

シミュレーションと実測実験における電車への乗降時間の比較

01308650 財団法人 鉄道総合技術研究所 *武内 陽子 TAKEUCHI Yoko
 01302440 東京工業大学 高橋 幸雄 TAKAHASHI Yukio
 財団法人 鉄道総合技術研究所 富井 規雄 TOMII Norio

1. はじめに

鉄道はあらかじめ決められた運行計画に基づいて運行されているが、駆け込み乗車などによる乗降時間の変動で遅延を起こしやすい。乗降時間を正確に予測して、各駅の停車時分を必要最小限とした列車ダイヤを作成することは、鉄道の時間正確性向上のために非常に重要である。しかし、乗降時間に影響を及ぼす要因は、乗降人数、混雑度、車両の構造、ホームの構造（とくにホームの幅と階段の位置）など様々であり、これらの要因による影響を実測から量的に把握することは非常に難しい。そのため、計算機によるシミュレーションを用いて乗降時間を予測する手法が求められている。

関連した研究がいくつかなされている。例えば [1] では、一車両の 1/4 サイズのモックアップ（実寸大）模型と試験用ホームを作り、被試験者が乗降する様子をビデオカメラで撮影し、乗降時間を測定している。これにより、車両内の状況と乗降時間の関係がある程度量的に把握できる。[2] では、駅設備を変えた場合に旅客流動がどのように変化するかを見るために、「駅構内旅客流動シミュレーション」を構築し、実際に駅設備の設計に適用して効果を上げている。[3][4] で、筆者らは「乗降立ち位置モデル」を提案し、乗客が電車に乗り込み、座ったり立ち位置を決め、降車駅に着いたら降りるという車内の様子をモデル化し、計算機を用いたシミュレーション実験でその様子を視覚的に確認した。

本稿の目的は、[4] での乗降立ち位置モデルによる乗降時間シミュレーション値と [1] でのモックアップ模型を用いた乗降時間の実測値を、比較することである。これらの値が同じ傾向を示してくれれば、乗降立ち位置モデルをベースとした乗降時間シミュレーションを実用化する可能性が出てくる。

2. モックアップ模型による乗降実験[1]

上述の [1] では、モックアップ模型と試験用ホームを用いて、様々な状況、たとえば整列乗車の場合、降車が終了する前に乗車を開始する場合、車内の乗客が降りる客を遮る場合、一旦降りて道をあける場合、さらにはホームを狭くした場合などを再現し、客の乗降に要する時間を測定している。モックアップは実際の 1/4 をイメージし、長さは 450cm、車体幅は 260cm と 290cm の 2 通り、ドア幅は 130cm と 150cm の 2 通りの合計 4 通り、図 1 のように 12 個の座席があり、車体幅が 260cm のときの定員は 36 人である。ここでは様々な車内混雑度・乗降人数について実験を行っており、そのときの最大乗車人数は 99 人（乗車率 275%）であった。実験結果全体は従来の駅における調査とほぼ同様の傾向を示し、乗降人数が同じ場合でも、車内が混雑すればするほど乗降にかかる時間が増えることが報告されている。

3. 乗降立ち位置モデル[4]

[4] での乗降立ち位置モデルは、電車内での乗客の立ち振る舞いをなるべくシンプルでパラメータの少ないモデルでモデル化することを目標とした。乗車時（乗車モデル）、車内にいる時（立ち位置モデル）、降車時（降車モデル）のそれぞれにおいて、各乗客の居心地の悪さをポテンシャル関数として与え、各乗客は自分のポテンシャルがもっとも小さくなる位置を探す。ポテンシャル関数に影響を与える要因は、周囲の乗客の近さと視線、空席、つり革、および乗降時の車内・車外へのインセンティブである。そして降りる客のために道を譲るメカニズムを盛り込んでいる。

シミュレーションでは、客を順番に一人ずつ選び、自分以外の乗客の位置を固定したときのポテンシャルを計算し、ポテンシャルが小さくなる方向へ 15cm 以内の移動と 10° 以内の体の向き変えを行なう。全ての乗客がこのようにして 1 回動くと、1 単位時間経過することとする。単位時間ごとの乗客の位置を連続してコマ送りのように表示すれば、乗客が乗降する様子を視覚的に確かめることができる。詳細は [4] を参照されたい。

4. シミュレーション実験

[4] では乗客行動のモデル化が主目的であったため、シミュレーションにおける単位時間を実際の時間へと変換する方法についてはほとんど検討していない。ここでは [1] と同じ状況でのシミュレーションを行い乗降時間を求め、これが実測データと同じような傾向が見られるかに注目する。このモデルでは乗車率が 200% までしかシミュレーションできていない。よってここでは車内人数が 72 人以下のみ比較を行う。

ここでの実験は、車内にある人数の客が乗っていて、電車が駅についてそのうちの何人かが降り、また何人かが乗り込んでくるという場合を想定している。そこでシミュレーションでは、まず車内にいる人数分の乗客を乗せて 200 単位時間経過しほぼ平衡状態になってから、降りる人数分の客をランダムに選び、ドアを開けて降車を開始させる。この際、ドア付近で降りる人の邪魔になっている乗客は、一旦ホームに降りて降りる人がいなくなるまで待つ。降車が終了

すると、この一旦降りていた客が再乗車し、それに続いて新たに乗り込む客の乗車が開始される。実測とシミュレーションでは、降車時間、再乗車時間、乗車時間に分けて測定を行い、これらの合計を総乗降時間とする。シミュレーションでは、降車する乗客は（座っている乗客も含め）車内にいる乗客の中からランダムに選ぶ。選び方により降車時間にばらつきがでるため、選び方を100通り変えて、その平均と標準偏差を求めている。現在のモデルはホーム部分を含まないため、乗客の身体がすべて車外に出たとき降車は完了し、その客は居なくなる。また、乗客が乗車する際は、1つのドアから同時に2人ずつ入る。

表1はドア幅130cm、車体幅260cmの整列乗車における車内乗降人数とそれに対する降車時間、再乗車時間、乗車時間、総乗降時間の[1]による実測値（秒）、およびシミュレーションによる実験値（シミュレーション単位時間）の平均と標準偏差を示したものであり、図2はこの結果をグラフで表現したものである。

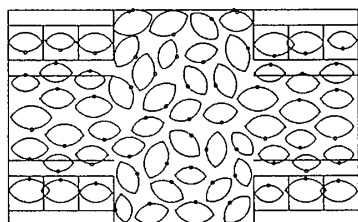


図1: シミュレーションでの立ち位置の様子（乗客65人）

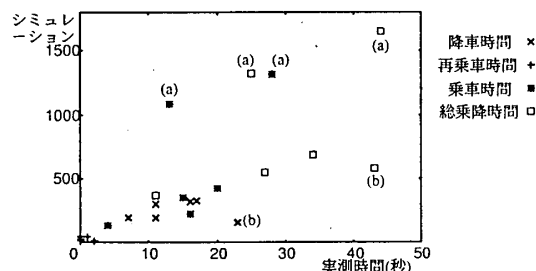


図2: 乗降時間の比較

表1: 実測結果とシミュレーションによる実験結果（ドア幅130cm、車体幅260cm）

人数(人)			降車時間			再乗車時間			乗車時間			総乗降時間		
車内	降車	乗車	実測	平均	偏差	実測	平均	偏差	実測	平均	偏差	実測	平均	偏差
54	9	9	7	192.5	54.3	0	42.6	17.7	4	134.5	61.7	11	369.6	88.2
54	9	27	11	196.0	51.6	1	42.2	19.7	13	(a)1084.0	306.6	25	(a)1322.2	309.8
54	18	18	11	198.5	95.3	0	25.6	12.5	16	225.2	64.9	27	549.3	118.0
54	36	36	17	323.8	85.8	2	14.0	15.8	15	349.0	52.2	34	686.7	106.5
54	36	54	16	321.2	83.1	0	13.7	25.1	28	(a)1318.0	242.4	44	(a)1652.8	262.5
54	54	54	23	(b)158.6	14.4	0	0.0	0.0	20	422.7	48.3	43	(b) 581.3	48.9

この結果を見ると、21単位時間を1秒と考えれば、概ね実測値とシミュレーション値が対応することが読みとれる。しかし、いくつかこれに当てはまらないケースがある。表1と図2で(a)という記号が付けられているケースでは、乗車後の車内人数が72人で乗車率200%となるため、シミュレーションでの乗車時間が実測値より大幅に大きい。これは乗車時に押しながら車内に入ることや、既に乗っている人が後から乗ってくる人のために奥に詰めることをモデルに取り入れていないためと思われる。また表1と図2で(b)という記号が付けられているケースでは、シミュレーションでの降車時間が実測値よりかなり小さい。これはホームでの混雑が考慮されていないことと、1回に動けるステップ幅が15cm（これは歩行速度が最大3m/sに相当する）と大きめになっていることが影響しているように思える。

5. おわりに

本稿では、乗降時間に注目してモデルと実測結果との比較を行ない、明らかにモデルの不備が原因と思われる点を除いて、ほぼ満足できる結果を得ることができた。今後は、今回明らかになった問題点を改良するとともに、乗降速度など他の定量的な尺度とも比較を行ない、乗客の振る舞いの特性を考察することを通してより洗練された乗降立ち位置モデルを完成させ、乗降時間予測シミュレーションの実用化を目指したい。

参考文献

- [1] 大戸 広道, 青木 俊幸, 河合 邦治, 都築 知人, “鉄道駅における旅客流動に関する研究”, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, pp.845-846, 1999.9.
- [2] 青木 俊幸, “駅における旅客流動の評価”, JREA, Vol.42, No.1, pp.18-20, 1999.1.
- [3] 藤田 陽子, “電車内における人の立ち位置モデルとシミュレーション”, 2000年度日本オペレーションリサーチ学会秋季研究発表会, pp.236-237, 2000.9.
- [4] 藤田 陽子, “電車内における人の乗降立ち位置モデル”, 東京工業大学大学院情報理工学研究科数理・計算科学専攻 2001年度修士論文（高橋幸雄研）, 2002.3.