通勤電車の乗降扉に関する一研究*

永瀬和彦^{*1}, 北見成紀^{*2}, ト部一誠^{*4}, 大西 尚^{*3}
小林善一郎^{*3}, 藤井宗道^{*3}, 狩野義也^{*4}, 浅海 總一^{*5}

A Study on the Doors of Electric Trains for Commuter Service

Kazuhiko NAGASE, Naruki KITAMI, Kazunari URABE, Hisashi OHNISHI,
Zenichiroh KOBAYASHI, Munemichi FUJII, Yoshiya KARINO, Sohichi ASAMI

Most commuter trains in large cities of Japan are loaded to their full capacity in the morning rushhours. Accordingly, it takes time for the many passengers to get on and off at the major stations where many people come in and out, and the trains are often delayed. Although the construction and performance of the commuter train doors is considered to have a great influence on the ease of getting on and off, a method quantitatively evaluating the relation between them has not yet been established. The authors proposed a new method for evaluating the above relation, and obtained a satisfactory result through practical application of the method.

Key Words: Railway, Rolling Stock, Electric Car, Commuter Service, Train Operation, Door

1. はじめに

電車が短い運転間隔(以下「時隔」という)で運転される線区では、駅における電車の停車時間は時隔の確保に支配的な影響を及ぼす⁽¹⁾。このため、ラッシュ時に時隔を所定に保ち、電車の遅延を防ぐには乗降客の多い主要駅での乗降に要する時間の増大を抑止することが大切である。しかし、輸送量が年々増加する線区では、増加しがちな停車時間を定められた時間内に留めることは困難な状況にあり、これが電車の遅延や混雑をより激しくする一因ともなっている。

対策として通勤時間帯に限って開閉する乗降扉(以下「扉」という)の数を増加させる方式を京阪電鉄では採用し、JR 東日本では編成の一部に6扉の電車を使用している。これらの方法はおおむね好評である。しかし、前者は車両の構造が複雑化することに問題がある。後者は座席数の減少などの点が問題として残さ

れている。別の対策として扉の幅を増加させることが有効である。通勤電車に広く使われている幅1300mm両開きの扉は昭和29年に営団地下鉄の電車に採用されて以来、その後のほとんどすべての通勤電車に同じものが採用されてきた。

扉およびその付近の構造は乗降に及ぼす影響が大きいにもかかわらず、これについての研究は少ない⁽²⁾⁽³⁾。そのいずれもが扉について単位時間当たりの乗車または降車人員(以下これを「乗車速度」または「降車速度」という)を調べたものである。これら研究で得た結果は同一形式の電車についてすら異なっている。調査駅での乗降状態が多様に異なるためである。このため、扉が乗降状態に及ぼす影響を定量評価する方法はいまだに提案されていない。

最近、営団地下鉄では新製電車の扉幅を1400mmに拡張した。この措置は乗降時間の短縮に有効と推定されたが、その効果を定量評価するのは困難であった。著者らは扉幅を拡張した新しい電車と従前の電車の乗降状態を新しい手法を用い対比調査した。その結果、いままでは難しいとされてきた扉の構造等が乗降時間に及ぼす影響をある程度ではあるが定量的に評価することができた。さらに、これらの調査を通じ、通勤電車の乗降状態について新たな事実が明らかにされた。

* 原稿受付 平成3年7月30日。

^{*1} 正員、金沢工業大学(●762 石川県石川郡野々市町扇ヶ丘7-1)。

^{*2} 正員、(財)鉄道総合技術研究所(●185 国分寺市光町2-8-38)。

^{*3} 帝都高速度交通営団(●110 東京都台東区東上野3-19-6)。

^{*4} 東武鉄道(株)(●131 東京都墨田区押上1-1-2)。

^{*5} 東京急行電鉄(株)(●150 東京都渋谷区道玄坂1-21-2)。

2. 評価の方法

2.1 評価を行うに際しての問題点 扉の構造が乗降に及ぼす影響を評価することが難しい主な理由に「乗降客数が列車や駅により多様に変化し、同一乗降状態のもとでの調査の実施が困難である。」、「同じ混雑状態の電車で同数の乗降が行われた場合でも乗客のマナーの善し悪し（例えば降車が終わらないのに割込み乗車する乗客の有無）により乗降速度が大きく変化する。」などが挙げられる。この問題に対処するため、著者らは以下の考え方により評価を試みた。

2.2 乗車時の評価方法

2.2.1 考え方 ラッシュ時に空車でホームにすえ付けられる始発電車を待つ乗客は扉が開くと同時に座席確保のためいっせいに早足で乗車する。乗車直後には入口付近に立ち止まって乗車を妨げる乗客もなく、降車客により乗車速度が低下することもない。乗車開始から時間が経過して車内が相当詰まってきて、大勢の乗客による一方向への激しい流れがあるので、入口付近に立ち止まって流れを妨げる乗客もほとんど見られない。

図1はこのようなときの乗車状態を示す線図である。横軸を開扉時点からの経過時間、縦軸に累積乗車人員をとる。図示の曲線形状は扉の構造、車内乗車スペースおよび乗車人員に応じ変化する。曲線1は乗車速度が早く乗車人員も多いケースで、曲線3は反対のケースである。乗車速度や乗車人員はホームで待機する乗客の数に応じ当然に異なるものとなる。

しかし、電車が始発駅で乗残しが出るほどの激しい混雑になると、図示の曲線は扉の幅および乗車スペースなどの車両構造が深く関与し、ホーム待機の乗客数等はあまり関与しなくなると推定される。この場合には、1扉の乗車人員総数は車両構造に応じたものとなる。そして、乗車開始時点から車内が飽和状態となる前のある時点までの乗車速度は扉の幅およびその付近の構造が深く関与し、乗車スペースはさほど影響しな

図1 扉と車両構造による乗車状態の差異

いと推定される。だから、車内が飽和する前に「一定の乗客数（この乗客数を「指定人員」と名付ける）が乗車に要する時間」および「その時点までの平均乗車速度」を調べれば、扉およびその付近の構造が乗車に及ぼす影響をある程度評価できると推定される。

1扉で乗車した乗客総数を100とし、「指定人員を乗客総数に対する百分率で表した値」を「指定人員が乗車するに要する時間」で除して得た値で乗車状況の評価を行えば、形式により異なる定員や客室の立席床面積（以下「床面積」という）の影響をある程度排除した状態で車両の評価を行い得る可能性がある。

今まで述べた扉の評価は乗車初期段階のものである。本来は閉扉開始時点までの扉の状況の評価するのが望ましい。しかし、乗車完了時点、すなわち、乗務員が閉扉操作を行う時点は通常はすべての扉の乗車が終了した時点である。このため、乗車状況の評価を行っている扉の乗車が完了しても直ちに閉扉動作がなされるとは限らない。このため、今回の研究ではこの時点までの評価を行うことは見合せた。

2.2.2 評価の方法 以上述べた考え方により、著者らは始発電車の駅での扉の状況を以下に定義する指数により評価することを試みた。

(1) 指定人員乗車時間：開扉時点から車内が飽和状態にならない範囲内のあらかじめ定めた乗客数を1扉で乗車させるに要する時間(s)。

(2) 平均乗車速度：指定人員乗車時間内における平均乗車速度(人/s)。

(3) 乗車達成率：乗車人員総数を100とし、乗車途上の乗車人員を上記の値の百分率で表した値(%)。

(4) 乗車達成進ちょく率：指定人員が乗車した時点の乗車達成率を指定人員乗車時間で除した値(%/s)。

2.3 降車時の評価方法

2.3.1 考え方 乗車時と同じ考え方で終着駅で混雑した電車から乗客全員が降車するときの状態を調べれば、降車について一つの評価が得られる。しかし、この方法で得た評価の実用性には疑問がある。全員が降車するときの乗客の流れは順調であり、「降車が遅いため電車が遅れる」事態が問題になったケースは少なく、まして「降りきれないで電車の発車が遅れる」事態は有り得ないからである。

最も必要なデータは、途中駅で混雑した車内から乗客の合間をすり抜けて降車する乗客の降車速度であろう。しかし、途中駅では扉付近に滞留して乗降を妨げる乗客や降車が完了しないのに割込み乗車する乗客の存在が降車速度に大きな外乱として作用する。だから、

降車の評価はこのような外乱が生じにくい状況、つまり、混雑する車内から大勢の乗客が下車する駅で行うことが一般論として好ましいことになる。

2・3・2 評価の方法 この考え方に基づいて途中駅での降車状況について、次に定義する指数により扉の評価を行うことを試みた。

(1) 指定人員下車時間：開扉時点からあらかじめ定めた乗客数を1扉で下車させるに要する時間 (s)。

(2) 平均下車速度：指定人員下車時間内における平均下車速度 (人/s)。

(3) 下車達成率：1扉の下車人員総数を100とし、ある時点の下車人員を上記の値の百分率で表した値。

(4) 下車達成進ちょく率：指定人員が下車した時点の乗車達成率を指定人員下車時間で除した値 (%/s)。

図2 朝の通勤時間帯における北千住駅の状態

Type of cars	Capacity (person)		Size (mm)				Floor space (m ²)		
	Seating	Standing	a	b	c	d	Q	R	S
A	52	85	1400	330	190	1480	7.9	10.6	10.5
B	56	72	1300	710	120	1490	8.9	10.8	10.3
C	52	83	1300	645	145	1470	8.7	10.7	10.4
D	60	90	1300	760	55	1460	8.8	10.4	9.8
E	52	75	1300	350	145	1476	8.0	10.9	9.9
F	56	94	1300	740	262	1486	9.1	11.0	10.5

図3 日比谷線の電車形式と車内の主な仕様

3. 調査方法

以下の方法により実際の乗降状況の調査を行った。

3・1 調査実施対象線区 調査対象線区は営団地下鉄日比谷線で、対象駅は北千住駅および上野駅である。

日比谷線は起点の北千住駅で東武鉄道と、終点の中目黒駅で東京急行電鉄とそれぞれ相互直通運転を行っている。北千住駅では朝の最混雑時の1時間に実に約6万人もの乗客が約2分間隔で発車する8両の電車に乗車する。電車は当駅始発と東武からの直通とがほぼ交互に発車する。始発電車は大勢の乗客が集中するので多数の乗残し客を出す。このため、当駅始発電車の乗車状況を調査することにより混雑時における乗車状況の評価を行い得る可能性がある。図2に朝の通勤時間帯における北千住駅の状態を示す。

上野駅は朝の混雑時に都心に向かう満員の電車から1時間に約1.2万人もの乗客が下車する。したがって、当駅での下車状況を調査することにより混雑した車内から大勢の乗客が下車するときの扉の評価を行い得る可能性がある。

3・2 調査対象電車の形式と車両構造 調査対象車両は東武および東京急行から直通運転される電車を含め6形式である。ただし、北千住駅始発電車に使用される電車は運用の都合により4形式に限定される。これら電車の形式別の先頭車両の扉付近の構造および室内の主要寸法等を図3に示す。中間車の車内は先頭車の運転室を省いた構造、すなわち、運転室の部分を後部側車内構造に置き換えたものとなっている。

3・3 調査方法 北千住駅および上野駅で最も混雑の激しい車両の扉に対応したホーム上部にテレビカメラを取付けた。北千住駅では平成2年6月下旬の平日に5日間、上野駅では7月下旬の平日の3日間、朝の通勤時間の最混雑時に扉が開いた時点から閉じた時点までの乗客の乗降状況を録画した。

北千住駅での調査対象扉は1両めの運転室直後の第1扉および同じ車両の中央扉の2箇所である。これら二つの扉の幅は同じであるが、第1扉の床面積は図2に示すように運転室の関係で狭くなっている。上野駅では7両めの中央扉を調査対象とした。録画した画像は再生し、第2章で述べた評価を行った。

4. 調査結果および考察

4・1 乗車状況調査の結果 図4は調査を行った5日間に北千住駅始発の70本の調査対象電車の先頭車第1扉について、開扉から閉扉が完了するまでの累

積乗車人員を5秒間隔で調査した結果の平均値を形式別に示し、図5は中間扉についての同じ調査結果を示す。図6は図4のデータについて5秒ごとの乗車人員を調べたもの、図7は図5のデータについて同じ方法で調べて得たものを示す。図8は形式A（以下「形式」を省く）電車中央扉の開扉直前の乗車状況を示す。

図4および6に示すように第1扉はおおむね80名が乗車するまで順調な乗車が行われている。中央扉は図5および7に示すようにDを除き、ほぼ約90名が乗車するまで順調な乗車が行われている。「指定人員」はこの値より低く設定する必要がある、60名とした。

順調な乗車がなされる限界は定員の約1.9倍程度である。多くの鉄道はラッシュ時の混雑緩和目標を定員の2.0倍としている。順調な乗車が行われる限界もこの値にほぼ一致している。混雑をこの程度に抑えれば乗降時間増大による電車の遅延も防止できる。

順調な乗車状態にある開扉後20秒までの間で開扉から5秒ごとの「経過時間」と「累積乗車人員」から両者の直線回帰式を算出し、この式から各形式および扉ごとの「平均乗車速度」および「指定人員乗車時間」（60名乗車に要する時間）を求めた。さらに、得た扉ごとの乗車人員総数から指定人員の乗車達成率を算出し、この値と指定人員乗車時間とから「乗車達成進捗率」を計算した。これらの値を表1に示す。本表

図4 電車形式別の累積乗車人員(1号車第1扉)

図5 電車形式別の累積乗車人員(1号車中央扉)

には「扉ごとの乗車人員総数から座席定員で換算した乗客数を減じた数（すなわち、扉ごとの推定立席乗客数）」を「各扉に対応した床面積」で除した値、すなわち、「床面積1m²当たりの推定立席乗客数」も併せて示す。

4・2 乗車状況についての考察 順調な乗車が行われるときでも図6と図7に示すように「5秒ごとの乗車人員」は若干の変動がある。乗車開始直後に乗車人員が多いのは、整列乗車列の最前列付近の乗客が開扉と同時に座席確保のため早足で乗車するためである。

車内が飽和して乗車速度が低下する直前に一時的に乗車人員が上昇するのは、この時点付近で鳴動する発

図6 電車形式別の5秒毎の乗車人員(1号車第1扉)

図7 電車形式別の5秒毎の乗車人員(1号車中央扉)

図8 北千住における乗車状態(形式はA, 第1扉)

車ベルにより乗車列後方の乗客が乗残されるを恐れて扉に押し寄せるためである。ベルによりこの間に図示のごとく約7名程度の乗車人員が増加したとするなら、当人員分の乗車時間が節約されたことになる。ベルによる「押寄せ」がなかった場合に、この人員の乗車に要する時間は順調な乗車速度のもとで2.0~2.5sである。

したがって、ベル鳴動は少なくとも前記時間だけ乗車時の短縮に役立つことになる。

開扉から約20秒までの順調な乗車が行われる間の第1扉と中央扉の「5秒ごとの乗車人員」を見ると、図6および7に示すとおり乗車初期の第1扉の値が若干低いことを除き、同じ形式では相互に近似した値を示す。第1扉入口付近の車内構造は運転室側の奥を除いては中央扉のそれとはほぼ同一である。著者らは先に車内が飽和するまでの間の乗車速度は床面積に支配されることは少なく、むしろ扉付近の車内構造に支配される可能性が高い旨を述べた。上記の結果はこの推定がおおむね妥当であることを示している。乗車初期に第1扉の値が若干低いのは、第1扉の座席数が運転室の関係で大幅に少なく、座席確保を意図して車内に早足で進む乗客が少ないためと思われる。

次に扉幅が他より100mm広いAの乗車状況を考察しよう。Aの指定人員乗車時間、平均乗車速度および乗車達成進捗率は他の形式と比べ、ほとんどの場合に優れた傾向を示す。ただ、第1扉に限っては、Aの乗車速度および指定人員乗車時間はBに比べやや劣る。Aの第1扉に対応した床面積は図3に示すようにBに比べて狭い。このような狭い乗車スペースが上記の結果を生んだと思われる。これを除けば順調な乗車が行われる間の乗車速度は他の形式より優れていることは明らかで、扉の拡張効果を認めることができる。

乗車人員総数をみると第1扉ではAはBに比べ約13名少なく、中間扉ではAはBに比べ約10名、Cに比べ7名少ない。Aの第1扉乗車人員総数がBとCに

比べ少ないのはAの床面積が少ないためである。事実、Aの単位床面積当たりの立席乗客数(いわゆる「乗り」)はBやCに比べそんな色はない。中央扉についてAの乗りがBとCに比べ少ない理由は明らかではない。

録画した画像を見ると車内が飽和した後に扉の両袖付近に乗客が滞留し、乗車を妨げている傾向が見られる。この傾向は袖の面積が狭いDではとくに目立ち、ここに立ち止まった乗客の体が大きく扉にはみ出して乗車の流れを著しく妨げている。調査の結果でもDの平均乗車速度や乗車人員総数は低い。扉の両袖付近に滞留する乗客によって乗車速度が低下しないように、この部分の面積はある程度確保することが望ましい。

4.3 降車状況調査の結果 朝の通勤時間帯に上野駅に停車した都心に向かう延べ112本の調査対象電車から下車した乗客数平均値は1電車当たり25.9人であった。この値は電車により多様に変化し、多い場合は40名以上、少ない場合はわずか5名であった。そこで、調査対象すべての電車の中から各形式で最も下車客が多かった電車3本ずつ合計18本を選び評価を実施した。これら電車からの下車人員の平均は32.2名である。

朝の混雑時に北千住駅を出発するすべての電車は満員で、図5に示したように中央扉は約100名程度の乗客がある。北千住~上野駅間にある3駅の朝の最混雑時間帯1時間の合計下車人員は約8千人、一方乗車人員は6千人に過ぎない。したがって、北千住~上野駅間での乗客数の変化はほぼ無視して差しつかえない。すると、上野駅で評価を実施した扉からは乗客の約3分の1が下車したことになる。

当駅で開扉から下車完了までの形式別累積下車人員を2秒間隔で調査した。その結果の平均値を図9に示す。図10は図9について2秒ごとにその間の下車した人員を調べたものである。

図9および10に示すように下車人員は形式により若干の差異がある。約20名が下車するまで(時間にして開扉後約10秒経過まで)の間の下車速度はほぼ一定

表1 乗車時の評価

Position of door	Type of cars	Time required to get on 60 passengers (s)	Riding speed (person/s)	Riding accomplishment ratio (%/s)	Total No. of passengers (person)	No. of passenger standing on 1m ² floor area
1st	A	18.4	3.2	3.3	98.8	11.4
	B	17.9	3.3	3.0	111.7	11.4
	C	20.2	2.9	2.9	102.4	10.7
	D	19.8	3.0	3.1	97.8	9.0
2nd	A	17.0	3.5	3.1	113.9	9.0
	B	16.8	3.5	2.9	123.2	9.6
	C	18.3	3.1	2.7	121.4	9.7
	D	18.9	3.1	3.3	96.2	7.1

で、この間は順調な下車が行われている。そこで、「指定人員」を20名と定めた。

開扉後10秒までの間で得た形式別の2秒ごとの「経過時間」と「累積下車人員」とから両者の関係を表す直線回帰式を算出し、この式から各形式ごとの「平均下車速度」および「指定人員下車時間」(20名下車に要する時間)を求めた。さらに、得た扉ごとの下車人員総数から指定人員の下車達成率を算出し、この値と指定人員下車時間とから「下車達成進ちょく率」を計算した。これらの値を表2に示す。

4・4 下車状況についての考察 順調な下車が行われるときでも図9と図10に示すように「2秒ごとの下車人員」は若干の変動がある。下車開始直後に下車人員が多いのは扉付近に乗車していた乗客が開扉と同時に車外に押し出されるためである。形式Dの下車速度が低い理由は4・2節で述べたと同じように、扉袖部に立ち止まった乗客の体が扉部分にまではみ出して、降車客の通路を妨げるためである。

次に扉幅が他より100mm広いAの下車状況をみると、平均下車速度および指定人員下車時間は他の形式に比べ、ほとんどの場合に優れた傾向を示す。ただ、下車達成進ちょく率に限ってはDに比べやや劣る。しかし、Dは4・2節で述べたように他形式に比べ乗車人員総数も相当少なく、平均下車速度も低い。したがって、この値だけをとりてAがDに劣ると判断するのは妥当でない。このような結果からみれば、扉の拡幅は下車の状態についても好ましい結果を及ぼすと判断

できる。

4・5 その他 相互直通運転を実施している鉄道間では直通運転に供する電車の性能および主要な仕様などは統一しているが、扉付近の構造は特に統一していない。以上の結果からは、運動電車の運行に支配的な影響を及ぼす混雑駅での停車時間には、扉付近の構造が大きな影響を及ぼすことが明らかになった。この事実を踏まえれば、直通運転を行う電車はこのような部位についても統一した構造とすることが望ましい。

5. 結 論

著者らは通勤電車乗降扉の構造などが乗客の乗降に及ぼす影響を調査するために、乗降状態を定量的に把握する新しい評価方法を提案し、この方法に基づいて朝通勤時間帯の地下鉄日比谷線北千住駅における始発電車の乗車状態および上野駅における混雑した電車からの下車状態をテレビで撮影し、その画像を調査解析した。その結果、次のようなことがわかった。

(1) 混雑駅での始発電車の乗車状況を調査することによって、形式や車両構造の異なる通勤電車について車内が飽和する以前の間における乗車状況を同一の尺度で定量的に評価することができる。

(2) 上記の方法により調査を行った結果、通勤電車の扉の幅員を従来の1300mmから100mm拡幅することによって、混雑時における車内が飽和する以前の乗車速度および乗車進ちょくの達成状況ならびに混雑した車内から大勢の乗客が下車する場合の下車速度および下車進ちょくの達成状況が改善されることを確認した。

(3) 前記の方法による調査を行った結果、扉袖部の床面積が少ない車両は乗客が当該地点に立ち止まると乗降通路が狭まり、その結果、混雑時には乗降速度および乗車人員総数の低下を引き起こす。

(4) 相互直通運転を実施している線区を運転する車両については、その性能および主要寸法だけに留ま

表2 下車時の評価

Type of cars	Time required to get off 20 passengers (s)	Riding speed (person/s)	Riding accomplishment ratio (%/s)	Total No. (person)
A	6.7	3.0	9.0	34.3
B	7.1	2.8	8.7	32.5
C	7.4	2.7	8.5	31.5
D	8.3	2.4	9.7	24.9
E	6.9	2.9	8.4	34.1
F	6.7	3.0	8.9	35.1

図9 電車形式別の累積下車人員(7号車中央扉)

図10 電車形式別の5秒毎の下車人員(7号車中央扉)

らず、乗降状態に深い影響を及ぼす扉付近の詳細な構造についても統一した構造とすることが望ましい。

(5) 混雑時に車内が飽和する時点付近で発車ベルが鳴動すると乗車速度は一時的に上昇し、その結果、乗車時間は約2秒またはそれ以上短縮される。

(6) 大勢の乗客が乗車する駅において、車内の混雑がおおむね定員の2倍を上回らない場合には、乗車の状況は順調である。したがって、乗客に快適な車内環境を提供するという見地からだけでなく、乗降時間を適正に維持し電車の正常な運行を確保する見地からも混雑時の定員は2倍以内に留めることが好ましい。

本研究の実施に際しては JR 東日本の佐藤芳彦および佐藤裕氏ならびに日本鉄道運転協会の大塚和之氏から多くのご教示を受けた。車両構造寸法の詳細については東急車両の鳩野五世夫氏から多くの資料提供を受

けた。駅における乗降調査の実施に際しては JR 総研の小林俊顕氏、東武鉄道運転車両部および北千住駅ならびに営団地下鉄運輸本部および上野駅務区の多大な協力を得た。データの解析については営団地下鉄本社総合計画部および車両部の関係条位の多大な協力を得た。ここに深謝の意を表する。

本研究は営団地下鉄から(社)日本鉄道運転協会へ委託された研究課題「地下鉄車両乗降口扉に関する研究」により実施されたものであることを付記する。

文 献

- (1) 吉江, 電車輸送と建設, (1980), 47, 交友社.
- (2) 車両工業デザイン委員会, 通勤電車の側出入口, 車両技術, 車両デザイン特集号, (1963), 12.
- (3) 小関, ラッシュ時における通勤客流動のデータ, 鉄研速報, No.68-131, (1968), 32.