

セルオートマトンを用いた駅ホームでの滞留現象の分析*

Simulation of Complication at Platform Using Cellular Automata

下原 祥平** 谷浦 聡*** 島崎 敏一****

Shohei SHIMOHARA, Satoshi TANIURA, Toshikazu SHIMAZAKI

1. はじめに

鉄道は、通勤・通学のための交通手段として多くの人々に利用され、朝・夕のラッシュ時には都市部の駅を中心に慢性的な混雑が起きている。特に、駅ホーム階段部付近では、電車から降りてくる客によって滞留が生じる現象が起きていて、歩行するのに余計な時間を費やしてしまっている。この数多くの利用者一人一人が、安全かつ円滑に駅の中を移動できるようにすることは、駅に課せられた必要条件であり、混雑時にもよりスムーズな流動環境を提供していく必要がある¹⁾。

本研究では、ラッシュ時に階段部付近で起こる滞留現象をシミュレーションにより2次元空間上に視覚的に再現し、滞留現象とその因果関係を把握することを目的とする。

2. 実測による研究方法

JR吉祥寺駅・中央線快速上りホーム(4番線)を研究対象とした。図1に駅ホーム階段部付近の概略図を示す。平日・夕方のラッシュ時間帯である11月16日(金)の17:44~19:34発車の34本の電車を対象とし、ホーム階段部付近でストップウォッチとカウンターを用いて、開扉後

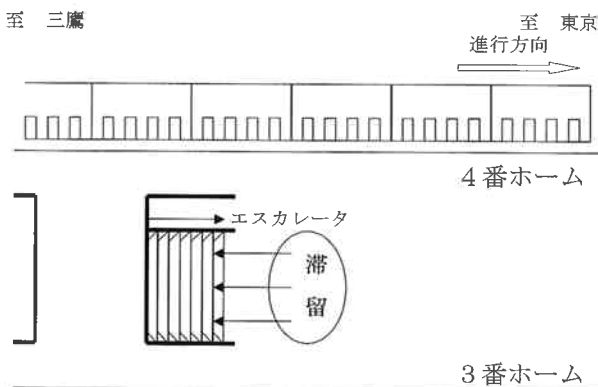


図1 駅ホーム階段部付近概略図

Key Words: 歩行者交通行動, セルオートマトン, 滞留

日本大学理工学部, 正会員, *西武鉄道,

****日本大学理工学部, フェロー

〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14

から滞留発生までの時間、滞留継続時間、および階段到着人数を計測する。また、車両の各扉からの降車人数、ホームや階段の幅、各ドアから階段までの距離を計測する。

3. 実測による結果

調査データを取った34本のうち、下り電車からの降車客の影響がなかったデータ20本を有効データとした。表1は、対象の電車からの各ドア別の降車人数と合計降車人数および滞留継続時間と各ドアから階段までの距離を示したものである。(ただし、1両目と2両目からの降車人数は車両単位で数えた。また、4両目3ドア以降の階段の入り口に対して直進して行けない巻込みの位置にあるドアから降りた降車人数は巻込み部として合計して数えた。)図2は、降車人数と滞留継続時間の関係を示したものである。

図2より、基本的には降車人数が増えれば滞留継続時間も長くなっているが、下り電車を待つ

表1 実測結果と階段までの距離

距離(m)	1	2	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1	4-2	巻込み部 (-)0.6~	合計 (人)	滞留継続時間(秒)
17:44	47	58	13	22	18	26	29	28	70	311	103
17:48	5	28	2	2	4	6	5	4	16	72	11
17:50	13	13	5	3	3	10	12	10	40	109	36
17:53	24	26	3	7	5	6	13	15	33	132	50
17:55	7	20	8	11	6	7	8	7	44	118	46
18:00	13	22	4	7	8	4	16	14	49	137	40
18:02	9	21	5	5	5	9	4	9	21	88	29
18:04	11	43	3	6	2	4	14	12	49	144	43
18:08	16	38	7	3	9	6	16	13	45	153	59
18:25	14	35	3	3	5	6	7	11	31	115	40
18:39	10	16	7	3	9	15	18	22	36	136	59
18:43	26	38	11	7	19	20	13	25	63	222	68
18:49	14	36	9	5	10	9	11	11	38	143	50
18:57	1	6	2	1	0	3	3	6	17	39	5
19:14	6	9	2	4	5	4	4	6	15	55	17
19:16	3	9	3	5	2	4	4	4	14	48	17
19:21	9	19	3	5	4	6	11	25	43	125	58
19:29	17	34	4	9	8	10	10	25	47	164	61
19:32	7	19	6	6	5	1	11	9	16	80	20
19:34	3	9	4	5	3	2	2	5	20	53	12

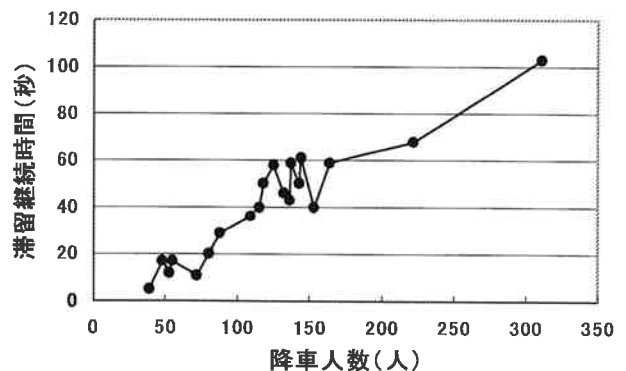


図2 降車人数別の滞留継続時間

乗車客の列が、時間によっては階段部付近にまで続いていたり、京王井の頭線からの乗り換え客だと思われる客が大勢階段を上がってくる現象などが、滞留継続時間と深く関わっていると考えられる。また、ほとんどの場合は階段部に近いドアほど多くの客が降りていて、これらのことが開扉数秒後に滞留が発生している要因の一つと考えられる。

ホーム幅9 (m)、階段幅3.6 (m)、エスカレータ幅1.6 (m)、巻込み部の幅1.8 (m)、降車客の平均歩行速度1.2 (m/s)、階段の平均サービス率3.43 (人/s)、階段1m当たり0.95 (人/s/m)であった。

4. シミュレーションによる分析方法

実測によるデータより、セルオートマトンを用いて駅ホーム階段部付近の状況を2次元空間上に再現し、以下のシミュレーションを行う。

i) 実測時と同じ設定の場合 (実測の再現)

各ドアを独自の属性や行動ルールを持った一つの仮想的な生き物であるエージェントとして扱い、有効データ20本の各々の場合において、実測によって求めた各ドアからの降車人数を各ドアエージェントに輸入して流動シミュレーションを行い、階段部付近での滞留現象を2次元空間モデル上で表現し、各々の場合の滞留発生・終了・継続時間・降車客全員が階段に到着した時間 (=全所要時間) を求める。また、平均降車・到着・滞留人数の時間推移を求める。最後に、実測値とシミュレーションにより求めた予測値を比較し考察する。

ii) 降車人数を各ドアに均等に分散させた場合
各ドアからの降車人数を {実測の降車人数 / ドアの数} の値に設定して、i) と同様の流動シミュレーションを行い、i) の結果と比較し考察する。

iii) 階段幅を変えた場合

階段の幅を変えて、i) と同様の流動シミュレーションを行い、i) の結果と比較し考察する。

5. 分析結果

i) 実測時と同じ設定の場合 (実測の再現)

有効データ20本の各々の場合において、10回ずつ流動シミュレーションを行った。図3はシミュレーションの2次元空間上に再現された吉祥寺駅中央線快速ホーム階段部付近と降車客の動く様子である。表2は各々の場合の平均した滞

留発生・継続時間と最大滞留時間、最大滞留人数を示したものである。これより滞留発生時間はほとんどで9秒前後であるが、ほとんどの場合が開扉後5~7秒前後で発生した実測に比べ、約3秒の遅れがある。これは、シミュレーションでは降車客の歩行速度を実測の平均歩行速度1.2 (m/s) と一定に設定したのに対し、実測では階段まで走ってくる降車客がいたため、これらの降車客が先頭になって、シミュレーションよりもはやく滞留を形成した時間の差だと考えられる。

図4は、降車人数と滞留継続時間の関係を示したものである。実測の場合同様、直線にはならなかった。この理由として、シミュレーションでは乗車客の列や、階段やエスカレータを上がる客を考慮していないので、これらの人が通行の邪魔になっていたこと他に、降車客の降車位置の分布の違いが滞留と深く関わっていると考えられる。

図5, 6は、平均降車・到着・滞留人数の時間推移である。平均到着人数の時間推移曲線を見ると、有効データ20本のどの場合でも、開扉後10秒までは傾きが緩いが、10秒を過ぎると傾きが急になり、その状態は全所要時間の約5秒前ま

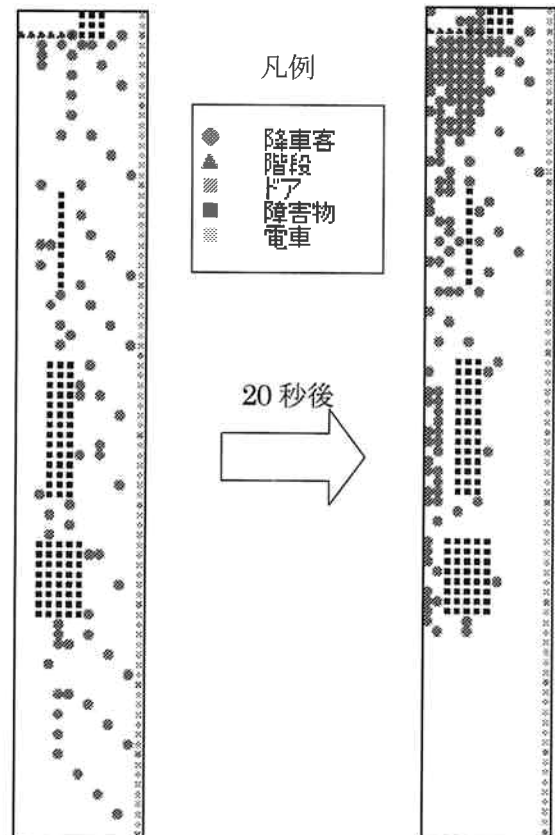


図3 降車客の動く様子 (17:44 発の場合)

表2 シミュレーションの結果

(発車)時刻	降車人数 (人)	滞留発生時間 (秒)	滞留継続時間 (秒)	最大滞留時間 (秒)	最大滞留人数 (秒)
17:44	311	9	84	48	127
17:48	72	15	12	15	18
17:50	109	9	33	15	33
17:53	132	12	48	17	42
17:55	118	9	45	30	35
18:00	137	9	42	21	47
18:02	88	9	30	18	27
18:04	144	9	48	42	34
18:08	153	9	54	20	42
18:25	115	9	45	15	25
18:39	136	6	45	21	62
18:43	222	9	60	33	76
18:49	143	9	42	18	39
18:57	39	0	0	15	7
19:14	55	9	6	12	17
19:16	48	0	0	18	7
19:21	125	9	42	21	48
19:29	164	9	48	24	59
19:32	80	9	21	21	24
19:34	53	15	15	18	11
平均	122.2	8.7	36	22.1	39

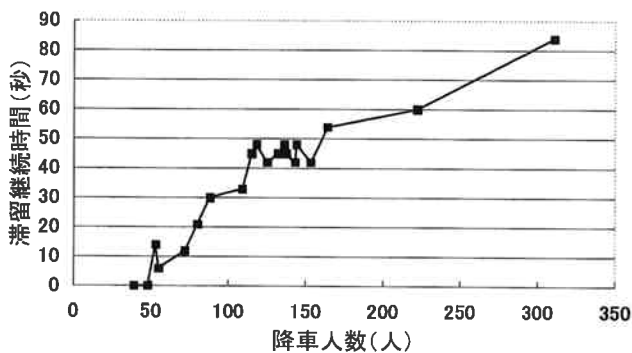


図4 降車人数別の滞留継続時間

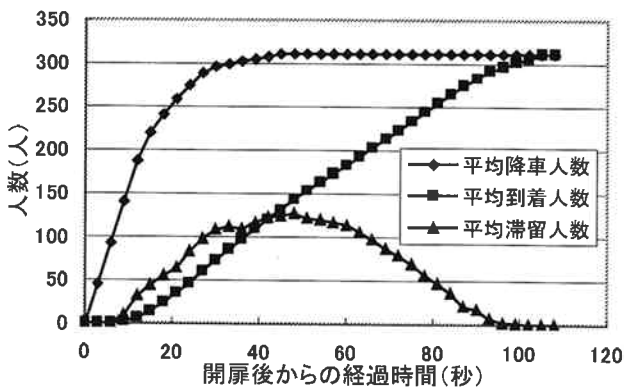


図5 17:44 発 (降車人数 311 人) の場合

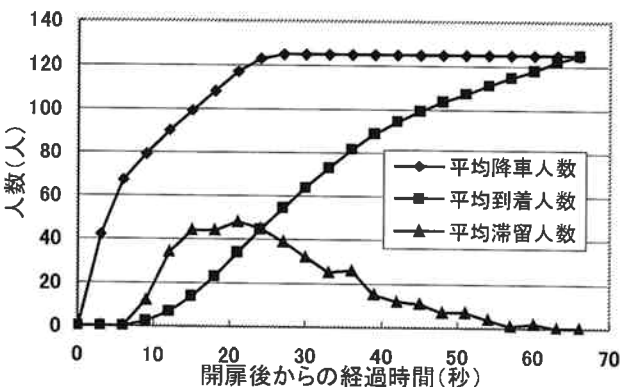


図6 19:21 発 (降車人数 125 人) の場合

で続いている。また、平均滞留人数の時間推移曲線は、どの場合でも、開扉後8秒前後で傾きが急になり、10秒を過ぎたあたりで傾きが最も急になっている。しかし、その後の推移は各々の場合で大きく異なる線形をしている。

ii) 降車人数を各ドアに均等に分散させた場合

有効データ20本の中から、最も降車人数が多かった17:44発(降車人数311人)と、有効データの平均降車人数122.2(人)に最も近い19:21発(降車人数125人)の2つを選び、それぞれ10回ずつ流動シミュレーションを行った。

17:44発および19:21発の場合とも、平均到着人数はii)の方が少なくなったが、最大滞留人数もii)の方が少なくなった。また、ある時点で平均滞留人数の大小が入れ替わり、ii)の滞留終了時間の方が遅くなった。表3、4および図7は、17:44発のi)とii)の場合の各ドアからの降車人数、各数値データ、平均降車・到着・滞留人数の時間推移を示したものである。

iii) 階段幅を変えた場合

ii)と同様に、17:44発と19:21発の2つのデータを選び、2次元空間モデル上の階段幅を1マス(60cm)広げて、それぞれ10回ずつ流動シミュレーションを行った。

17:44発および19:21発の場合とも、iii)の滞留終了時間の方が早くなり、滞留継続時間も短くなった。また、平均滞留人数もほぼ全時間帯で少

表3 各ドア別の移動距離と降車人数

	1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1	4-2	4-3	4-4	合計
距離(m)	67.4	62.8	58.2	53.6	47.8	43.2	38.6	34.0	28.0	23.4	19.0	14.4	8.8	4.0	0.0	0.0	311
i)	11	12	12	14	14	15	15	13	25	18	26	28	28	28	28	28	42
ii)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	311

表4 i)とii)の各数値データ

	滞留発生時間 (秒)	滞留終了時間 (秒)	滞留継続時間 (秒)	降車完了時間 (秒)	最大滞留時間 (秒)	最大滞留人数 (人)
i)	9	93	84	45	48	127
ii)	12	99	87	24	63	103

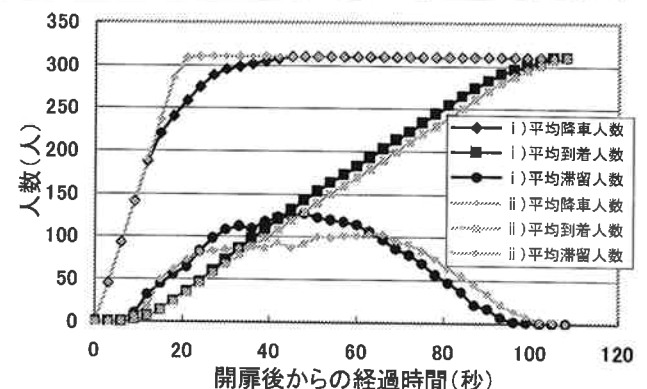


図7 17:44 発 (降車人数 311 人) の場合

なくなったが、逆に巻込み部での滞留は激しくなった。階段の平均サービス率を比べると、iii)の方が階段幅を広くした分だけ高くなったが、階段1m当りに換算すると、ほぼ同じ値となる。表5、6および図8は、17:44発のi)とiii)の場合の各数値データ、サービス率、平均降車・到着・滞留人数の時間推移を示したものである。

6. 考察 (実測とシミュレーションの比較)

表7および図9は、平均滞留継続時間とサービス率、降車人数別の滞留継続時間を比較したものであるが、仮想値の滞留継続時間の方が全体的に短くなっている。この傾向は降車人数が多

表5 i)とiii)の各数値データ

	階段幅 (m)	滞留発生時間 (秒)	滞留終了時間 (秒)	滞留継続時間 (秒)	最大滞留時間 (秒)	最大滞留人数 (人)
i)	3.6	9	93	84	48	127
iii)	4.2	9	87	78	48	126

表6 i)とiii)のサービス率

	平均サービス率 (人/s)	階段1m当たりのサービス率 (人/s/m)
i)	3.57	0.99
iii)	3.99	0.95

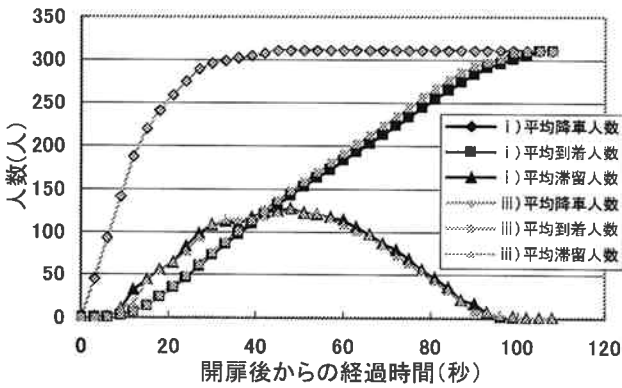


図8 17:44発 (降車人数 311人) の場合

表7 実測値と仮想値の比較

	平均滞留継続時間 (秒)	平均サービス率 (人/s)	階段1m当たりの平均サービス率 (人/s/m)
実測値	41.2	3.43	0.95
仮想値	36.0	3.66	1.02

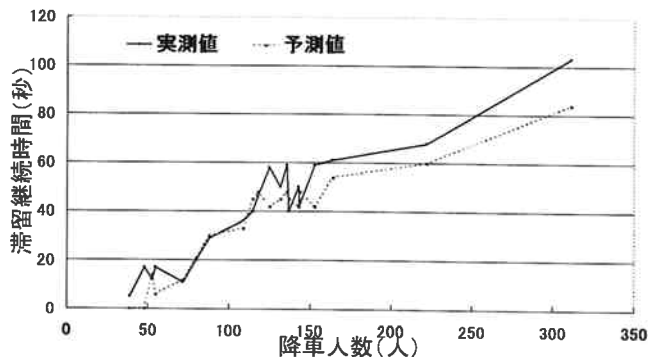


図9 降車人数別の滞留継続時間の比較

くなるほど顕著に表れ、このことから、降車人数が多くなるほど駅ホーム階段部で起こる滞留がより複雑に形成されていて、シミュレーションでは再現しきれなかったと考えられる。実測値および仮想値の平均サービス率と階段1m当りに換算した平均サービス率を比べると、ほぼ近い値となり、実測の滞留現象に近い状況をシミュレーションで表現できたと思われる。

また、滞留とは階段への到着密度(人/s)が、階段の処理するサービス速度(人/s)を上回る時に発生するが、研究結果より、次のような要因が滞留現象と深い因果関係を持っていると考えられる。

- ①段を上がってくる客や電車を待つ乗車客の列が、時間によっては邪魔する形となり、階段の処理するサービス速度を低下させている。
- ②段に近いドアほど多くの人降ることで、開扉数秒で階段への到着速度が一気に膨れ上がってしまっている。
- ③上り電車と下り電車が同じようなタイミングで到着した場合も、②同様である。
- ④降車客一人一人の歩行速度の違いが、階段の処理するサービス速度を増減させている。

よって、階段部付近の滞留を解消するには、降車客を各階段に均等に分散させるように階段を複数設置したり、階段を上がる客と降りる客の通路を明確に分けるなどの処置が考えられる。

7. まとめと今後の課題

今回は上下線が同じようなタイミングで到着したときの滞留は表現が困難になるので断念したが、現在の過密ダイヤでは実際こういったケースもよくあるので考慮しなければならない。また、階段幅が同じ場合でも、①階段だけの場合、②階段とエスカレータの場合、③エスカレータだけの場合、では滞留現象に違いがあると考えられる。さらに、今回2次元空間上の降車客の歩行速度は実測の平均歩行速度に設定したが、実際は全員が同じ速度で歩くとは考えられず、今後はこういった課題を解決するため、このモデルをさらに改良して精度を向上させる必要があると思われる。

【参考文献】

- 1) 青木 俊幸, 143回鉄道総研月例発表会, 駅における人の流れ