

混雑時および非常時における駅の旅客流動評価方法

構造物技術研究部 建築研究室
副主任研究員 山本昌和

1. はじめに

駅では大量の旅客流動が発生するため、都市部では従来から朝夕のラッシュに対応できる駅計画が求められ、その一環として、シミュレーションによる旅客流動の検討が行われてきた。近年では、シミュレーション技術の向上により、旅客の動きを精緻に可視化することも可能となってきた。一方、設計者が計画の善し悪しを判断する方法については、滞留の解消時間や混雑状況を視覚的に評価する手法が主流であり、旅客の視点や駅特有の現象を考慮した定量的な判断基準は一般化されていない。本稿では、駅における歩きにくさを評価する手法や、安全の観点から旅客流動を評価する取組みを紹介する。

2. 混雑する駅における歩きにくさの評価

(1) コンコースにおける旅客流動評価

歩行環境の評価方法については、いくつかの研究例はあるものの、駅特有の動線の交錯を定量的に扱った研究や、実際に旅客が感じる歩きにくさを調査した研究は少ない。

そこで、駅のコンコースでの旅客流動の特徴である、定常的な流れが形成されやすいこと、条件によっては複数の流れの交錯が避けられないことから、旅客は、速度の調整を余儀なくされる動線の交錯箇所において不快を感じやすいと考え、交錯状態を定量的に表現する指標の作成と、交錯状態と歩きにくさの評価との関係について検討した。具体的には、旅客流動の交錯を、近傍にいる旅客同士の進行方向の相違と考え、進行方向のばらつきをベクトルの内積によって表現する方法を考案した。図1のように、ある2名の旅客 i, j のなす角度 θ_{ij} と方向単位ベクトル e_i, e_j から求めた内積を用いて、駅構内のある領域内における旅客群の交錯度を定量的に表現することとした。

この交錯度および同一領域内の旅客密度と、旅客の感じる歩きにくさとの関係を調べるため、被験者による交錯歩行実験を実施した(図2)。実験では、被験者群を様々な角度で交錯させ、交錯度と旅客密度を測定し、被験者には交錯箇所を通過する際に感じた歩きにくさについて表1のようなアンケート調査を実施した。

実験では、正面からの交錯(以下、対向流)では層流が形成され、それほど歩きにくさを感じない傾向が見られたため、対向流とそうでない場合とに分類し、歩きにくさの評価式を提案した。

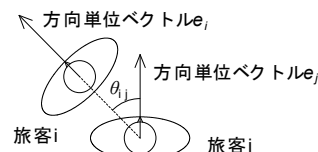


図1 旅客2名の方向単位ベクトル



図2 交錯歩行実験

表1 アンケートの内容

質問： 「歩きにくいと感じたか？」
回答： 1. 全く感じない 2. ほとんど感じない 3. 少し感じた 4. 大いに感じた

(2) ホームにおける旅客流動評価

駅のホームでは、ホーム中央部で待ち旅客の中をすり抜ける際や、やむを得ずホーム端部を歩行する際に歩きにくいと感じやすいと考えた。そこで、ホームにおける歩きにくさの評価指標を作成するため、被験者を用いた歩行実験を実施した。実験では、図3のようにホームの幅員・乗車待ち行列の形態を変えた条件で、被験者を歩行させ、目的地とする乗車位置に達するまでに感じる歩きにくさを調べた。評価は、交錯歩行実験と同じ4段階評価とした。

ホームにおける歩行実験の結果から、図4に示す乗降口前における密度とホームの歩きにくさ評価との関係を得、ホームにおける歩きにくさの評価式を提案した。

乗降口前とは、車両扉前の幅 1.3m×ホーム幅 (2.4~4.2m) の領域を指し、その領域での密度は、乗車待ち人数が同じ場合、ホーム幅が広がるほど低下する。上記密度が高くなるほど、旅客は、立っている旅客の間やホーム端部をすり抜けざるを得なくなり、歩きにくいと感じる。

(3) 階段における旅客流動評価

駅の階段は、流動上のボトルネックとなりやすく、混雑時には速度が制限されやすいが、対向方向以外の交錯は生じにくい特徴がある。そこで歩きにくさを感じる階段の状況を、①流動量が多く、自由な速度で歩けない状況 ②対向流動のすれ違いを意識しながら昇降する状況、と考え、

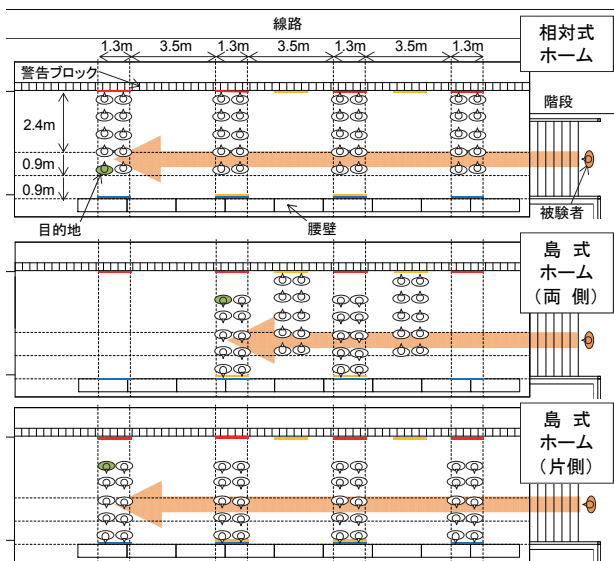


図3 模擬ホームでの実験の概要



図5 階段での流動実験

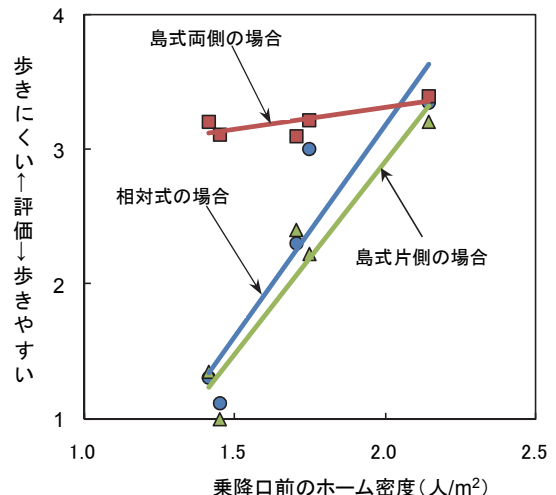


図4 ホームでの密度と評価の関係

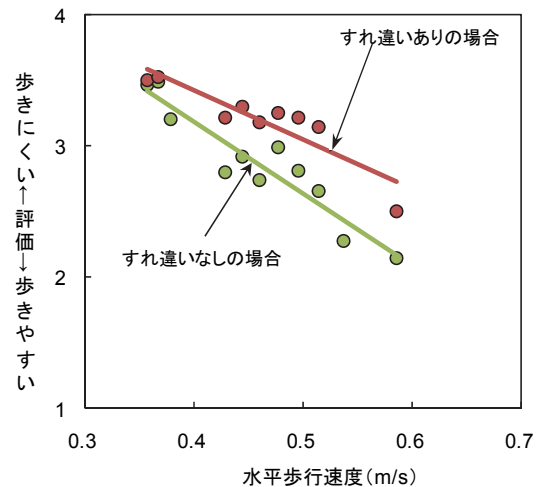


図6 歩行速度と階段評価の関係

階段における歩きにくさの評価指標を作成するため、被験者による歩行実験を実施した（図 5）。実験では、歩行速度・すれ違いの有無・すれ違いの人数を変え、被験者に歩きにくさについて評価させた。評価は、交錯歩行実験と同じ4段階評価とした。実験の結果、各条件のうち、階段内の歩行速度により歩きにくさを感じる事が明らかとなり、図 6 に示すような歩行速度の水平成分（水平歩行速度）と歩きにくさの関係から、階段における歩きにくさの評価式を提案した。

(4) 評価手法の旅客流動シミュレーションへの適用

旅客流動シミュレーションとは、鉄道駅において、通勤旅客を対象とした交錯流動の実態調査に基づき開発された、歩行者群を単位とするメッシュ型のシミュレーションモデルであり、複数の旅客流動による相互影響を検討することが可能である¹⁾。現行プログラムは、その後の改良を経たもので、メッシュ内の旅客群の移動方向と密度および歩行速度を算出することができる²⁾。

このシミュレーションにコンコース、ホーム、階段の評価式を適用し、仮定の駅平面での旅客流動の評価を試行した（図 7）。歩きにくい箇所ほど赤い色で出力され、駅構内の評価の状況を俯瞰的に見ることで、旅客が歩きにくいと感じる箇所が把握しやすくなっている。

この旅客流動評価シミュレーションにより、施設の形状や階段位置を変更した場合や、旅客の流動量や列車到着の間隔が変わった場合など、様々なケースに応じて、変更前と変更後の駅構内全体の流動状況を、旅客の視点から評価することが可能となる。

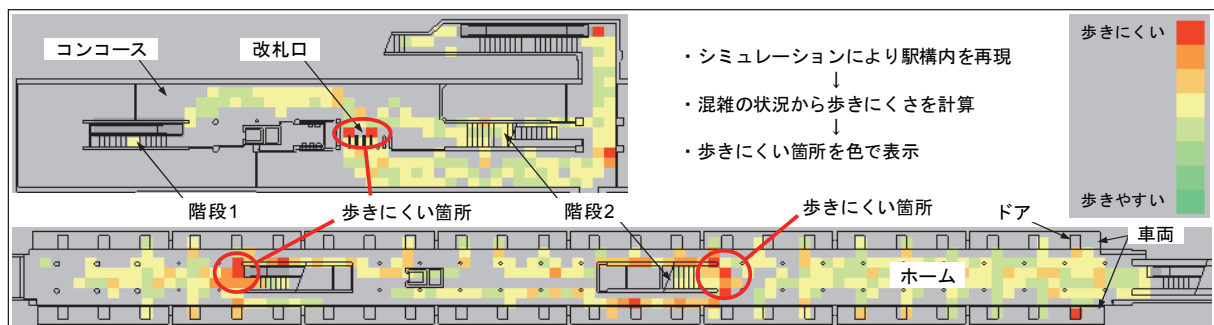


図 7 旅客流動評価シミュレーション

3. 非常時における旅客流動の評価

(1) 極度な混雑における旅客流動の評価

我が国では、人々が過度に密集することにより起きた群集事故の経験を基に、イベント等で多数の来客を誘導する警備手法が発展してきた経緯があり、その際、移動する群集の密度を一定以下に保つように誘導することが多い。駅においても、列車遅延などの影響で、構内の旅客数が通常時に比べ大幅に増加することがあり、このような場合にも密度を切り所とした誘導は有効である。図 8 は、入場規制などにより階段内で発生した混雑を想定した被験者実験³⁾の結果である。階段内の密度上昇に伴い、歩き始める際に不安を感じる被験者の割合が高くなっている。このように、転倒事故に至る前に、旅客が不安を感じにくい動線計画や誘導を行うことが重要であり、現在それら进行评估するための手法の開発や基礎データの入手に取り組んでいる。

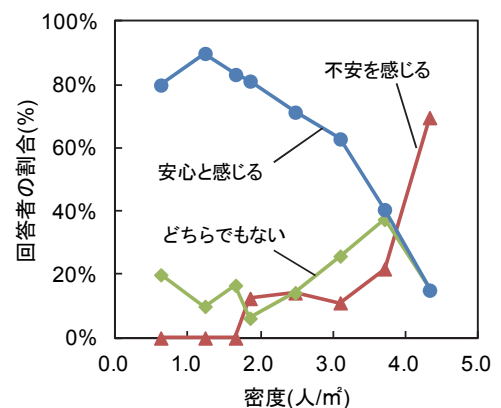


図 8 降り階段の密度と歩き始める際の不安との関係

(2) 火災時の避難旅客の評価

火災時の人の流れを評価する方法として、火災発生から在館者の避難完了までの時間を算定する手法があり、建築物の避難経路の規模や仕様の検討に活用されてきた。駅の場合にも、避難時間を検討する際には、この手法が役立つ。しかし、駅特有の広大な空間や大量の利用者数を考えた場合、通常の建築物にはない課題が顕在化する可能性もある。例えば、旅客を火源から離れた方向に避難誘導する必要がある場合である。図9は、誘導の有無による避難シミュレーションの比較結果である。駅構内のBコンコースで火災が発生した際に、火源箇所を基にした適切な誘導が行われず避難者が火炎を見て後戻りした場合と、適切な誘導を行い避難者が火源を避け避難した場合とでは、誘導を行った方が全体の避難時間が短縮する結果となった。このように、火災などの異常時には、

適切な情報提供や旅客の行動特性も含めた評価が求められ、視覚や聴覚による情報伝達手法⁵⁾や分散避難の効果など、今後解明すべき点が多い。

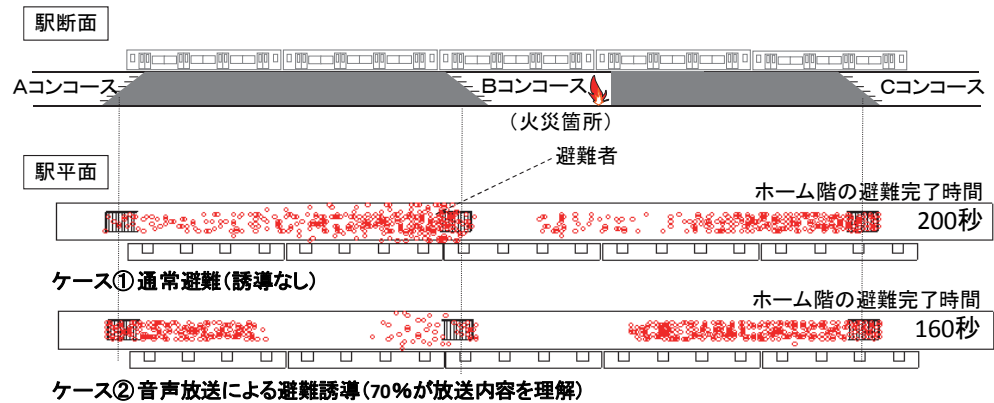


図9 誘導の有無による避難時間の比較結果

4. おわりに

被験者試験により、旅客の歩きにくさの観点から、駅のコンコース、ホーム、階段における旅客流動を定量的に評価する手法を考案した。また、旅客の安全性の観点から、旅客流動を評価する取組みと課題について紹介した。

実際の旅客流動の状態を定量化・評価する技術は、シミュレーションによる予測技術だけではなく、センシング技術と組み合わせることで、快適性や安全性をモニタリングすることも可能となる。今後も引き続き、旅客流動に関する評価技術の研究開発を行うことで、鉄道駅の設計や運営に資する基礎技術を向上させていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 中祐一郎：交錯流動のシミュレーションモデル 鉄道駅における旅客の交錯流動に関する研究 (2), 日本建築学会論文報告集, 第267号, 1978
- 2) 安藤恵一郎, 青木俊幸, 大戸広道：旅客流動シミュレーションシステムの改良, 鉄道総研報告, Vol. 5, No. 8, 1991
- 3) 吉村英祐, 山本昌和, 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4 階段における歩行開始実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 2011
- 4) 石突光隆, 伊積康彦, 山本昌和：駅コンコースにおける音声放送によるエリア別避難に関する基礎実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), 2010