

早稲田大学審査学位論文  
博士（人間科学）  
概要書

歩行者本位のモデル化による  
群集流動の可視的評価手法

Visual Crowd Flow Evaluation Method  
Using Pedestrian-Oriented Modeling

2017年1月  
早稲田大学大学院 人間科学研究科

今西 美音子

IMANISHI, Mineko

都市施設の大規模化・新たな競技施設の建設など、多数の人が利用する施設の需要が近年高まり、それにともない建築空間における歩行者の計画も複雑化している。質の高い大規模建築の設計には歩行者群集流の正しい理解と評価が不可欠である。混雑した群集は避難時間の遅延や事故リスクの増加など歩行者の安全を妨げると同時に、歩行の快適性も奪う。現在、歩行者群集流の混雑評価は主に群集密度や流動量を用いておこなわれる。これら指標は客観データにもとづいた物理量でかつ計測・推測が容易であるため、避難時間計算や施設の収容人数の算出など歩行者の安全性に関わる建築計画と親和性が高い。しかし、これら指標は計測は容易であるものの群集流を空間の関数としてとらえており、空間を自律的に移動する歩行者の集合としての群集流を本来の姿でとらえていない。より歩行者の体験と行動に即した歩行者群集の理解と、汎用かつ実際のデータへ適用可能な実用的な歩行快適性の評価法の開発が求められる。そのためには、歩行者本位の視座で歩行者群集という事象を再構築する必要がある。

よって本研究では、歩行者を本位とした歩行者群集のモデル化とそのモデルを用いた群集流評価の手法の開発を行なう。具体的には、概念としての歩行者本位の群集流モデルの叙述から始まり、そのモデルに則った群集流評価のための可視化手法を開発し、被験者を使った2種の実験室実験を通じて群集流の実際の場面における複雑な現象のモデル化と歩行快適性の評価指標の開発を行なう。実験では群集流において複雑な現象が起こる①群集流の横断と②開口部の通過の場面を取り上げた。①の群集流の横断実験においては歩行者同士の回避行動を、②の開口部通過実験では開口部通過時における歩行者の身体寸法と流動量との関係を定量的に明らかにした。

本論文の構成は以下の通りである。

## 1章 序論

研究背景として現在の群集流評価の主流とその問題点を指摘し、既往の群集流評価法や群集シミュレーションと本研究の関係を明確にした上で、より歩行者本位に立った群集流モデルの必要性について論じた。また本論文の研究目的と構成、および用語の定義について開示した。

## 2章 歩行者群集のモデル化と可視化

本研究で主張する「歩行者本位」の群集流モデルである「歩行者本位マルチエージェントモデル」の概念と詳細を示し、またそのモデルに立脚した新たな群集の可視化手法を3種提案した。

現在広く用いられている「密度-速度モデル」への批判を踏まえた上で、歩行者の集合としての群集および歩行者の移動をそれを構成する各歩行者の平面空間  $x, y$  と時間  $t$  の変位

で表せることを述べた。さらにそこから、歩行者の「歩行速度」と「移動方向」、さらに移動方向に対する「身体の向き」の3要素が歩行時の変量となることを示した。

群集流の可視化手法としては、まず1秒間の座標の短時間変動に着目し群集の動的状態を1枚の図で示す「短時間歩行パス図」、およびその短時間変動により群集流の複雑性を掌握する「移動方向バラ図」を提唱した。さらに3つ目の可視化手法「歩行者主体移動軌跡図」では、時間スケールを含む歩行者の空間移動を歩行者主体の視座で記述することで、単独の歩行者の歩行速度変化や移動方向転換を詳細に読み取ることに成功した。また鉄道駅構内のフィールドデータによるケーススタディを行ない、この歩行者主体移動軌跡図の実用性を示した。

### 3章 群集流横断における歩行者の回避行動

被験者を用いた実験室実験を通して、単独の歩行者が群集流を横断するときの双方の回避行動について群集流の密度および横断者の進入角度の影響を解析し、回避の強度を検討した。実験からモーションキャプチャで取得した各歩行者の頭頂および両肩の位置座標データをもとに、2章で提案した3種の可視化手法を実際に用いて詳細な歩行状況を視覚的に示せることを確認した。そこから、歩行者の回避方法が「減速」「迂回」「ひねり」の3種の組み合わせであることを明らかにし、それら各々の回避方法における回避の強度を「潜在回避」「弱回避」「強回避」3段階に区分し、そのしきい値を求めた。さらに歩行者主体移動軌跡図を用いて回避の特徴を図解により詳細に検討し、減速と迂回の二者が起こるメカニズムをシーケンスとして統合的にとらえた。

### 4章 開口部通過における群集の行動性状

異なる幅の開口部を群集が通過する実験室被験者実験を実施し、群集流の開口部通過における歩行者の身体寸法的作用を明らかにした。実験結果から流動量が開口幅に対して200 mm 毎のステップ関数的に増加することが認められ、流動量に対する身体寸法の影響が示唆された。さらに歩行者の肩の向きによって移動方向に対する身体幅が異なることに着目し、歩行者の開口部通過位置と開口部に対する肩の向きの関係を定量的に示した。結果として、開口部端から250 mm 以下の位置を頭頂部が通過した歩行者は中央部を通過した歩行者と比較して有意に肩の傾きが大きく、開口部においても歩行者は肩の向きを調整することで本来正対しているときに通れない幅の隙間を通過していることとその発生条件が確認できた。

### 5章 総括

総括として2章から5章までで得られた結論を要約し、打ち立てられた群集モデルと評価法について一覧性のある形式で提示した。最後に本研究の知見の実際的な利用について将来の展望を示した。z