

# 駅ホーム上の歩行者流動状況の推定と 列車の停車位置に関する検討

古和田智也<sup>1</sup>・安隆浩<sup>2</sup>・塚口博司<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生員 立命館大学大学院理工学研究科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:rd0003vf@ed.ritsumei.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 立命館大学理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:ahnyh@fc.ritsumei.ac.jp

<sup>3</sup>フェロー会員 立命館大学理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

E-mail:tsukaguc@se.ritsumei.ac.jp

主要鉄道の結節点となっている大規模交通ターミナルは、公共交通システムを効果的に活用する上で不可欠な存在である。近年、鉄道駅の大規模改修並びにそれに伴う商業施設の開業・リニューアルが盛んに行われ、都市の活性化の視点から、駅および駅周辺地区が新たな注目エリアとなっている。交通ターミナルにおいて検討すべき課題は多様であるが、その中で駅構内における利用者の安全で円滑な移動の確保は最も基本的な課題の一つである。本稿ではプラットホームでの旅客流動を対象とし、簡便な実測調査に基づいてホーム上の旅客の動きを推定する方法を示すとともに、列車停車位置の変更によるホーム上の旅客流動の変化について検討することを目的とする。

**Key Words :** *large transportation terminal, pedestrian flow estimation, suitable location of train stopping*

## 1. はじめに

JR 大阪駅等を中心とした地区は、1日当たりの利用者数が約 240 万人の大規模交通ターミナルである。当該ターミナル地区では、JR 大阪駅の改修に伴う大阪ステーションシティの開業(2012 年)、ならびに駅北側のグランフロント大阪の開業(2013 年)などの大規模な整備が進められているため、多数の来街者の流れを適切に案内・誘導していくことが不可欠となっている。

大規模交通ターミナル地区における来街者流動状況について議論する場合、当該地区は鉄道駅構内(プラットホーム、改札内通路、改札外通路、滞留空間など)および鉄道駅周辺地区に大別できる。本稿では、駅構内のプラットホームでの旅客流動を対象とすることにした。プラットホームは特にピーク時には非常に混雑していることが多いから、駅構内における安全性・円滑性の向上のためには、プラットホームでの旅客流動を適切にコントロールすることが必要と考えるからである。

具体的には、JR 大阪駅の 9 番線および 10 番線が位置するプラットホームを対象とした。当該ホームには、御堂筋口、中央口、桜橋口、および 3 階の連絡橋口へ繋がる階段、エスカレーター、およびエレベーターがあり、

乗降者はいずれかの昇降施設を利用して改札口に向かうこととなる。当該ホームは通勤ラッシュ時には利用者が多く大変混雑している。

本稿では、当該ホームにおいて実施した簡便な断面交通量調査から車両ドアと昇降施設間の旅客 OD 交通量を推定するとともに、これに基づいてホーム上の乗降者の流動量(リンク交通量)を推定した。さらに列車の停車位置を若干変更した場合に、乗降者の流動状況がどのように変化するかについて検討した。

## 2. 断面交通量調査

調査に当たって、上記のプラットホームを昇降施設が 1ヶ所含まれるようにゾーン分割した(図 1)。ここで、上段の i(j) は昇降施設、下段の○は車両の各ドアを示している。交通量調査は図 1 に示した昇降施設間に想定した断面、および車両の各ドアと昇降施設間に想定した断面において実施した。

調査は 2012 年 1 月 10 日(火) 7:31~8:48、ならびに 12 日(木) 7:31~8:48 に通勤ラッシュ時の調査、11 日(火) 10:30~11:30 にオフピーク時の調査を実施した。ラッシュ時の車両は 12 両編成であり調査範囲が広

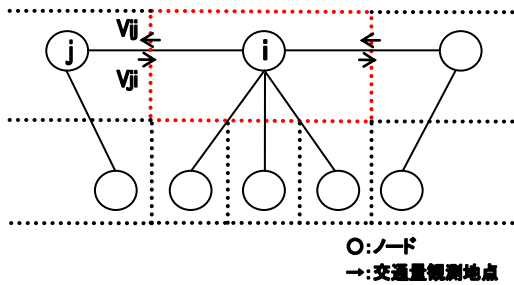


図1 ゾーニングとネットワーク

くなるため、通勤ラッシュ時においては調査エリアを4つ、オフピーク時においては2つに分け（8両編成であったため）、9番ホームに到着する電車の旅客数を観測した。異なるゾーンにおける観測時刻は若干異なるため、境界断面では複数回の観測を行い誤差を調整した。

### 3. OD 交通量推定

#### (1) 推定方法

本稿では、ゾーニングに対応させて、図2（通勤ラッシュ時）および図3（オフピーク時）に示すネットワークを予め設定した。実測調査結果に基づいてOD交通量を推定するに当たっては重力モデルを用いることとし、昇降施設間のリンク交通量の観測値と推計値との差の平方和を最小化することによって適切なパラメーターを求めた。

具体的には、OD交通量が式(1)に示す重力モデルで表現されると仮定し、このときのパラメーターを1として推定した。推定したOD交通量よりリンク交通量を推計し、式(2)によってリンク交通量の観測値と推計値の残差平方和を最小となるようにパラメーター $\nu$ を求めた。

また、トリップエンド条件を満たすためにフレーター法を用いて収束計算を行った。

$$X_{ij} = G_i \frac{A_j f(t_{ij})}{\sum_j A_j f(t_{ij})} \quad (1)$$

$X_{ij}$ : 域内ノード  $i$  から域内ノード  $j$  への

OD 交通量

$G_i$ : 域外ノード  $i$  からの発生交通量

$A_j$ : 域内ノード  $j$  への集中交通量

$f(t_{ij}) = t_{ij}^{-\nu}$

$t_{ij}$ : 域内ノード  $i \cdot j$  間の距離 ( $m$ )

$\nu$ : パラメーター

$$\phi = \sum (v_a^\phi - x_a^\phi)^2 \rightarrow \min \quad (2)$$

$v_a^\phi$ : リンク  $a$  の観測交通量

$x_a^\phi$ : リンク  $a$  の推定交通量

リンク交通量の推計値の計算方法を説明すると、通勤ラッシュ時を例として図2から、ノード  $1a \rightarrow 38a$  のODの歩行者経路は  $1a \rightarrow 37a \rightarrow 38a$  となると考える。つ

まり、 $1a$  から発生して  $37a \rightarrow 38a$  間の断面を  $37a \rightarrow 38a$  方向に通過する交通量は、「 $1a \rightarrow 38a$ 、 $1a \rightarrow 39a$ 、 $\dots$ 、 $1a \rightarrow 45a$ 」のOD交通量の和となる。また同様に、ノード  $37a \rightarrow 4a$  のODの歩行者経路は  $37a \rightarrow 38a \rightarrow 4a$  となり、 $37a$  から発生して  $37a \rightarrow 38a$  間の断面を  $37a \rightarrow 38a$  方向に通過する交通量は、「 $37a \rightarrow 4a$ 、 $37a \rightarrow 5a$ 、 $\dots$ 、 $37a \rightarrow 36a$ 」のOD交通量の和となる。よって、「 $1a \rightarrow 38a$ 、 $\dots$ 、 $1a \rightarrow 45a$ 」、「 $2a \rightarrow 38a$ 、 $\dots$ 、 $2a \rightarrow 45a$ 」、「 $3a \rightarrow 38a$ 、 $\dots$ 、 $3a \rightarrow 45a$ 」、「 $37a \rightarrow 4a$ 、 $\dots$ 、 $37a \rightarrow 36a$ 」のOD交通量の和の合計値が、 $37a \rightarrow 38a$  間の断面を  $37a \rightarrow 38a$  方向に通過する推定リンク交通量となる。この手法を用いて、各リンク交通量をそれぞれ推計した。

式(2)の計算にはエクセルのソルバーを用いた。これは、Leon Lasdon と Allan Waren により開発されたGRG2 (Generalized Reduced Gradient) を用いたものである。GRG2 は非線形計画法の中、準ニュートン法を利用して最適化問題を解くアルゴリズムである。



図2 ノードとリンクの設定(通勤ラッシュ時)

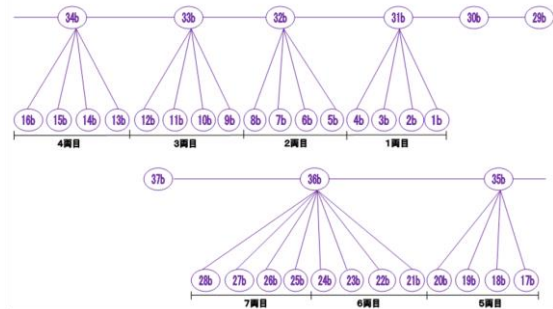


図3 ノードとリンクの設定(オフピーク時)

#### (2) パラメーターの算出結果

昇降施設の種類別にパラメーターを設定して、OD交通量と昇降施設間のリンク交通量を推定し、最適なパラメーターを求めた (表1)。

表1 パラメーター $\nu$ の推定値

起点	終点		ラッシュ時	オフピーク時
車両 ドア	昇降 施設	階段	1.80	1.72
		エレベーター	2.04	1.90
		エスカレーター	-0.41	-1.02
昇降 施設	車両ドア		1.45	—注)

注) オフピーク時には9番、10番線から出発する列車はない

表1において、昇降施設→車両ドアのパラメーターが、車両ドア→昇降施設のパラメーターより小さくなっている。これは、旅客が列車に乗車する際、列車の到着までの時間に自由に車両ドアの選択を行い、距離による制約を受けにくいからではないかと推察される。全体的にオフピーク時のパラメーターが、通勤ラッシュ時のパラメーターより小さくなったのは、オフピーク時にはホーム上の混雑が少ないことや、時間に余裕がある場合が多いためではないかと推察される。

エスカレーターのパラメーターが階段よりも大きい、すなわち抵抗が大きいという結果になっているが、これはエスカレーターがホーム前方と中央に5箇所あるのに対し、階段はホーム後方に2箇所しかないという、当該ホームの形状が影響したためではないかと考えられる。またエレベーターの距離抵抗が小さいが、エレベーターは必要とする人が主に利用するという特性から、距離による影響が少ないためではないかと考えられる。

### (3) 再現性の検討

前節において推定した重力モデルをよって各昇降施設と車両ドア間の交通量を求め、これを用いてプラットフォーム上に設定したリンク交通量を推定した。このリンク交通量の推定結果を断面交通量と対比することによって、OD交通量の再現性を検討した。

図4および図5にそれぞれ通勤ラッシュ時と、オフピーク時の場合について、推定リンク交通量と観測リンク交通量との関係を示す。両図より、通勤ラッシュ時およびオフピーク時ともに、観測リンク交通量と推定リンク交通量との間に大きな誤差はなく、相関係数は通勤ラッシュ時が0.9421、オフピーク時が0.9743であることから、OD交通量は概ね再現されていると言えよう。

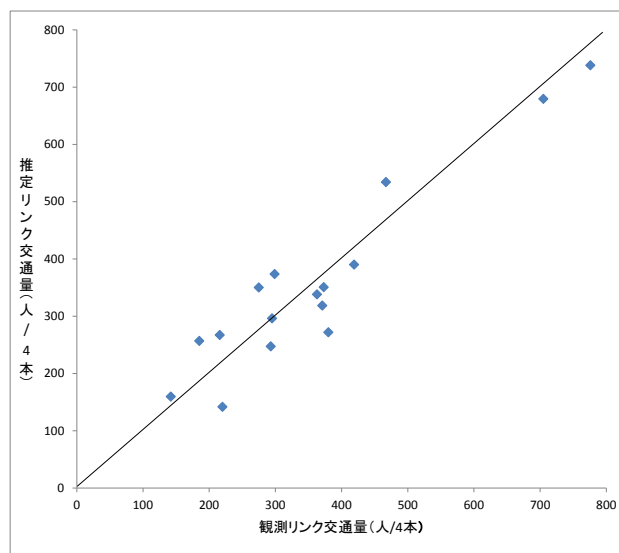


図4 再現性の検討(通勤ラッシュ時)

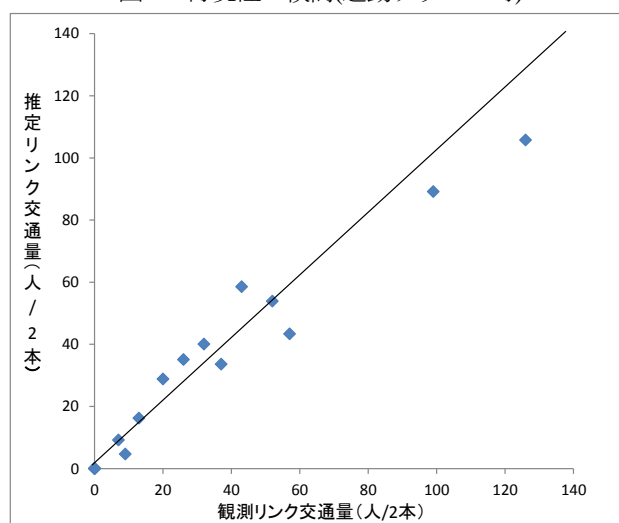


図5 再現性の検討(オフピーク時)

## 4. 列車の停車位置の検討

プラットフォーム上において乗降する旅客は、それぞれの目的地へ至る適切な経路に位置する昇降施設を選択していると思われる。これらの昇降施設選択はホーム上の混雑のために必ずしも希望通りではないかもしれないが、強制された行動ではないから、現在の流動状況は旅客の希望をある程度反映したものと考えられよう。

そこで、本章では、このような旅客の行動特性が保たれるものとして、仮に列車の停車位置が変化した場合に、ホーム上の旅客流動がどのように変化するかを調べることにした。ここでは、列車の停車位置を、通勤ラッシュ時においては扉1~2つ分前後に変更、オフピーク時においては扉1~4つ分前後に変更させた場合に、混雑が緩和される場合があるのかを検討することにした。

なお、ここでは列車の停車位置を変更した前後で各ノードからの発生交通量と集中交通量に変化しないことを前提として検討を行った。パラメーターは3章で求めた

値を用いており、列車の停車位置を変更させた場合に、車両ドアと昇降施設間の距離が変わることで、OD 交通量が変化し、リンク交通量が増減することとなる。

表 1 では算出したエレベーターのパラメーターが負になっているが、これは旅客が降車した扉とエレベーターとの距離が遠いほど利用しやすいということを意味しており合理的でないため、ここでは扉→エレベーターのパラメーターを 0 とした。

(1) 通勤ラッシュ時

通勤ラッシュ時における現況リンク交通量を図 6 に示し、列車の停車位置を変更した場合のリンク交通量をそれぞれ図 7~図 10 に示す。なお、ここでの前方とはホーム前方京都寄りをしており、横軸は図 2 のリンク番号に対応している。

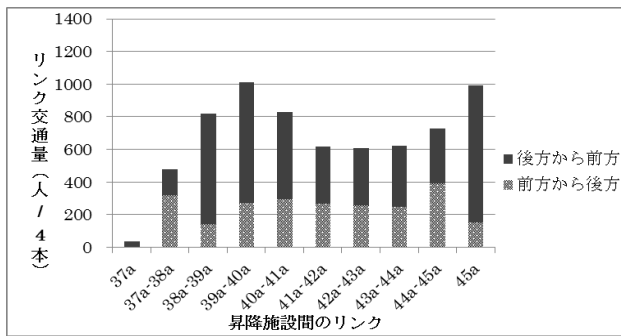


図 6 現在の停車位置の場合

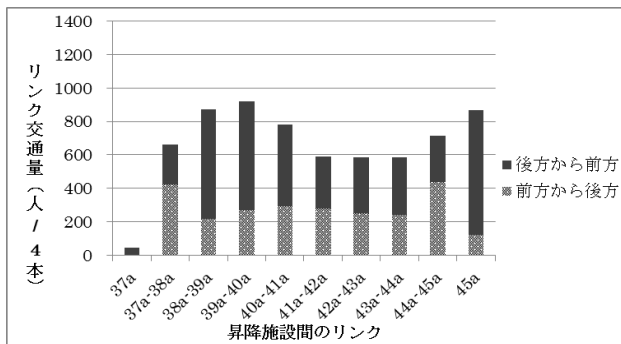


図 7 扉 1 つ分前方に停車させた場合

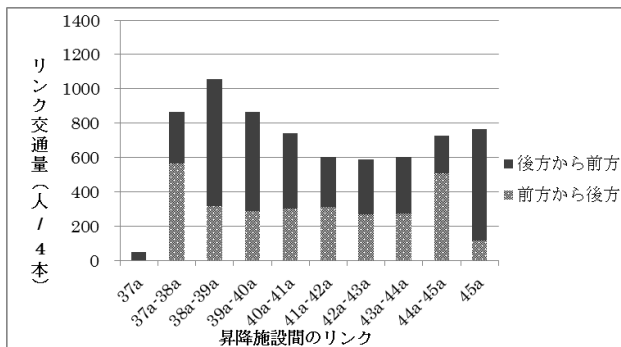


図 8 扉 2 つ分前方に停車させた場合

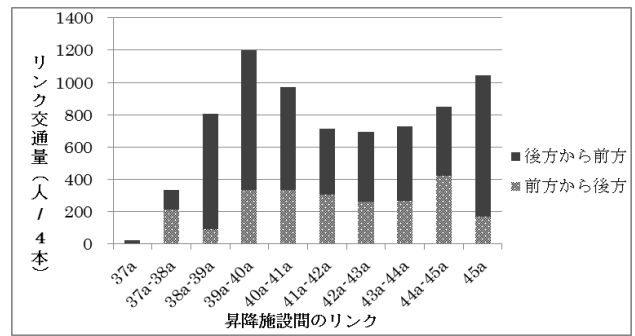


図 9 扉 1 つ分後方に停車させた場合

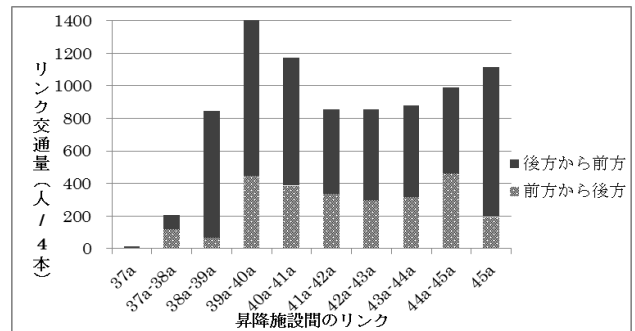


図 10 扉 2 つ分後方に停車させた場合

これらの図より、列車を扉 1 つ分前方に停車させた場合にリンク交通量が分散され、ホーム上の混雑を緩和できる可能性があるように思われる。一方、列車を扉 1 つ分後方に停車させた場合および扉 2 つ分後方に停車させた場合は、リンク交通量が大幅に増加していることから、現況よりも後方への列車の停車位置の変更は好ましくないと考えられる。

リンク交通量が大幅に増加してしまう場合がある理由としては、推定する際に発生交通量と集中交通量を固定していることが原因と考えられる。図 11 は列車の停車位置を変更した場合のリンク交通量の変化を簡易的に示したものである。表 2 はその時の OD 表である。図 11 における左が現在の停車位置の場合であり、右が停車位置を変更した場合である。

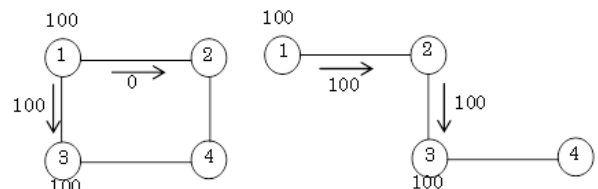


図 11 リンク交通量の変化を簡易的に示したもの

表 2 図 11 の場合の OD 表

OD	3	4	発生
1	100	0	100
2	0	50	50
集中	100	50	150

図 11 から分かるように、左側では 1 と 2 との間のリンク交通量が 0 であるが、列車の停車位置が変わり右側の状態になることで、1 と 2 との間のリンク交通量が 100 に増えている。

このように、発生集中交通量を変化させずに停車位置を変更させた場合、リンク交通量が過大に増加してしまう現象が生じる場合がある。そのため、図 9 や図 10 では過大評価されており、実際はそれほど混雑が増加しないかもしれないことや、図 7 や図 8 では過小評価されており、停車位置の変更が、実際にはもっと大きな効果をもたらしているかもしれないということが考えられる。

## (2) オフピーク時

オフピーク時における現況リンク交通量を図 11 に示し、列車の停車位置を変更した場合のリンク交通量をそれぞれ図 12～図 19 に示す。

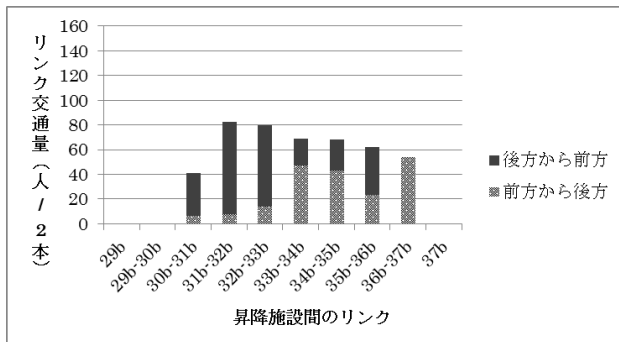


図 12 現在の停車位置の場合

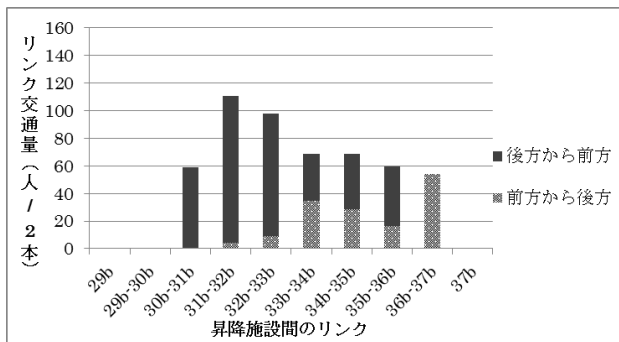


図 13 扉 1 つ分前方に停車させた場合

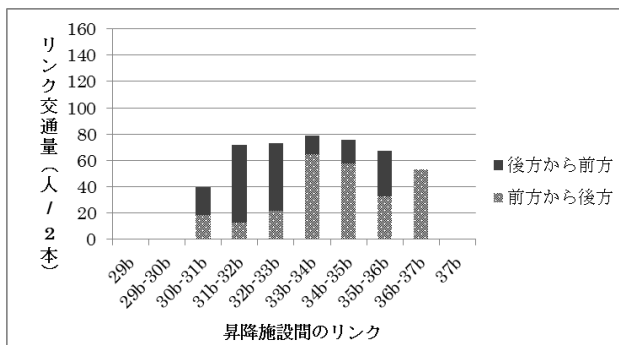


図 14 扉 2 つ分前方に停車させた場合

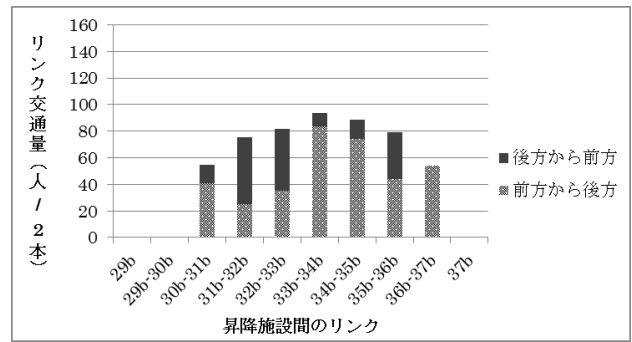


図 15 扉 3 つ分前方に停車させた場合

これらの図より、列車を扉 2 つ分前方に停車させた場合に、最も効果的にリンク交通量が分散され、ホーム上の混雑が解消されると思われる。一方、通勤ラッシュ時と同じく、列車を現況より後方に停車させた場合には、リンク交通量が現況より増加している。オフピーク時においても、通勤ラッシュ時と同様の理由でリンク交通量が過剰に増加していることが考えられ、列車を後方に停車した場合に本当に混雑が増加してしまうのかを検討する必要がある。もともと、列車の停車位置の変更により、一定の混雑緩和が可能と考えられるが、オフピーク時のホーム上の歩行者はそれほど多くなく、停車位置変更の効果は小さいと考える。このため、オフピーク時には現況の列車の停車位置でも特に問題はないと思われる。

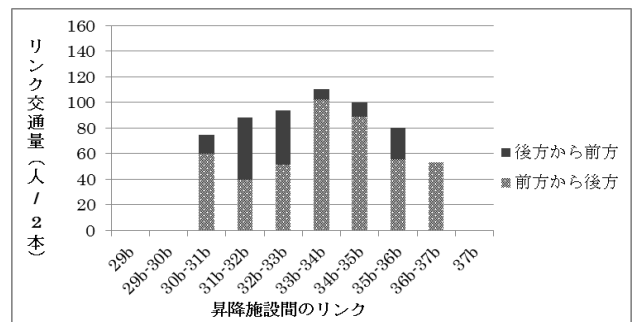


図 16 扉 4 つ分前方に停車させた場合

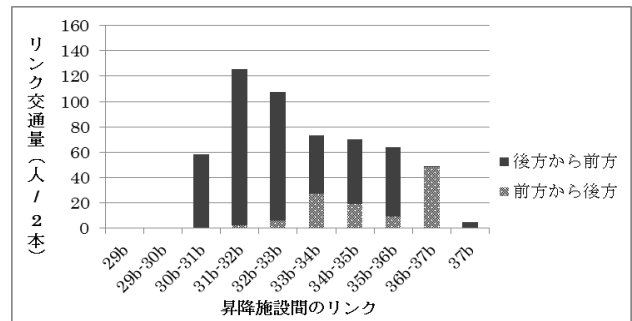


図 17 扉 1 つ分後方に停車させた場合

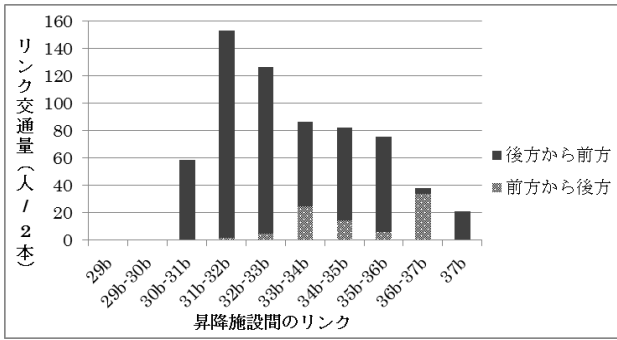


図18 扉2つ分後方に停車させた場合

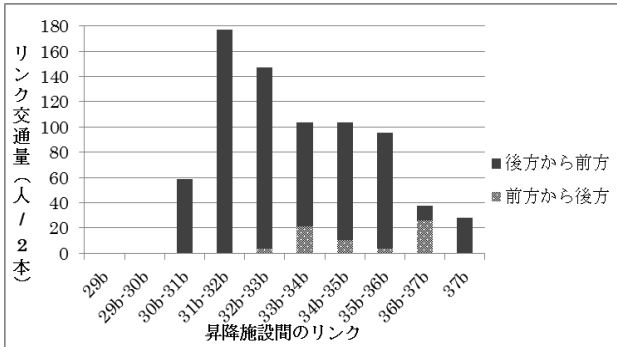


図19 扉3つ分後方に停車させた場合

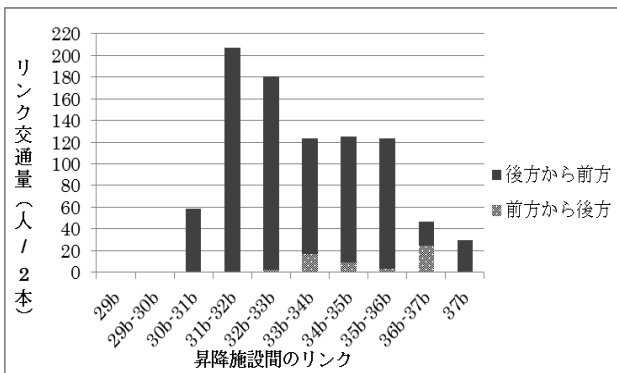


図20 扉4つ分後方に停車させた場合

### (3) 発生集中交通量の変化を許容した場合

本来、列車の停車位置が変化すれば、降車した旅客が選択する昇降施設が変更される場合があると考えられる。しかし、本研究では車両の停止位置を現場の状況に応じて、若干変更する場合を検討したため、前節では利用される車両ドアと昇降施設の関係は変化しないものとして推定した。すなわち、列車の停車位置を変更した後も、車両ドアおよび各昇降施設の発生集中交通量は不変となっている。

本節では、発生交通量や集中交通量のパターンを変更させた場合の影響を検討する。本来、重力モデルを用いる場合には、フレーター法等を用いて収束させる必要があるが、ここでは重力モデルを用いるのみで、OD交通量を求めた。このOD交通量を用いてリンク交通量を推計したところ、図20、図21のようにリンク交通量が分散される結果となった。

なお、このような比較を行う場合には、総交通量が一致している必要がある。総交通量を比較したところ、前節における推定では6525(人/4本)であり、今節における推定では6403(人/4本)であって、2%程度の差となっており一定限の比較は可能と判断した。

このことから、発生交通量と集中交通量を変化を許容することで、リンク交通量を適度に分散させることができることが確認することができた。しかし、現時点ではどのようなパターンが最適であるかどうか分析できておらず、今後の課題である。

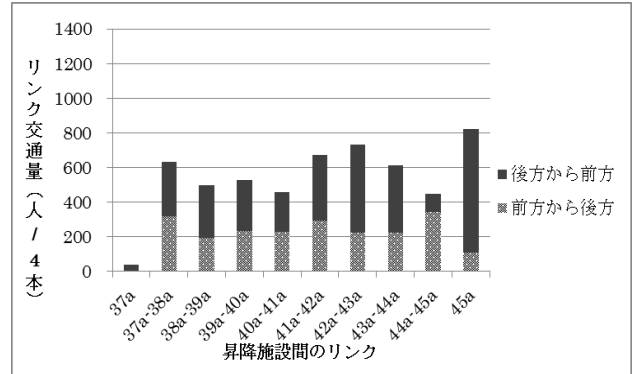


図21 発生集中交通量の変化を許容した場合 (通勤ラッシュ時において扉1つ分前方に停車させた場合)

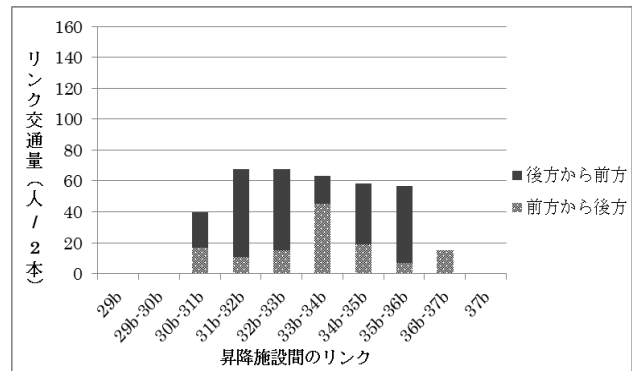


図22 発生集中交通量の変化を許容した場合 (オフピーク時において扉2つ分前方に停車させた場合)

## 5. まとめ

本研究では、代表的な大規模交通ターミナルであるJR大阪駅の9番線と10番線が位置するプラットホームを対象として、簡便な断面交通量調査に基づいて、ホーム上のOD交通量を推定した。さらに列車の停車位置を変更させた場合を想定し、ホーム上の旅客流動がどのように変化し、混雑を緩和させることができるかを検討した。その結果、列車の停車位置を若干変更することで、ホーム上の混雑を緩和できる可能性があることを示した。列車の停車位置を変更した場合に、どのように発生交通量や集中交通量を扱うべきであるかを検討することが今後の課題である。

## 謝辞

本研究の一部は(財)JR西日本あんしん社会財団からの研究助成によって実施したものであり、同財団に謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 尾形直樹・青木俊幸・有山伸司・北井哲夫：鉄道駅における旅客流動の研究－ホーム上の階段、エスカレーター配置と旅客乗降位置の関係－、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）、1996年9月
- 2) 加瀬史郎・佐藤敏彦・坂本圭司：ホーム上旅客流動の変化を予測できるシュミレーションシステムの開発、JR東日本 Special edition paper 特集論文8
- 3) 塚口博司・塚本直幸・日野康雄：交通システム、国民科学社、1996年
- 4) 技術書院：交通計画のための新パラダイム、技術書院、2008年