道における列車遅延の拡大について、実態の把握と駅停車時分の増加が後続列車に及ぼす影響の分析からその発生と波及のメカニズムを明らかにし、遅延の抑制方法及び早期回復方法について提案している。さらに、横田¹¹⁾は、都市鉄道が抱える政策課題の解決に向けて「量的整備（輸送力増強）」に加え、「質的整備（利便性向上）」の重要性を指摘し、都市鉄道等利便増進法の制度改善に向けた制度上の問題点を「制度全般」、「地方自治体」、「整備主体」、「営業主」の4つの視点から明確にした上で、同法の活用促進方策の可能性を検討している。

b) 鉄道駅構内の旅客流動及び挙動に関する研究

中¹²⁾は、鉄道駅において交差及び交錯流動の観測・分析を行い、交差・交錯流動の構造について解明し、そのグループ化現象及び影響範囲について言及している。松下¹³⁾は、歩行者の挙動の中でも待ち行動に着目し、待ち行動をそれぞれの行動特性に従い、切符売り場等のカウンター型、駅改札口等のラッチ型、列車扉等の乗降口型に分類し、待ち行列への接近から退去までの歩行状態とその遷移の契機についてアルゴリズムを述べ、モデルの構築を試みている。高柳ら¹⁴⁾は、2つの群集流動が交差する地点での歩行者の確保領域を可視化し、群集流動を集団の数・交差の方向で分類することにより、異方向へ進む歩行小集団は他の集団の領域を切断する現象が起こることや集団の中に発生した隙間は形を保って集団と共に進行方向へ流れていくことを明らかにしている。また熊倉ら¹⁵⁾は、歩行者の流動と立ち止まり行動の関係を7つの指標（進入時の視野、流動の密度、流動の方向性、流動の方向転換率、流動影響要素の時間平均、隙間領域の面積、隙間領域の境までの距離）についてモデル化している。福田ら¹⁶⁾は、鉄道駅整備の際には通路の幅員や面積、階段等の物理的な移動抵抗の軽減に加え、旅客の流れ等の流動的な移動抵抗の軽減の必要性を指摘しており、混雑した2方向の歩行者流において見られる交差現象を再現できるアルゴリズムについて検討している。浅

野ら¹⁷⁾は、周辺歩行者の直近の将来の行動を予測した上で自己の行動を決定する歩行者シミュレーションモデルを提案し、異なる交差角度、交通量、歩行者速度の混合交通など多様な混雑流を人為的に発生させる歩行者流動実験により、モデルの妥当性検証を行っている。さらに日比野ら¹⁸⁾は、鉄道駅構内における歩行者データの効率的な取得方法について検討を行うとともに、監視カメラの活用を想定した歩行者流動調査により取得したビデオ映像を用い、最新情報処理技術による歩行者挙動の分析について提案している。

c) 旅客の乗降行動に関する研究

上松ら¹⁹⁾は、実地調査により得られた乗降時分及び乗降人員から、駅停車時分内の乗降時分及び扉通過時分を推定するモデルをマルチエージェントシミュレーションによって構築している。高橋ら²⁰⁾は、乗降時分に影響する要素として、旅客の乗車速度に着目し、駅ホーム映像から2次元動画計測ソフトを用いて乗車速度を計測している。計測結果から、それらを性別、年齢、ながら乗車の旅客属性ごとに比較し、乗降時分の長時間化に与える影響について明らかにしている。また稲木ら²¹⁾は、既存の乗降時分を推定するシミュレータの課題を指摘し、乗車位置選択や他の旅客の流動に対して選択する行動等の個々の旅客の目的や嗜好の違いを反映させた行動や、列車の停止位置、車両のドア幅や数、階段位置といった環境の違いによる影響を加味したシミュレータの開発に取り組んでいる。

(3) 本研究の位置づけ

東京圏の鉄道における慢性的な列車遅延は未だに解消されていない。今後も東京オリンピック、リニア開通等を見据えた都市開発はますます活性化するとともに、鉄道駅の混雑は進むと予想され、問題はさらに深刻化すると考えられる。しかしながら、駅構内における旅客の行動については、ホーム及びコンコース等における旅客行動に関しては数多く研究がなされているが、列車の乗降に関する旅客行動について明らかにしたものはまだ少ない。また、列車遅延に関する研究については、走行時分の増大に関する研究が多く、これまでなされた駅停車時分の増大に関する研究においても、ビデオ映像データに基づいて個々の旅客の乗降行動を観測し、明らかにしたものは少ない。さらにいずれも各駅の条件の違いは考慮されていない。

以上より本研究を、駅停車時分の増大に着目し、現況の抑制策を整理するとともに、調査により取得したビデオ映像から個々の旅客の列車乗降行動が乗降時分増大に与える影響について実証分析を行い、更なる増大抑制に向けた改善策を示唆する政策研究と位置づける。

2. 分析データ

(1) 分析データの概要

駅停車時分は、その主な変動要因である旅客行動を観測するデータが不足しており、これまで詳細な分析が難しいとされてきた。本研究では、複数のデータから現況策の課題抽出及び旅客行動の分析を行う。主に映像データから旅客行動及び駅混雑状況の把握、混雑率データによる列車内混雑状況の把握、駅踏査結果及び鉄道事業者へのインタビュー調査結果から事業者対応の把握を行っている。映像データ及び混雑率データの取得を目的として行った鉄道駅における旅客乗降行動調査、駅踏査、鉄道事業者へのインタビュー調査の概要について示す。

(2) 鉄道駅における旅客乗降行動調査

a) 調査対象駅の選定

本調査は東京メトロ所管179駅より4駅を抽出し、実施する。調査概要を表-1に示す。まずは都市鉄道、特に東京メトロが運営する9路線の中でも、混雑率データ採取

可能な車両の走行割合が比較的高い銀座線において、乗降比率の異なる複数駅を調査する。対象駅は表参道駅及び溜池山王駅（いずれも浅草方面）の2駅を選定する。表参道駅は乗車客が中心であり、溜池山王駅は降車客及び乗車客ともに多い駅となっている。また、ホームドア設置駅の中から降車客及び乗車客ともに多い有楽町線池袋駅

表-1 乗降行動調査概要

対象駅	対象日	対象時間帯
銀座線 表参道駅 (浅草方面)	12月9日 (火)	7:30 ~ 9:30
	12月11日 (木)	7:30 ~ 9:30
銀座線 溜池山王駅 (浅草方面)	12月9日 (火)	7:30 ~ 9:30
	12月11日 (木)	7:30 ~ 9:30
有楽町線 池袋駅 (新木場方面)	12月2日 (火)	7:30 ~ 9:30
丸ノ内線 東京駅 (荻窪方面 及び池袋方面)	12月1日 (月)	10:00 ~ 14:00

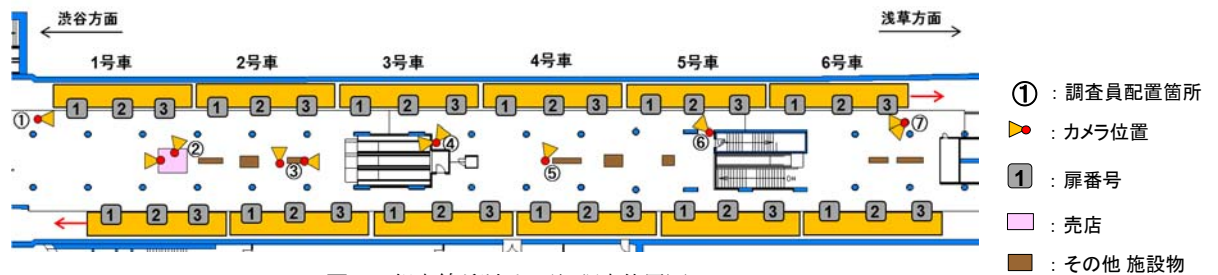


図-1 銀座線溜池山王駅調査位置図

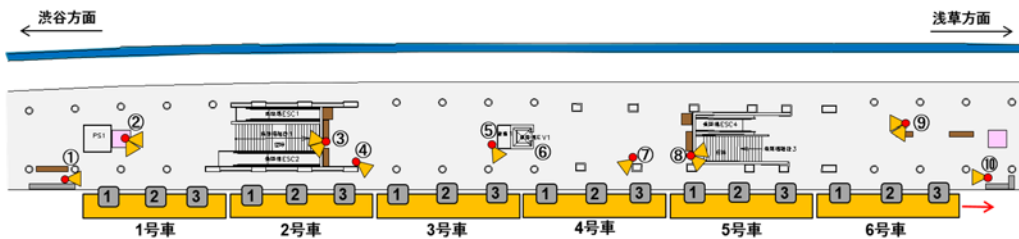


図-2 銀座線表参道駅調査位置図

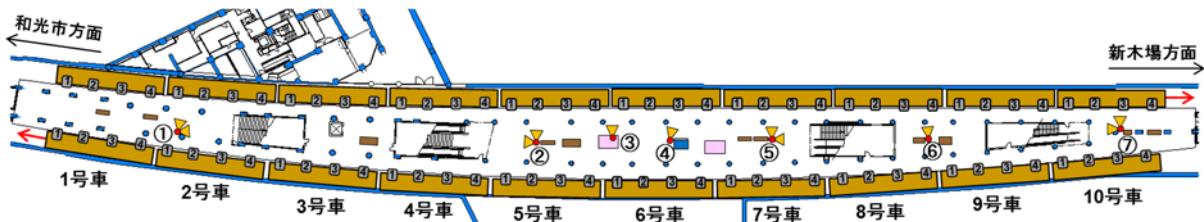


図-3 有楽町線池袋駅調査位置図

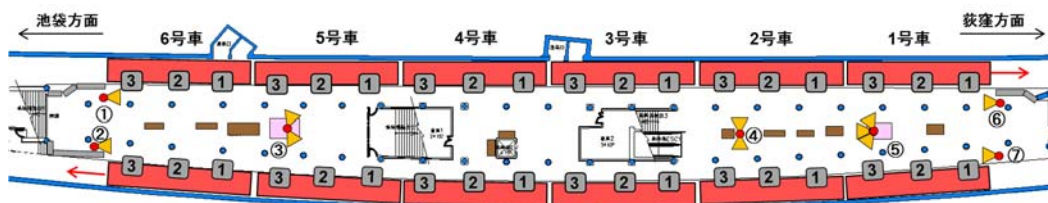


図-4 丸ノ内線東京駅調査位置図

袋駅（新木場方面）を、昼間時間帯における調査対象として、他駅に比べてキャリーケース利用客等の多様な旅客が乗降している丸ノ内線東京駅（荻窪方面及び池袋方面）を選定し、調査を行う。

b) 調査方法

各駅におけるカメラ及び調査員配置を図-1～図-4に示す。各駅ホーム上にてビデオカメラによる旅客行動の撮影を行う。調査時間帯は、銀座線 2 駅及び有楽町線池袋駅については朝ラッシュ時の 7:30～9:30、丸ノ内線東京駅については昼間時間帯の 10:00～14:00 とする。列車の扉及び昇降設備付近の旅客行動を撮影するカメラを、各駅にそれぞれ 11～13 台設置し、各位置に安全監視を行う調査員を配置する。

c) 取得したデータ

調査により取得した映像データは、銀座線 2 駅においては各駅約 100～120 編成分、有楽町線池袋駅においては約 30～40 編成分、丸ノ内線東京駅においては約 40～70 編成分であり、各駅約 15～20 扉の撮影を行っている。したがって、取得した乗降行動の映像は、朝ラッシュ時間帯が約 3300 ケース、昼間時間帯が約 900 ケース、合計約 4200 ケース分にのぼる。これらの映像から、旅客行動について計測を行う。朝ラッシュ時間帯の調査については、車両両荷重装置から算出される混雑率についてもデータを採取する。本データは各編成における、各号車の混雑率を 5 秒刻みで記録している。銀座線においては 12 月 9 日 7:30～9:30 に調査対象駅を発着した列車のうち約半数を占める 27 編成分、有楽町線においては 12 月 2 日 7:30～9:30 に池袋駅を発着した列車のうち 6 編成分の混雑率を取得している。

(3) 駅踏査

旅客行動への鉄道事業者の対応の実態把握を目的とし、東京メトロ所管 3 路線約 60 駅において現地踏査を行う。本踏査においては、各駅における整列表示（列数、表示位置等）及び旅客滞留・混雑への対策に関する表示（立ち止まり禁止、整流表示等）の整備状況について記録及び写真撮影を行う。

(4) 鉄道事業者へのインタビュー調査

駅停車時分抑制策に関する計画立案及び実施体制の実態把握を目的とし、鉄道事業者（東京メトロ）へインタビュー調査を行う。インタビュー対象は、駅構内及び列車内の旅客行動に特に密接に関わる営業部門及び車両部門とし、計 5 名にインタビューを行う。インタビュー事項は、駅停車時分の増大抑制に対して各部門で行っている現況策について、その導入経緯や実施体制、各対策のメリット及びデメリットと課題とする。また今後の対策について、検討を行っている内容と課題とする。

3. 駅停車時分増大抑制策の現況と課題

(1) 駅停車時分の構成と定義

本研究においては、駅停車時分のうち開扉～閉扉までの時間を「乗降時分」、閉扉時に荷物・衣類・旅客の挟まれへの対応、及びかけこみ等による再開扉により発生する時間を「突発対応時分」、停車～開扉まで及び閉扉～発車までに鉄道事業者が安全確認を行う時間を「確認時分」と定義する。各時分の構成を図-5に示す。

(2) 駅停車時分の増大要因

駅停車時分を構成する各時分の増大要因を表-2に示す。乗降時分は乗降客数の増加、及び旅客 1 人当たりにかかる乗降時分が増大する現象が複合的に起こり、増大している。突発対応時分は、事業者による「再開扉」の発生、及び手で扉を開くことにより旅客等の挟まれた対象を車内に収める「手動介入による対応」の発生により増大している。これらは旅客やその衣類または荷物が挟まれた際、及び閉扉直前または閉扉中に旅客によるかけこみが起こった際に発生している。また確認時分はホームドアのオペレーション時間、事業者の確認合図に時間を要し増大している。したがって、駅停車時分のうち、乗降時分及び突発対応時分の増大は旅客の行動に起因しており、駅停車時分の増大抑制のためにはこれらの時分における旅客行動の詳細把握が必要不可欠である。

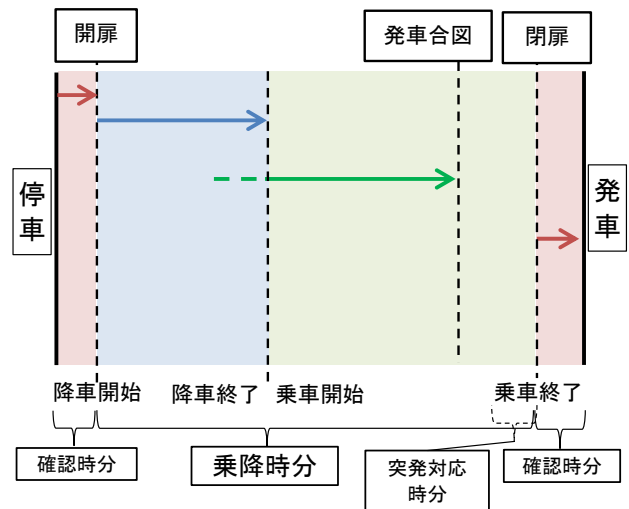


図-5 駅停車時分の構成

表-2 駅停車時分の増大要因

増大時分	増大要因
乗降時分	乗降客数の増大 1人当たり乗降時分の増大
突発対応時分	再開扉の発生 手動介入による対応の発生
確認時分	ホームドアのオペレーション時間 事業者の確認合図手法

表-3 各部門による駅停車時分抑制策

対応部門	対策
施設 (土木・建築・電気)	駅改良 (昇降設備改良・新設, ホーム拡幅等)
車両	ワイドドア車
	多扉車
運転	運行間隔調整
営業	ホーム整理 (要員配置, 整列・整流)
	分散乗車への声かけ
	かけこみ制止要員の配置 (突発対応時分への対策)

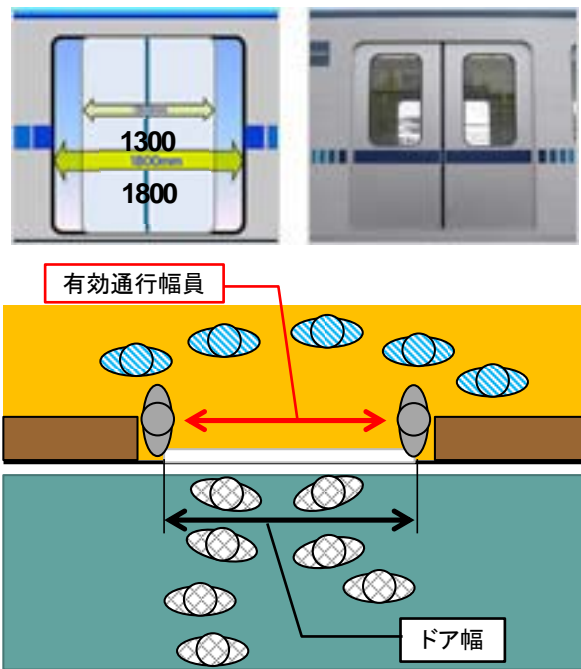


図-6 ワイドドア車

(3) 駅停車時分増大抑制のための現況策

乗降時分及び突発対応時分の増大抑制のため、鉄道事業者が施している種々の現況策を部門別に表-3 に示す。駅停車時分の増大抑制に当たっては、これら現況策のうち、施設部門による駅改良が特に効果が高いとされている。しかしながら駅改良は中長期的計画となることが多く高コストであり、施工場所の制約等も受けることから対策可能な箇所は限定的である。したがって、本章においては車両部門、運転部門、営業部門が行っている各対策について考察し、課題を整理する。

a) ワイドドア車 (車両部門)

車両部門においては通常車両に比べ、ドア幅を拡幅したワイドドア車を導入し、乗降時分の低減を図っている。概要を図-6 に示す。本対策ではドア幅を拡幅したにも関わらず、扉脇のスペースに旅客が立つことにより、ドア幅に対して実際の有効通行幅員が縮小し、対策の効果が最大限発揮されていない。これまで車両設計においては座席数やドア幅からまず検討され、扉脇のスペースの寸法はこれらの決定後に、残された寸法を割り当てられることが多く、車内における個々の旅客行動を考慮した設計はなされていないため、このような事象が発生している。今後は旅客行動の把握を進めるとともに、車内の旅客が乗降客の流動を可能な限り阻害しないよう、車両構造の検討を行う必要がある。例えば本事象においては、座席数を減らし、扉脇には旅客が立った際にもドア幅を侵さない程度のスペースを確保するという対応策が挙げられる。

b) 運行間隔の調整 (運転部門)

運転部門では、特定編成への乗車客の集中を防ぐため、可能な限り運行間隔を等間隔とする調整が行われている。

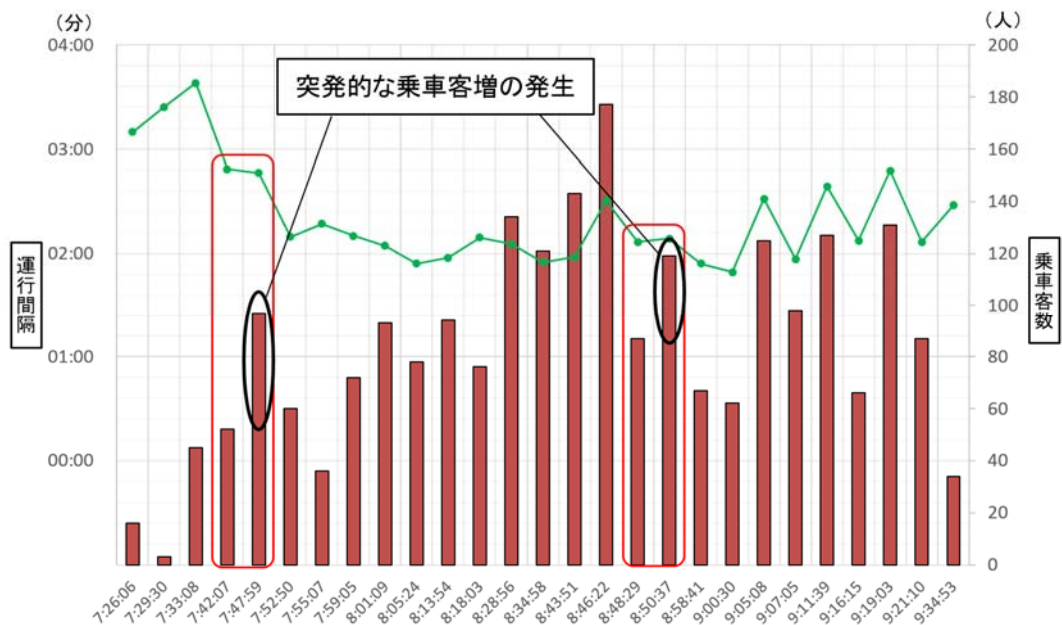


図-7 運行間隔と乗車客数実績 (溜池山王駅)

これは運行間隔と駅における乗車待ち客数は概ね比例するという経験則に基づいた対策である。ここで溜池山王駅を調査時間帯に発着した 27 編成において前列車到着～当該列車到着までの運行間隔及び各編成の乗降客数を計測した結果を図-7 に示す。計測結果から上記の比例関係が見られる編成が存在する一方で、運行間隔が概ね同間隔であるにもかかわらず、突発的な乗車客の増大が発生している編成が見られ、経験則に基づく対策のみでは乗降客数の増大に対応しきれないケースが存在している。このようなケースに対しては、各編成において次駅混雑状況の把握を可能にし、臨機応変に列車の追い込みができるよう整備することにより、駅停車時分のみならず、駅間走行時分の抑制効果も期待できると考えられる。

c) ホーム整理（営業部門）

営業部門においてはホームにおける旅客流動の整理策として、整列及び整流や混雑扉への要員の配置等が行われている。ホーム整理実施状況を図-8 に示す。これらの対策は各駅の判断により「現場の経験則」に基づいて行われており、駅毎に対策精度に差が出ている。特に整列に関しては、旅客の立ち位置が明確に表示されている駅、乗車位置のみの表示のため先頭客以外はまばらに旅客が立っている駅等、表示物の整備状況による差が顕著に見られる。しかしながら、一部の駅では次発列車待ち列を分離しており、乗車開始後に次発列車待ち客が先発列車乗車客の流動を阻害する事象を防いでいる。このような策は乗車客が多い他駅においても有用であるにもかかわらず、積極的に水平展開されておらず、一部の駅での運用に留まっている。また、駅全体を俯瞰的に見た旅客流動に関する情報（旅客集中箇所及び時間帯等）は各駅にて把握可能であるが、一方で、これらを構成する個々の旅客行動については把握が困難である。したがって、個々の旅客行動が乗降時分に与える影響や増大抑制策については提案及び検証を行っていないという現状がある。駅停車時分の更なる増大抑制のためには、これらを実観測に基づいて詳細に分析するとともに、各駅に適した整列・整流、要員配置の提案・検証、成功事例の類似駅への水平展開を行う体制の整備が必要である。

(4) 駅停車時分増大抑制策の主な課題

鉄道事業者が行っている現況策にはいずれも個々の旅客行動への着眼が不足しており、また現場に依存した経験則に基づいた対策が中心となっていると言える。したがって、旅客行動の実績データの蓄積・活用も進んでおらず、これらに基づいた対策の提案が進んでいない。現在、鉄道事業者が有する駅における旅客行動に関するデータは、自動改札機における入出場記録及び出入口・通路・昇降設備における流動量調査記録等が挙げられるが、



図-8 ホーム整理実施状況

いずれも旅客数の単純集計に留まるものであり、行動の実観測に必要な映像データの蓄積・活用は行われていない。また列車内における旅客行動に関するデータについては、車両応荷重装置を利用し算出される各車両内の混雑率が存在する。これは導入済みの車両においては5秒ごとに算出されている有用なデータであるが、採取のためには各編成まで赴かねばならず、また一定期間を過ぎると新たなデータの追加により消えてしまうという課題があり、定常的な蓄積はなされていない。このことから現在の鉄道事業者には、個々の旅客行動に着目した駅停車時分増大抑制策が必要であるという意識が定着していないと言える。

4. 映像データを用いた旅客行動分析

(1) 旅客行動の分析対象

鉄道駅構内における旅客乗降行動調査により取得した映像データから、個々の旅客行動が乗降時分増大に与える影響について分析を行う。分析対象は乗降時分に行われた旅客行動とし、各編成における「乗降客数」及び「旅客1人当たりの乗降時分」を計測する。本研究においては、前客が乗降してから当該客が乗降完了するまでにかかる時分を1人当たりの乗降時分として計測する。

(2) 最後に旅客が乗降する扉

12月9日朝ラッシュ時における溜池山王駅の映像データから、最後に旅客が乗降する扉の位置と、その最後の

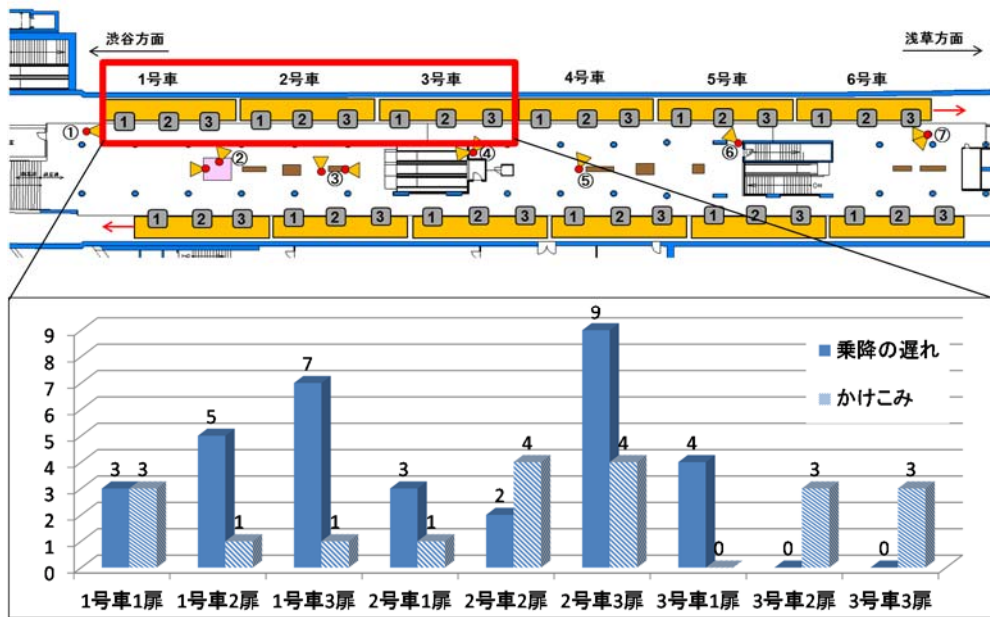


図-9 最後に旅客が乗降する扉

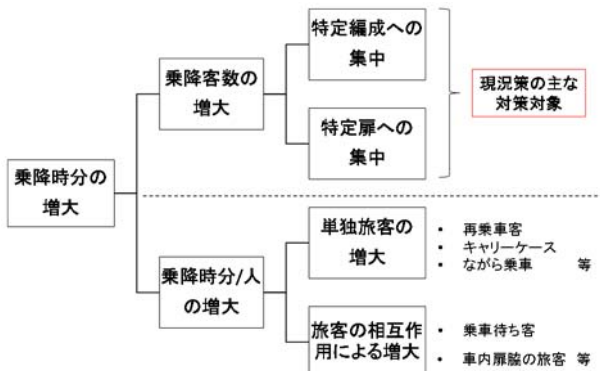


図-10 乗降時分の増大要因

乗降客の行動の観測を、各編成において行う。観測結果を図-9に示す。最後に旅客が乗降する扉の発生位置は、概ね後方3両に集中している。これらの扉において、かけこみはランダムに発生している様子が見て取れる。一方、乗降の遅れは約 6.5 割が、昇降設備や乗換路線との連絡通路から2扉以内に位置し、乗降客が集中しやすいと考えられる扉（1号車1及び2扉、2号車3扉及び3号車1扉）において発生している。しかしながら、これらの条件にあてはまらない約 3.5 割の扉においても、乗降の遅れが見られる編成が存在している。したがって更なる乗降時分の増大抑制のためには、これまで乗降が遅くなりがちであると考えられてきた「乗降客が集中しやすい扉」だけでなく、それ以外の要因により乗降が遅れている他の扉においても、どのような旅客行動なされているのか把握する必要がある。

(3) 乗降時分の増大要因

乗降時分の増大要因を図-10に示す。乗降時分の増大

要因は各扉における1回当たりの乗降客数が増加する「乗降客数の増大」及び旅客1人当たりの乗降に時間を要する「1人当たり乗降時分の増大」に大別される。

a) 乗降客数の増大

乗降客数の増大は、運行間隔等により1編成当たりの乗降客数が増大する「特定編成への集中」、及び旅客が駅構造等を加味し、乗降位置を選択することにより、特定の扉において乗降客数が増大する「特定扉への集中」により引き起こされている。現況の抑制策は、運行間隔の調整をはじめ、これらの現象への対策が主となっている。ここで、1回当たりの乗降客数とその乗降における1人当たり平均乗降時分の関係について、降車を図-11、乗車を図-12に示す。1点が1回（1編成1扉）の乗降を示している。降車及び乗車ともに、1回当たりの乗降客数が増大するにつれて1人当たり乗降時分は収束する傾向が見てとれる。したがって、1回当たりの乗降客数が多少増加しても乗降時分は大きく増加しないと推察されるが、実態は乗降時分増大が慢性的に発生している。このことから、乗降時分の増大は複合的な要因によって発生しており、乗降客数増大への対応だけでは不十分であることは明らかである。

b) 1人当たり乗降時分の増大

1人当たり乗降時分の増大要因としては、再乗車客、ながら乗降客、キャリーケース利用客等の単独旅客が発端となり速度低下を起こしている「単独旅客による乗降時分増大」、及びある旅客または旅客集団が他の旅客の流動に影響を与えることによって乗降時分が増大する「旅客の相互作用による乗降時分増大」が挙げられる。後者は特に影響する旅客数が多く、朝ラッシュ時等の混雑時において影響が顕著に現れる。その発生要因は、単

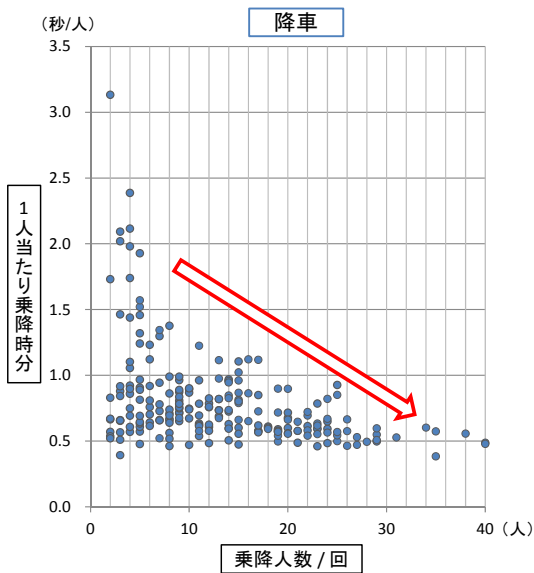


図-11 降車客数増大による降車時分/人の変化

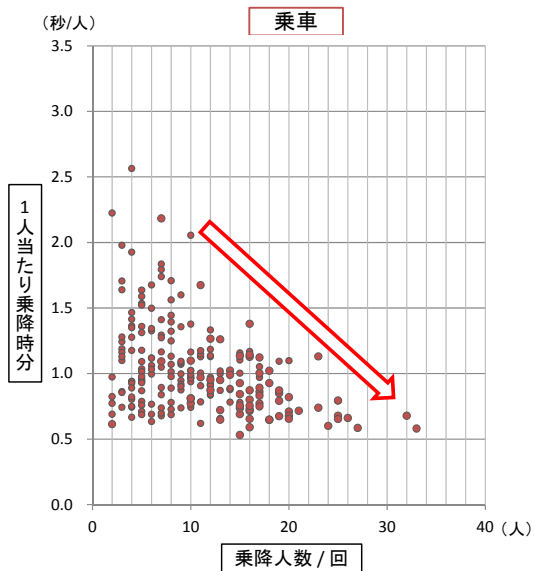


図-12 乗車客数増大による乗車時分/人の変化

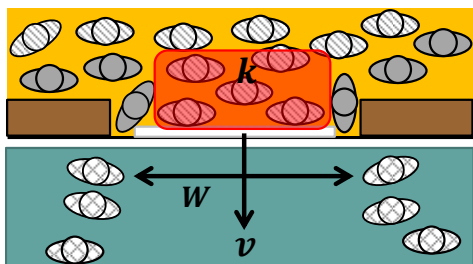


図-13 単位時間当たりの乗降客

単位時間における乗降客の流量が減少する「単位時間当たり乗降客数の減少」、及び降車流または乗車流に抵抗する旅客（降車終了前に乗車する旅客、乗車開始後に降車する旅客、再乗車を拒む旅客等）が発生する「旅客の交錯」に大別される。これらのうち、特に発生頻度が高い「単位時間当たり乗降客数の減少」について、考察する。

(4) 単位時間当たり乗降客数の減少

単位時間当たり乗降客数を構成する各指標を図-13に示す。流動の能率を示す指標である流率 f (人/秒)は、ある単位幅の断面を単位時間当たり通過する流動量を示し、その断面における旅客密度 k (人/㎡)、及び各旅客が断面を通行する速度 v (m/秒)を用い、式(1a)により表される¹⁴⁾。

$$f = k \times v \quad (1a)$$

k : 旅客密度(人/㎡)

v : 通行速度(m/秒)

旅客は周辺が空いている状態では自由歩行速度で通行できる。また、混雑してくると多くの旅客が一定の決まった速度で歩き、旅客密度 k が上昇すると通行速度 v は低下するという関係にある。これにより流率 f は低下する。ある扉において単位時間当たり通行する乗降客数 Q (人秒)は、この「流率 f 」と乗降客が通行する「有効通行幅員 W (m)」を用いて、式(1b)により表すことができる。

$$Q = W \times f \quad (1b)$$

Q : 単位時間当たり乗降客数(人秒)

W : 有効通行幅員(m)

f : 流率(人/秒)

単位時間当たり乗降客数 Q の減少は、有効通行幅員 W 及び流率 f の低下により引き起こされている。

a) 乗車待ち客による有効通行幅員の減少

「単位時間当たり乗降客数の減少」が引き起こされている各事象における乗降時分の推移を、乗降時分累積図を用いて示す。乗降時分累積図とは、各旅客の1人当たり乗降時分を累積し、図示したものであり、1点が1旅客、1曲線が1編成1扉における乗降を示している。曲線の傾きが大きくなるほど、1人当たりの乗降時分が増大している傾向を示す。乗車待ち客による影響を図-14に、乗降時分累積図を図-15に示す。乗車待ち客は、より早く乗車し、自身の位置を確保したいという心理から列車到着とともに列車に接近し、降車終了まで扉の両脇にて待機する傾向が多く見られる。また車内混雑時には鉄道事業者が車内扉付近の旅客に一旦降車し、再乗車をするよう促しているが、これら再乗車客が、扉両脇に待機した乗車待ち客の間に更なる乗車待ち客として降車し留まることにより、乗車待ち客の待ち空間が降車客の有効通行幅員 W を縮小させている事象が見られる。乗降時分累積図からも、再乗車客発生時点より1人当たり乗降時分が増大している傾向が見られる。本事象は、降車時分増大抑制のために再乗車を促したにも関わらず、

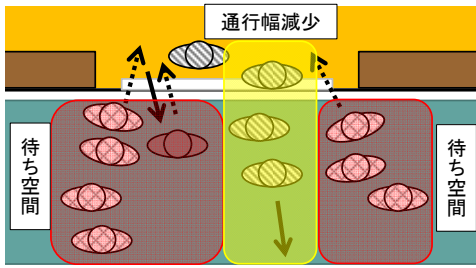


図-14 乗車待ち客による影響

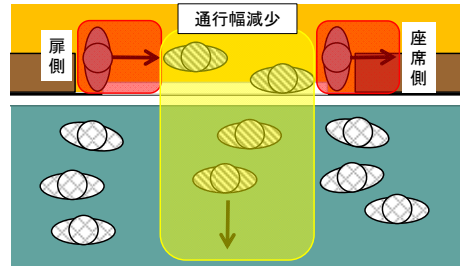


図-16 車内扉付近の旅客による影響

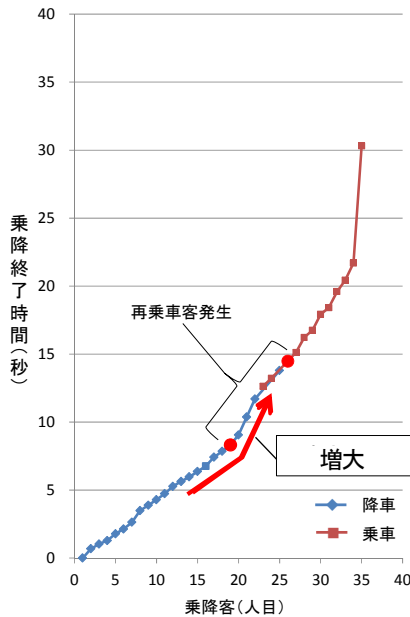


図-15 乗降時分累積図(乗車待ち客)

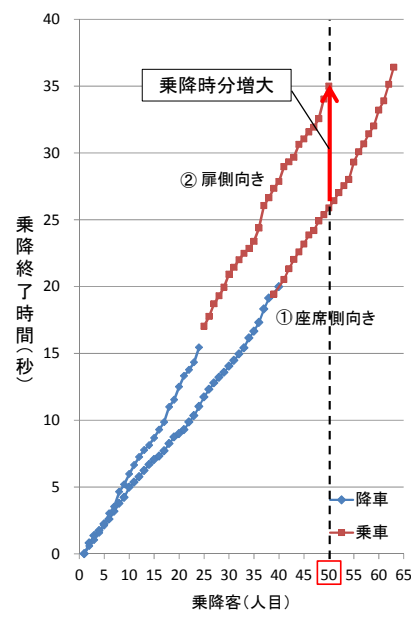


図-17 乗降時分累積図(車内扉付近の旅客)

扉両脇の乗車待ち客が再乗車客の待避するスペースを小さくしていることにより、かえって降車時分が増大している事象である。また乗車待ち客は降車が進むとともに、更に徐々に有効通行幅員 W を小さくしている事象が見られる。これは扉の反対側に待機する旅客の様子を伺いながら、降車終了を見計らっていることによるものであると考えられ、整列等により乗車待ち客の乗車順序を明確にすることが本事象の緩和に繋がると考えられる。

b) 車内扉付近の旅客による有効通行幅員の減少

車内の扉付近(座席脇)に立っている旅客による影響を図-16に示す。車内扉付近に旅客が立つ際には、「座席側」を向くケースと「扉側」を向くケースが存在する。各ケースの乗降時分累積図を図-17に示す。座席側を向いている場合、乗降客は当該旅客の背面を通過する。一方、扉側を向く場合、乗降客は当該旅客の前面を通過することになる。したがって、扉側を向くケースは座席側を向くケースに比べて当該旅客のパーソナルスペースが扉方向へ拡大することにより、乗降客の有効通行幅員 W を小さくさせ、乗降時分が増大している傾向が見られる。扉脇に旅客が立つか否か、また立つ際に扉側を向くか座席側を向くかは、当該客の嗜好にも左右されるが、

車両構造による影響も大きい。したがって、座席脇等の車両構造を検討する際には、そこで行われる旅客行動を考慮して設計する必要がある。

c) 車内の混雑による通行速度の低下

車内の混雑による影響を図-18に示す。また表参道駅において12月9日に発着した27編成の乗降のうち、乗車についてのみ累積した乗車時分累積図を図-19に示す。旅客の乗車が進むとともに、車内つまり乗車客の乗り込む先の空間の密度 k は上昇し、混雑する。これにより旅客の乗車速度 v が低下している。また更に混雑が進み、乗り込むスペースがほとんど無くなると、車内の旅客に詰めるよう促しながら背面から乗車する旅客も発生し、乗車時分が乗車終了直前に急増する事象が見られる。本事象は、特定の扉に旅客が集中することにより、列車内の混雑率が既に高くなっている扉に、更に乗車を試みる旅客が発生することが要因である。したがって、このような旅客に対して他の扉への移動を促すような施策が必要である。

d) 駅の混雑による通行速度の低下

駅の混雑による影響を図-20に示す。溜池山王駅において、扉付近のホーム幅員が昇降設備により減少してい



図-18 車内の混雑による影響

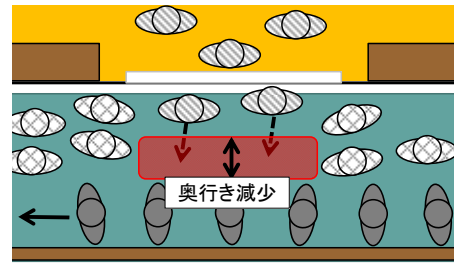


図-20 駅の混雑による影響

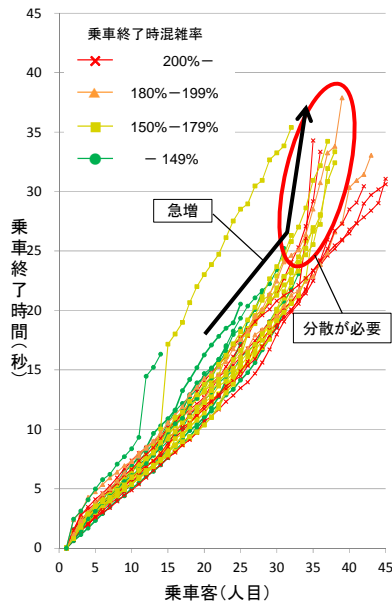


図-19 乗車時分累積図 (表参道駅)

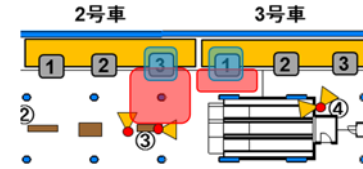


図-21 計測対象扉位置図

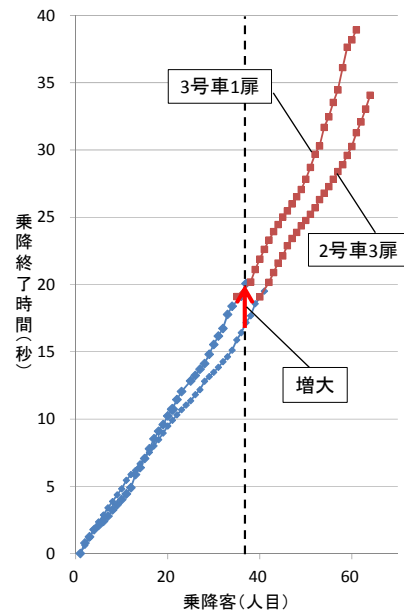


図-22 乗降時分累積図 (駅の混雑)

る扉 (3号車1扉) , 及びホーム幅員の減少が見られない一般部の扉 (2号車3扉) において計測を行う。計測対象扉位置を図-21, 乗降時分累積図を図-22に示す。ホーム幅員が減少している扉 (3号車1扉) では、狭隘部であるため、ホーム上を通行する旅客が扉付近を通行する。このことにより、降車客が降りる先の空間 (ホーム) の密度 k が他の扉に比べて上昇し、降車速度 v が低下しており、一般部の扉 (2号車3扉) よりも降車時分が増大する現象が見られる。したがって、駅の混雑は乗降の遅れにまでも影響を及ぼしている傾向がみられる。これまで駅の混雑は安全面から問題視され、緩和策を施されることが多かったが、列車遅延抑制の面からも駅の混雑緩和策は必要であると考えられる。

5. おわりに

(1) 結論

本研究では、高頻度運行を実施している列車の遅延の発生・拡大の問題について、これまでの対応が不十分であると思われる駅停車時分の増大に着目し、現地調査お

よびインタビュー調査により、現在の対策とその課題の整理を行った。また、その結果を踏まえ、ビデオ映像データを用い、駅停車時分に影響を及ぼす個々の旅客行動の実態把握とその特徴を分析した。旅客行動を捉えるだけでなく、鉄道事業者の視点、現場の駅職員の視点等を加えて、課題の整理を行っていることは、本研究の特徴の一つである。また、取得が困難である鉄道駅構内のビデオ映像データと列車内の混雑データを組み合わせ、乗降時分と乗降行動の関係を定量的に示していることは大きな成果である。以下に本研究で明らかにした点を述べる。

第一に、駅停車時分の増大要因には、鉄道事業者だけではコントロールできない旅客行動に起因するものが多く存在している。列車遅延の問題に関しては、利用者意識の改善、行動変容が必要不可欠であり、鉄道事業者はこれまでも増してこの点への対応をしていく必要がある。

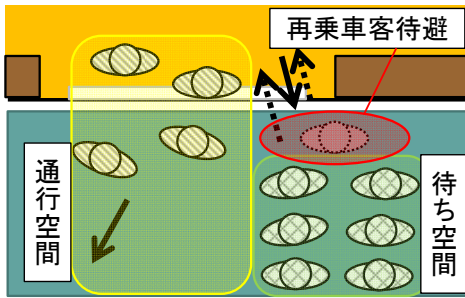


図-23 通行空間と待ち空間分離策の一例

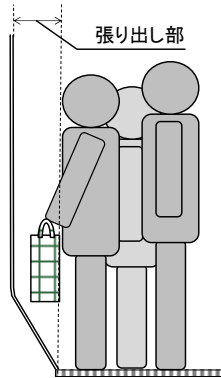


図-24 荷類等が挟まれにくい車両構造

また、現在は現場の経験に基づき、駅毎で独自に対応し、できるだけ遅延を増大させない努力が行われている。しかしながら、これらの対応は、他の駅でも有効であると思われるものの、情報共有が十分になされていないことや部門間での協働が困難であることから、大きな成果を上げるには至っていない。また、これらだけでは不十分なケースも存在しており、鉄道事業者は、少なくとも部門を超えた対応をし、情報の共有を進めるべきであり、さらには、現場職員の経験に加え、個々の旅客行動の定量的な分析の結果を考慮した更なる策の提案が必要であると考えられる。

第二に、これまでは、昇降設備や乗換え通路に近い「乗降客が集中しやすい扉」において乗降は遅れがちであると考えられてきたが、これらの条件に当てはまらない扉においても乗降の遅れが発生しているケースが多く見られた。どの場所であったとしても最後の乗降が終了するまでは閉扉できないため、列車遅延の視点では見逃せない現象である。旅客集中への対応に加えて、今後はこのような扉においてどのような旅客行動がなされているのかを詳細に把握し、それらへの対応も必要である。

第三に、「1人当たり乗降時分の増大」に着目し、ビデオ映像データから旅客行動の実観測を行うことにより、「有効通行幅員の減少」及び「密度上昇に伴う旅客通行速度低下」から「単位時間当たり乗降客数の減少」が引き起こされ、乗降時分が増大している事象を

確認した。これらの事象への対応が進んでいない要因は、鉄道事業者の個々の旅客行動への着眼不足からその行動の把握が進んでいないことにあり、更なる駅停車時分増大抑制策のためには、個々の旅客行動に関するデータの蓄積と映像データを用いた実観測や分析等への活用が必要である。

(2) 抑制策への示唆

a) 乗降客分散策へのデータ及び情報の活用

特定扉への旅客の集中により、乗車を試みた旅客が乗り切れず降車する事象が度々発生している。それにも関わらず、乗降客分散に関する対策は現況は各種アナウンス等によるお願いに留まっており、その効果は明白となっていない。他方で、現在、列車毎、車両毎の混雑データは取得できている。乗車位置選択に影響を与える列車内混雑といった旅客にとって有益な情報を、リアルタイムに提供していく等の対策は有効であると考えられる。旅客にとっては、正しい情報に基づいて選択ができることに加え、列車遅延抑制にも繋がり、より早く目的地に到着できることになるため、行動変容へのインセンティブは高いと思われる。この実現のために、部門間の調整、デジタルサイネージ等を活用した情報提供の方法の検討等が望まれる。

b) 旅客の整列・整流策と更なる旅客行動の分析

ある旅客や旅客集団が乗降客の有効通行幅員を減少させ、「単位時間当たり乗降客数の減少」を引き起こしている事象が多く見られた。これらの事象への対策として、降車客の通行空間と乗車客の待ち空間を分離することにより、乗降客の整列及び整流を行うことが有効である。分離策の一例を図-23に示す。更に乗車客に対して降車終了時まで整列位置での待機を促すことにより、再乗車客の待ち空間についても確保される。またこれまで整列位置やその形態は各駅の判断に委ねられてきたが、このことにより対策制度の差が生じ、良い事例の水平展開も積極的に行われていない。今後は、旅客行動に関するデータの蓄積や詳細な分析を進めるとともに、現場において把握された各駅の混雑状況や旅客の行動特性から、それらに適した整列・整流手法や要員配置を提案・検証、成功事例の類似駅への水平展開を行う体制の整備が必要である。

c) 多部門における突発事象への対策

突発事象（旅客・荷物等の挟まれ、かけこみによる再開扉）の発生頻度及び箇所は不規則であり、その要因は駅構造、車両構造、車内混雑状況等多岐に渡る。したがって、様々な部門における対策が必要である。特に車両部門においては、図-24のように扉の上部を床に対して張り出した構造とすることにより、荷類等が挟まれにくい構造とすることが可能である。しかしながら、本対策は現行の車両幅が車両限界の幅と同値となっている路線

においては導入が難しいという課題があるため、他のあらゆる部門においても、突発的な旅客行動の抑制に寄与する対策の検討が必要とされる。

謝辞：本研究を進めるにあたり、東京地下鉄株式会社には、混雑率データ等をご提供いただくとともに、調査に関して数多くのご助言をいただいた。また調査の遂行にあたり、社会システム株式会社より機材の提供等、数多くのご協力及びご助言をいただいた。なお、本研究は科学研究費（25420536）の助成を受けて実施したものである。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省鉄道局：ターミナル駅における混雑解消を実現するための施策の検討，2008，2009.
- 2) 仮屋崎 圭司，日比野 直彦，森地 茂：都市鉄道の列車遅延の拡大メカニズムに関する研究，土木計画学研究・論文集，Vol.13，No.4，pp.54-57，2011.
- 3) 横田 茂：都市鉄道の整備手法の活用促進方策についての研究，運輸政策研究，Vol.15，No.3，pp.18-28，2012.
- 4) 中 祐一郎：交差流動の構造－鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究(1)，日本建築学会論文報告集第 258 号，pp.93-101，1977.
- 5) 松下 聡：待ち行動を含む群集歩行シミュレーションモデルの研究，日本建築学会計画系論文報告集，1992.
- 6) 高柳 英明，佐野 友紀，渡辺 仁史：群集交差流動における歩行領域確保に関する研究，日本建築学会計画系論文集第 549 号，pp.185-191，2001
- 7) 熊倉知博，長澤夏子，林田和人，渡辺仁史：駅における流動の影響を考慮した立ち止まり行動のモデル化に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，2004.
- 8) 福田一太，山下良久，内山久雄：交差現象を考慮した歩行者シミュレーションモデルの構築，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.387-390，2006.
- 9) 浅野美帆，桑原雅夫：先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション，生産研究 Vol.59 No.3，P184-187，2007.
- 10) 日比野 直彦，山下 良久，内山 久雄：鉄道駅におけるモニターカメラから得られる歩行者挙動データの活用に関する研究，土木計画学研究・論文集 Vol.22 No.3，P531-539，2005.
- 11) 上松苑，岩倉成志：エージェントモデルによる都市鉄道の乗降時分の推定，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，2008.
- 12) 高橋郁人，武井千亜生，岩倉成志：旅客属性を考慮した列車乗降シミュレーションモデルの構築～東急田園都市線を対象に～，平成 23 年度土木学会全国大会，IV-049，2011
- 13) 稲木達哉，富井規雄：駅ホーム上のマルチエージェントによる乗降時間の推定，電気学会研究会資料 ITS 研究会 2011(33)，23-30，2011.
- 14) 鉄道総合技術研究所：駅の旅客流動，RRR 2005 年 11 月号，P38，2005.

ACTUAL STATE OF TRAIN'S DELAY AND SUGGESTION TO THE EFFECTIVE MEASURES BASED ON VIDEO DATA AT URBAN RAILWAY STATIONS

Yuna KITAYAMA, Naohiko HIBINO, Shigeru MORICHI and Hitoshi IEDA

Serious issues of the train's delay have been occurred in Tokyo metropolitan area. In the existing studies on the delay of train, there are few studies on the behaviors of passengers getting on and off trains at railway stations, although there are a lot of studies on the train operation between stations. Negative impact to the train operation caused by the passengers' behavior is not clarified, because the data of the behavior at stations are inadequate. The purpose of this study is to illustrate the measures for decreasing the delay in each station. In the study, characteristics of the passengers' behavior is analyzed based on the video data in the stations. The study concludes that it is important to consider the station structure as well as the behaviors of passengers and the congested situation for the effective policies against the train's delay.