避難時における鉄道駅改札口通過群集の通行部選択特性

－間隙通過時における歩行者の行動特性 その1－

CROWD FLOW OF EVACUEES PASSING THROUGH TICKET GATES
OF RAILWAY STATIONS

－ Behavioral characteristics of evacuees passing through narrow passages Part 1－

藤井 皓介*, 佐野 友紀**

Kosuke FUJII and Tomonori SANO

Human subject experiments were conducted on the crowd flow of evacuees passing through a ticket gate at a railway station. The ticket gates at railway stations are typically narrow and therefore hinder the navigation of passengers through them during evacuation in the case of fire. In the experiment, 48 subjects passed through a ticket gate with 3 passages. The subjects approached the ticket gate from various start positions and went toward various goals. On the basis of the experimental results, the characteristics of evacuees' selection of one of the multiple passages of the ticket gate were elucidated and a calculation model was developed.

Keywords : Station, Ticket Gate, Crowd Flow, Evacuation, Width of Narrow-passage

駅, 改札口, 群集流動, 避難, 狭小通路幅員

1. はじめに

建築物や運輸施設、都市空間において歩行者が通過する経路には、歩行者の身体寸法や人数に対して幅員が狭い場所が存在し、このような場所では歩行者が歩行する際に物理的制約の生じない空間と比較して歩行性状が異なると考えられる。鉄道駅の改札口やスタジアムのゲートを群集が通過する場合など、狭い場所を通過する行為は日常的に生じる。歩行時に必要な寸法については建築設計において求められ、現在に至るまで研究・資料の作成が行われている^{1)~5)}。特に混雑時の群集の移動については、日常時、避難時ともに、群集事故等の災害を発生させる可能性があり、安全確保上その流動制御を事前に計画する必要がある。さらに、火災避難時においては、火災からの逃げ後れにも繋がる。

鉄道駅において火災等により屋外へ避難する必要性が生じた場合、鉄道事業者による避難計画では駅利用者を屋外避難出口から駅施設外に誘導することになっている。その際、改札内の利用者を屋外避難出口に接続する階に設置された改札口に誘導し、その後屋外避難出口に誘導を行う。改札内の駅利用者は屋外への避難時に改札口を通過する必要がある。日本における、建築物を対象とした火災時の避難安全性能評価の方法には、新・建築防災計画指針（以下、指針法）と避難安全検証法（以下、検証法）がある。指針法では、避難者数、出口の開口幅、流動量に基づいて出口通過時間の計算が行われる。

一方、鉄道駅改札内の通路部分の一部、建築基準法の適用範囲外であるため、コンコースや改札口における流動の必ずしもこれらの避難計算について避難関係規定による検討がなされるとは限らない。ただし、近年、駅舎等における商業施設の導入による建築的観点で

の防災要求の高まりから、駅にも建築分野での避難計算の手法を取り入れるための検討が必要である。特に改札口の様な駅特有の設備に対しては、コンコース及び改札口を建築物の出口とみなした計算方法も考えられるが、間隙が連続する柵状の通路の流動特性については必ずしも明らかになっていない。建築物の出口や防火戸などの開口部における避難時の流動に関しては、研究も為されているが、詳細に分析し、定量的に捉えているものではない^{6)~7)}。

通常の建築物の居室等において避難に用いられる扉等の開口部はおおむね 700mm 以上であり、狭い寸法の開口が並列して隣接することはないが、現状の改札口の基本形態として、550mm~600mm の間隔で自動改札機が並ぶことで、歩行者 1 人が通過できる通行部分が並列する。建築物の開口部と異なり群集が柵状に分けられることになる。また、改札口通過前後の流動状況によっても改札口を通過する流動が異なる可能性がある。このことから、改札口の避難計算方法については、別途検討する必要があるが、改札口の幅員・流動・利用に関する研究事例は日常利用に関するものを対象としたものが多く、避難を想定した調査・検討は見られない^{8)~10)}。避難時において利用者を通過させる際には、駅員の操作によって自動改札機の集改札機能を停止させ改札口を全開放とすることができ、利用者は切符の挿入や IC カードのタッチ動作を行うことなく改札口を通過できる。通常時と避難時において改札口通過に伴う利用者の動作は異なる。

本研究では、実物大の実験空間による群集の改札口通過実験の実施を通し、改札口通過群集の流動を把握する。群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口流入時の群集の流動特性を明らかにすることで避難計画に資する基礎的データを得ることを目的とする。

* 早稲田大学大学院人間科学研究科
博士後期課程・修士(人間科学)

** 早稲田大学人間科学学術院 教授・博士(工学)

Graduate School of Human Sciences, Waseda University, M.A. in Human Science

Prof., Faculty of Human Sciences, Waseda University, Dr. Eng.

2. 改札口通過実験

2.1 実験概要

本実験は、鉄道駅改札口を通過する群集の流動状態を把握するため、鉄道駅を模した実物大の実験空間において被験者が改札口を通過する状況を記録した。

実験日時：2010年11月13日10:00～12:30

実験場所：公益財団法人鉄道総合技術研究所 駅シミュレータ

実験空間は実際の駅空間を模しており、改札口周辺の水平面状の空間を有する。

被験者：20～50歳の健常者 48名

(20代：39名、30代：1名、40代：4名、50代：4名)

鉄道駅利用者が集中する通勤・通学時間帯において主要となる年齢層を想定するとともに、歩行に支障のないものを選定した。

2.2 実験条件

i) 被験者の配置場所と目的地の組み合わせパターン (図1, 表1)

被験者の配置場所は①～③の3ヶ所を組み合わせ、最大5種類の組み合わせを用意する。目的地はA、B、Cの3ヶ所を組み合わせ、1種類の配置について最大5種類の組み合わせを用意する。組み合わせパターンを1試行毎に変更し、同じパターンが出来る限り連続しない様に配慮した。なお、被験者の配置場所と目的地の組み合わせは左右差を考えないものとして省略する。

ii) 改札口の形状 (図2)

改札口は改札機部分を実際のものと同等の寸法を持つ木模型を等間隔で並列に配置することで再現する。各改札機の幅は集改札両用機を想定して400mmとし、通行部分(以降、レーン)の幅は実際の改札口における標準的な幅を基に550mmとする。改札口は改札機模型を4台設置し、3レーンとする。

iii) 改札口の状況想定と被験者配置の関係 (図1)

本実験は、被験者の配置場所の幅を持つ群集が改札口に近づくことを想定している。群集は2400mmの幅に4人整列させてい

る。改札口における流動状況として、流動量が最大となる状況を想定している。

2.3 実験方法

i) 実験手順

被験者の配置場所と目的地をパラメータとし、改札口の実物大模型を通過する群集の流動状態を計測する。

以下の①～④の手順を実験の総試行回数40回分繰り返す。①配置場所へ被験者を誘導する。②目的地を被験者に提示する。③避難開始の合図を出し、避難を開始させる。④全被験者の目的地到達後、合図により避難を終了する。

ii) 記録方法

実験の状況は実験棟天井付近に設置したデジタルビデオカメラを用いて上部より撮影する。

iii) 教示

被験者に対して次に示す教示を行った。「駅構内で火災が発生しました。走らず、歩いてすみやかに避難して下さい」。上記の教示は、鉄道駅火災避難時を想定するものである。ただし、安全面には十分配慮して行った。

iv) 被験者の整列方法 (図2)

避難時の改札口手前での密集状態において、改札口直前で通過のためにレーン選択が必要な状況を想定し、被験者は、各配置場所の正面方向に対して4列で整列させる。配置場所が1ヶ所で12行、2ヶ所で6行、3ヶ所で4行とし、配置場所の数に従い、48名の被験者全員を均等に配置する^{注1)}。

v) 被験者の歩行上の制約 (図1)

群集は配置場所から改札口に向かう際と改札口から目的地に向かう際、配置場所と目的地の端部に引いた群集通過ラインを必ず通ることとする。この間、改札口通過時に群集が通る通行部分(レーン)の選択は被験者の自由とする。また、目指す目的地が複数の場合の選択も被験者の自由とする。なお、ここでは避難時に近い

図1 実験空間の平面図

表1 配置場所と目的地の組み合わせ及び試行数

		目的地				
		A	ABC	BC	B	C
配置場所	①	4	2	2	2	-
	③	2	2	2	2	2
	①②	4	-	-	-	-
	②③	2	2	2	2	-
	①②③	2	2	2	2	-

図2 改札口の形状

図3 被験者列の番号及びレーン番号

出口を選択する状況を想定し、目的地通過後にさらに大局的な出口への進行は想定していない。すなわち、いずれの目的地を選択しても目的地の選択後に被験者に生じる便益に違いがない状況とした

実験は避難時を想定していることから、改札口は常時開放とし、ICカードのタッチや切符の挿入等の行為は行わないものとする。

3. 配置場所と目的地が各レーンの流動量に与える影響

各配置場所の条件について、目的地の条件毎に各レーンの流動量の平均値を求めた（図4）。

各配置場所と目的地の組み合わせパターン内において、レーン間の流動量の差は大きくても0.1人/s程度となり、個別の組み合わせパターン内におけるレーン間の流動量の差は小さい。また、流動量を配置条件毎に見ると、配置③についてはほぼ0.9～1.0人/sとなり、その他の配置①、①②、②③、①②③についてはほぼ1.0～1.1人/sの範囲に収まっている。

レーン間の流動量の差は小さいことから、配置条件毎に1レーンの流動量の平均値と標準偏差を求めた（図5）。配置条件③の流動量が0.98人/sであるのに対して他の配置条件の流動量は1.05～1.07人/sとなり、配置条件③のみ他の配置条件と比べて流動量が低い。配置条件③は側方から改札口に接近するため、被験者は方向転換が必要となり、正面から改札口を通過する配置条件①と比較して流動量が低くなったと考えられる。

4. 通過前の被験者位置及び通過後の目的地とレーンの選択傾向

4.1 単独群集の群集内における位置と各レーンの通過人数

群集配置場所が1ヶ所となる配置条件①及び③それぞれについて目的地の条件毎に、各レーンの通過人数について配置時における被験者列の内訳の平均値を求めた（表2）。

配置条件①の場合、すべての目的地の条件について列1の全被験者はレーン1、列4の全被験者はレーン3を集中して通過する。列

2は、レーン1に約1/3、中央のレーン2に約2/3ずつ分散して通過する傾向がある。列3は、レーン3に約1/3、中央のレーン2に約2/3ずつ分散する。上記の割合に基づき各レーンにおける通過人数の合計を算出すると、各列の被験者数12人を1とした場合、4/3すなわち16人となり、3つのレーンの通過人数が同等となる。配置条件③についても同様の傾向が見られる。

図4 配置場所及び目的地の条件と各レーンの流動量の関係

図5 各配置条件における1レーンあたりの流動量の平均値

表2 単独群集のパターンにおけるレーン毎の被験者列別通過人数

		目的地				
		A	ABC	BC	B	C
配置条件	①					
	③					

■列1 ■列2 □列3 □列4

4.2 合流する群集の配置場所と各レーンの通過人数

異なる配置場所から進行して来た被験者同士の合流が生じる配置条件①②、②③、①②③それぞれについて、目的地条件毎に各レーンにおける通過人数の配置場所による内訳の平均値を求めた(表3)。

配置場所が2ヶ所となる①②の場合、レーン1はすべて②、レーン3はすべて①、中央のレーン2は①と②がほぼ半数ずつとなる。同じく配置場所が2ヶ所となる条件②③の場合も、すべての目的地条件について配置条件①②と同様の傾向が見られる。配置場所が3ヶ所となる配置条件①②③の場合、レーン1及び3はそれぞれ配置場所の近い②と③が81~91%、①が9~19%となる。レーン2は、配置場所①が66~74%、配置場所②と③が合わせて26~34%となる。

5. 改札口に接近する群集の形態とレーン選択の関係

配置場所が1ヶ所の場合も含めて、すべての配置場所と目的地の組み合わせパターンについて各レーンを通じた合計人数の差は小さい。また、各配置条件の通過人数の割合について、目的地条件による変動傾向は見られないことから、本研究で想定するいずれかの近い目的地を選択する状況においては、被験者のレーン選択は配置場所の位置によって決まると考えられる。

それぞれの配置条件におけるレーン毎の通過人数について、単独群集の条件については配置時の被験者列毎の内訳、合流群集の条件については配置場所毎の内訳の、異なる目的地の条件を含めた全試行の平均値を求めた^{注2)}。単独群集と合流群集のそれぞれについて、上記平均値とレーン選択の関係を以下に述べる。

5.1 単独群集内の配置列とレーン選択の関係

配置条件①において、列1の全被験者はレーン1を通過し、列4の全被験者はレーン3を通過する。また、列2の被験者は12人中8人が中央のレーン2を通過し、4人がレーン1を通過する傾向が見られる。列3も同様に12人中8人がレーン2を通過し、4人がレーン3を通過する傾向が見られる。配置条件③についても配置条件①と同様の傾向が見られる(表4)。

配置条件が1ヶ所となる単独群集について、群集内の配置列によるレーン選択の傾向は、配置場所による差はないと考えられる。中央2列の被験者は中央のレーン2に集中し、両端2列の被験者はそれぞれの列に近い端のレーン1もしくは3を多く通過する。また、集中するレーンと隣接するレーンに分散することで、各レーンの通過人数の合計がほぼ同等となると考えられる。

5.2 合流する群集の配置場所とレーン選択の関係

5.2.1 配置場所が2ヶ所の場合

配置条件①②において、配置場所①の被験者の内、レーン2の通過人数は平均9.5人、標準偏差0.58人、レーン3の通過人数は平均14.5人、標準偏差0.58人となる。また、配置場所②の被験者の内、レーン1を通過する人数は平均16.25人、標準偏差0.96人、レーン2を通過する人数は平均7.5人、標準偏差1.3人となる(表5)。

条件①②の各レーンにおける通過人数の合計値の差は他の組み合わせパターン同様に1~2人程度と小さく、各レーンを通じる合計人数は等しく16人となると考えられる。正規分布を仮定した95%信頼区間内において推定される通過人数の変動幅は平均値±標準偏

表3 合流の生じるパターンにおけるレーン毎の配置場所別通過人数

差×1.96であることが統計的に求められていることから、これを用いて配置場所①の被験者は24人中16人がレーン3、残り8人がレーン2を通過し、配置場所②も同様に24人中16人がレーン1、残り8人がレーン2を通過することが推定できる。

配置条件②③において、配置場所②の被験者の内、レーン1の通過人数は平均16人、標準偏差1.2人、レーン2の通過人数は平均8人、標準偏差1.2人となる。また、配置場所③の被験者の内、レーン2の通過人数は平均8.6人、標準偏差0.9人、レーン3の通過人数は15.4人、標準偏差0.9人となる（表5）。

条件②③の各レーンの合計通過人数の平均はいずれもおおよそ16人となる。配置場所②の被験者は24人中16人がレーン1、残り8人がレーン2を通過し、配置場所③も同様に24人中16人がレーン3、残り8人がレーン2を通過すると推定できる。

表4 単独群集の各配置条件におけるレーン毎の被験者列別通過人数の平均

■列1 □列2 □列3 □列4

表5 合流群集の各配置条件におけるレーン毎の被験者列別通過人数の平均

□配置場所① □配置場所② ■配置場所③

5.2.2 配置場所が3ヶ所の場合

配置条件①②③において、配置場所①の被験者の内、レーン1の通過人数は平均1.9人、標準偏差1.4人、レーン2の通過人数は平均11.6人、標準偏差2.0人、レーン3の通過人数は平均2.5人、標準偏差0.8人となる。また、配置場所②の被験者の内、レーン1の通過人数は平均13.9人、標準偏差1.4人、レーン2の通過人数は平均2.1人、標準偏差1.4人となる。配置場所③の被験者の内、レーン2の通過人数は平均2.8人、標準偏差0.9人、レーン3の通過人数は平均13.3人、標準偏差0.9人となる（表5）。

配置場所①の被験者16人中、12人がレーン2を通過すると推定できる。また、配置場所②の被験者16人中、14人がレーン1を通過し、残り2人がレーン2を通過すると推定できる。各レーンにおける合計通過人数の平均はいずれもおおよそ16人となることから、配置場所①の被験者16人中2人がレーン1を通過すると推定でき、これにより残り2人がレーン3を通過することが推定できる。加えて、配置場所③の被験者16人中14人がレーン3を通過し、2人がレーン2を通過すると推定できる。

5.2.3 配置場所によるレーン選択の傾向

配置場所が2ヶ所の場合には、中央のレーンを境に配置場所の異なる被験者が層状に均等に分かれる傾向にある。配置場所が3ヶ所の場合には、改札口側方の配置場所の被験者はそれぞれ配置場所に近い端のレーンに集中し、改札口正面の配置場所の被験者は中央のレーンに集中する傾向にある。配置場所が3ヶ所の場合、一定割合の被験者が集中するレーンの1つ隣のレーンを選択する傾向が見られるが、2つ隣のレーンは選択しない。

6. 改札口に接近する群集の形態に基づくレーン選択のモデル

単独群集については配置時の被験者列の位置とレーン選択の関係、合流群集については複数の群集の配置場所とレーン選択の関係を、実験結果に基づき把握した。

実験において用いた改札口は3レーンである。改札口のレーン数が増加した場合において、被験者の位置と通過レーンの選択傾向の関係を算定するためのモデル化を試みる。

6.1 単独群集の群集内位置に基づくレーン選択確率モデル

実験より、3レーンの改札口に対して4列の単独群集が接近する場合、両端2列の被験者については全員それぞれの列に近い端のレーンを選択、中央2列の被験者はそれぞれ2/3ずつが中央のレーンを選択し、1/3がそれぞれに近い端のレーンを選択する状況が確認された。

図6 単独群集のレーン選択確率モデル（レーン数3）

図7 単独群集のレーン選択確率モデル（レーン数4以上）

上記の実験結果に基づき、3レーン以上の改札口について被験者の位置と通過レーンの選択傾向の関係を算定するためのモデルを作成する。モデル作成にあたり、改札口内の連続するn個（ $n \geq 3$ ）のレーンに対し、レーン番号をL(i)（ $i=1,2,3,\dots$ ）として、群集の接近する側から向かって左側から順に番号を付ける。また、接近するj列の群集に対し、列番号をPI(j)（ $j=1,2,3,\dots$ ）としてレーン番号と同じ側から順に番号を付ける。ここでは、レーン数n（ $n \geq 3$ ）の改札口に対して、レーン選択が必要な状況として、改札口のレーン数より1列多い $j = n+1$ の歩行者列を持つ群集が接近するモデルの作成を行う。

(i) レーン数3（ $n=3$ ）の場合

端のレーンL(1)に対してPI(1)、L(3)に対してPI(4)の歩行者全員が選択し、加えて、PI(2)及びPI(3)の歩行者の内、1/3がそれぞれ端のレーンを選択する。中央のレーンL(2)に対して、PI(2)及びPI(3)の歩行者がそれぞれ2/3ずつ選択する（図6）。

(ii) レーン数4以上（ $n \geq 4$ ）

端のレーンL(1)に対してPI(1)、L(n)に対してPI(n+1)の歩行者全員が選択し、加えて、それぞれPI(2)及びPI(n)の歩行者の内、1/3がそれぞれ端のレーンを選択する。実験において、3レーンの内、中央のレーンについては、被験者4列の内、中央2列の被験者が等しく1/2ずつを占めることから、中央L(3)～L(n-2)のレーンすべてについて、各レーンに対して常に2列の歩行者列が接近する時、PI(3)～PI(n-1)の歩行者が1/2ずつ選択すると考える。端のレーンに隣接するL(2)及びL(n-1)のレーンについては、それぞれPI(2)及びPI(n)の歩行者の内、2/3ずつが選択し、加えて、それぞれPI(3)及びPI(n-1)の歩行者の内、1/2ずつが選択する（図7）。

したがって、レーン数n（ $n \geq 3$ ）の改札口について、改札口のレーン数より1列多いn+1の歩行者列を持つ群集が改札口に接近した場合、歩行者のレーン選択確率モデルは次の様になる。両端PI(1)及びPI(n+1)の歩行者は、それぞれ端のレーンL(1)及びL(n)を全員が選択する。端から2番目の歩行者PI(2)及びPI(n)は、それぞれ端のレーンL(1)及びL(n)を1/3ずつが選択し、端から2番目のレーンL(2)及びL(n-1)を2/3ずつが選択する。さらに、 $n \geq 4$ の時、PI(3)～PI(n-1)の歩行者は、レーンL(2)～L(n-1)の内、正面にある2レーンを1/2ずつが選択する。

6.2 合流する群集の接近方向に基づくレーン選択確率モデル

6.2.1 2 群集合流モデル

実験より、同数の歩行者からなる 2 群集が 3 レーンの改札口に接近する場合には、中央のレーンを境に 2 群集が層状に均等に分かれ、両端の 2 レーンについては、2 群集がそれぞれのレーンを占有的に 2/3 ずつ通過し、中央のレーンについては、2 群集が等しく 1/3 ずつ通過する状況が確認された。

したがって、レーン数 3 の改札口について、2 方向から接近する同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは、群集内の 1/3 が中央のレーンに、2/3 が片側の端のレーンを選択するものとなる。この際、群集同士の進行方向は交差せず、合流する中央のレーンを境にレーンを選択する群集は均等に分かれることになる（図 8）。

6.2.2 3 群集合流モデル

実験より、同数の歩行者からなる 3 群集が 3 レーンの改札口に接近する場合には、改札口側方から接近する 2 群集については、それぞれ近い端のレーンを 7/8 が通過し、1/8 が中央のレーンを通過する。改札口正面から接近する群集の内 3/4 が中央のレーンを通過し、残り 1/4 の内 1/8 ずつが均等に端の 2 レーンそれぞれを通過する。各群集は、集中するレーンの 1 つ隣のレーンにも分散して通過する。よって、3 群集は層状に分かれて各レーンに接近する状況が確認された。

したがって、レーン数 3 の改札口について、3 方向から接近する同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次のようになる。改札口側方から接近する群集の内、7/8 が群集から近いレーンを選択し、1/8 が中央のレーンを選択する。改札口正面から接近する群集の内、3/4 が中央のレーンを選択し、1/8 ずつが端の 2 レーンを等しく選択する（図 9）。

6.2.3 合流が各群集のレーン選択に与える影響

3 レーンの改札口に対して左右 2 群集もしくは左右と正面の 3 群集が接近及び通過する際、それぞれの群集が主に選択・通過するレーンは群集毎に異なるが、主に選択・通過するレーンと、その 1 つ隣のレーンにも分散して選択・通過する。実験映像を用いた上方からの観察により、改札口接近時に群集同士が接触する境界部において合流混合が生じている可能性があり、群集の境界部は群集毎に明確に分離されるものではないと考えられる（図 8, 9）。

各群集が改札口の幅と同じ幅を持つ 2 群集もしくは 3 群集が改札口に接近、通過する際、群集の進行方向に対する歩行者の整列幅の合計は改札口より大幅に大きくなる。両端の改札機内側の間の距離は 2450mm である。これに対して 1 群集あたりの整列幅は 2400mm であり、改札機間の幅に対して整列幅の合計は、2 群集であれば 2 倍程度、3 群集であれば 3 倍程度の幅となる。改札口に向かう被験者の列が合流時に改札口の幅に合わせて狭まることで、それぞれの配置場所からの被験者のレーン選択の自由度は減少すると考えられる。

7. まとめ

本研究では、実物大の実験空間による群集の改札口通過実験の実施を通し、群集の数と改札口への接近方向の観点から改札口に接近する群集のレーン選択モデルを提案した。

7.1 結論

i) 単独群集のレーン選択特性

- ・実験において、配置条件が 1 ヶ所となる単独群集について、群集内の配置列の位置によるレーン選択の傾向は、配置場所及び目的地のの違いによる差はない。
- ・レーン数 3 以上の改札口について、改札口のレーン数より 1 列多い歩行者列を持つ群集が改札口に接近した場合、歩行者のレーン選択確率モデルは次のようになる。

両端の歩行者は、それぞれ両端のレーンを全員が選択する。

端から 2 番目の歩行者は、それぞれ端のレーンを 1/3 ずつが選択し、端から 2 番目のレーンを 2/3 ずつが選択する。

ii) 合流群集のレーン選択特性

- ・実験より、2 ヶ所の配置場所から合流する群集について、各配置場所から改札口に接近する群集のレーン選択の傾向は、配置場所及び目的地の条件による差はない。
- ・実験より、3 ヶ所の配置場所から合流する群集について、各配置場所から改札口に接近する群集のレーン選択の傾向は、目的地の条件による差はない。

図 8 2 群集合流時におけるレーン選択確率モデル

図 9 3 群集合流時におけるレーン選択確率モデル

- ・実験において、配置場所が 2 ヶ所の場合、中央のレーンを境に配置場所の異なる被験者が層状に均等に分かれる傾向にある。
- ・実験において、配置場所が 3 ヶ所の場合、改札口側方の配置場所の被験者はそれぞれ配置場所に近い端のレーンに集中し、改札口正面の配置場所の被験者は中央のレーンに集中する傾向にある。
- ・実験において、配置場所が 3 ヶ所の場合、各配置場所について、一定割合の被験者が集中するレーンの 1 つ隣のレーンを選択する傾向が見られるが、2 つ隣のレーンは選択しない。
- ・レーン数 3 の改札口について、2 方向から同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次のようになる。
群集内の 1/3 が中央のレーンに、2/3 が片側の端のレーンを選択する。
群集同士の進行方向は交差せず、合流する中央のレーンを境にレーンを選択する群集は均等に分かれる。
- ・レーン数 3 の改札口について、3 方向から同規模の群集が改札口に接近した場合、群集のレーン選択確率モデルは次のようになる。
改札口側方から接近する群集の内、7/8 が群集から近いレーンを選択し、1/8 が中央のレーンを選択する。
改札口正面から接近する群集の内、6/8 が中央のレーンを選択し、1/8 ずつが端の 2 レーンを等しく選択する。

7.2 今後の展望

本研究では、実験的検討として改札口の通過性状を検討し、モデル化を行った。このため、被験者は目的地通過後の大局的な移動方向を想定していない。また、実測では群集流は一樣分布、定常流とならない場合も考えられ、このモデルを基本としながら非定常状態についても検討の余地がある。

改札口は柵状になっており、改札口全体の幅と同幅員の通路に比べて改札機の幅の分だけ通過できる幅が減るとともに、各レーンの通路幅は一度に 1 人のみが通過できる様になっている。一般の建築物における通路及び開口部と流動が異なり避難計算において同一の計算方法を用いることが妥当ではない可能性があることから、流動量もしくは流動係数について両者の差異を把握する必要がある。

また、本報では改札口について、各レーンの幅員が一般的な 550mm のものを用いたが、車イス等を使用する利用者が通過できる様に幅員が 800～900mm 程度の幅の広いレーンも設置されている。この様なレーンに関する歩行特性については、今後検討の余地がある。

今回の結果は駅改札口のみではなく近年導入が増加しているオフィス等の出入り口に設置されたセキュリティゲートにも応用できる可能性があり、この関連性についても検討の余地がある^{注 3)}。

謝辞

実験の実施にあたり、公益財団法人鉄道総合技術研究所の山本昌和氏と石突光隆氏にご協力頂きました。ここに感謝の意を表します。

注

注 1) 被験者は 8 人毎に 4 列 2 行の 6 グループに分け、1 試行毎にグループの位置を入れ替える。また、被験者の配置場所と目的地の各組み合せ条件が半数終了した時点で、グループ内の並び順を変更し、群集の内側と外側に配置した被験者をそれぞれ外側と内側に配置するとともにグループ内前方・後方の被験者をそれぞれ後方・前方に入れ替える。これにより被験者の配置を無作為化する。

注 2) 各配置条件について、単独群集については列毎、合流群集については配置場所毎に求めた各レーンの通過人数の標準偏差に基づき各平均値の標準誤差を算出したところ、最大で 0.71 人となり、正規分布を仮定した平均値の 95%信頼区間は平均値から大きくとも 1.39 人の上下幅内にあると考えられる。通過人数の母平均は 95%の確率でこの範囲にあると推定でき、通過人数の母平均について推定精度は高いと言える。

注 3) セキュリティゲートのレーン幅は多様であり、今回の実験における改札口のレーン幅と同等のものだけでなく、より広いものも存在する。このため、様々な寸法のものについて検討する余地がある。

参考文献

- 1) 松下信禎, 若井正一: 室内通路幅と歩行者の身体周囲に必要なアキ寸法の関係 –身体を指標としたアキ寸法の計測に関する研究–, 日本建築学会計画系論文集, 第 667 号, pp.1569-1576, 2011. 9
- 2) 山本昌和, 吉村英祐, 石突光隆: 鉄道駅における混雑時の歩行安全性に関する研究 その 2 –通路形状が旅客流動に与える影響–, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.965-966, 2010.9
- 3) William H. Warren, Jr., Suzanne Whang.: Visual guidance of walking through apertures –body-scaled information for affordances. –, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, vol. 13, pp.371-383, 1987
- 4) 小原二郎, 内田祥哉, 宇野英隆: 建築・室内・人間工学, 鹿島出版会, 1975. 12
- 5) 日本建築学会編: 建築設計資料集成[人間], 丸善株式会社, 2008. 12
- 6) 建部謙治, 佐野友紀, 萩原一郎ほか: 防火設備の開口部における通過動作特性, 第 576 号, pp.53-58, 2004. 2
- 7) 城明秀, 池島由華, 佐野友紀: 廊下の滞留が居室単一開口部の流動量に与える影響 –開口部の群集流動量に関する実大実験およびシミュレーション分析 その 1–, 日本建築学会計画系論文集, 第 696 号, pp.293-300, 2014.2
- 8) 北澤章, 阿部武久, 藤原 宏: 改札柵の通路幅員に関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1197-1198, 1980. 9
- 9) 佐野友紀, 鄭姫敬, 渡辺俊, 渡辺仁史: 駅の改札口における群衆流動に関する研究 –自動改札と有人改札–, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E, pp.979-980, 1992.8
- 10) 都築知人, 森田信弥, 青木俊幸, 大戸広道: 鉄道駅の流動評価に関する研究 その 2 –改札流動–, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-1, pp.1083-1084, 2000.7

CROWD FLOW OF EVACUEES PASSING THROUGH TICKET GATES OF RAILWAY STATIONS

– Behavioral characteristics of evacuees passing through narrow passages Part 1 –

Kosuke FUJII and Tomonori SANO***

* Graduate School of Human Sciences, Waseda University, M.A. in Human Science

** Prof., Faculty of Human Sciences, Waseda University, Dr. Eng.

Introduction

This study investigates the behavioral characteristics of evacuees passing through the ticket gates of railway stations in Japan. The navigation of passengers through the ticket gates of railway stations or stadiums and through the security gates of office buildings poses difficulties during evacuation in case of fire. Because the ticket gates of railway stations have narrow passages, they hinder the navigation of a crowd through them during such evacuation.

Purpose

The purpose of the series of these studies is to identify the characteristics of pedestrians passing through narrow passages. In particular, the purpose of the present study is to elucidate laws on the selection of one of multiple passages of a ticket gate by evacuees on the basis of results of experiments on a crowd passing through a ticket gate during evacuation in the case of fire at a railway station.

Methods

A total of 48 subjects participated in experiments on the crowd flow of evacuees passing through a ticket gate of a railway station, where the ticket gate had 3 passages. The subjects approached the ticket gate from various start positions and went toward various goals. The number of start positions and goals ranged from one to three each. As the experimental conditions, two one-position cases and two two-position cases, one three-position case by the combination of three start positions) were considered. Specifically, the one-position cases involved a single crowd flow, the two-position cases involved the confluence of two crowd flows, and the three-position case involved the confluence of three crowd flows. Furthermore, as the experimental conditions, two one-goal cases and two two-goal cases, one three-goal case by the combination of three goals were considered. A total of 18 patterns were set on the basis of combinations of these 5 cases of start positions and 5 cases of goals. The experiment involved 52 trials.

Results

The results of this study are as follows.

1. Calculation models for the number of evacuees that selected one of the multiple passages of the ticket gate were developed for each case of a single crowd flow and a confluence of multiple crowd flows.
2. The number of evacuees that selected each of the three passages of the ticket gate did not differ according to the considered start-position cases and goal cases.
3. In the case of a single crowd flow, the relation between the positions of evacuees in the crowd and the number of evacuees in each of the three passages of the ticket gate did not differ according to the considered start-position cases and goal cases.
4. In the case of the confluence of two crowd flows, the relation between the positions of evacuees in the crowd and the number of evacuees in each of the three passages of the ticket gate did not differ according to the considered start-position cases and goal cases.
5. In the case of the confluence of three crowd flows, the relation between the positions of evacuees in the crowd and the number of evacuees in each of the three passages of the ticket gate did not differ according to the considered goal cases.

Conclusion

This paper presented calculation models for the number of evacuees that selected one of the multiple passages of a ticket gate at a railway station in the cases of a single crowd flow and a confluence of multiple crowd flows. Future work includes classification of the flow rate of passengers passing through ticket gates at railway stations during evacuation.

(2014年6月4日原稿受理, 2014年11月5日採用決定)