

論文の内容の要旨

論文題目 Measurement and numerical modeling of pedestrian flows
(人流の計測と数値モデリング)

氏 名 フェリシャーニ クラウディオ

公共施設などにおける多数の歩行者の流動は、以前より様々な分野で研究されてきたが、その複雑さのため現状ではまだ群集の安全安心をきちんとマネジメントできていない状況であるといえる。ただし一列で歩くような単純な動きの場合は、車両交通と似ていることもあり、基本図と呼ばれている図表を用いて人流の渋滞転移の様子は明らかになってきている。そしてその数理モデルも提案されており、計算機によって実際の観測データをほぼ再現することが可能になってきた。しかし、2次元的な横断や交差などの動きの場合、まだ渋滞転移の予測方法は確立されていない。この問題に対しては、これまで主に計算機シミュレーションによる研究が行われてきたが、その基となる数理モデルの精度は十分とはいえず、また基礎となる実測データも十分にある状況ではなかった。

そこで本研究では、公共施設で特に重要である歩行者の対向流に焦点を当て、その渋滞転移の様子をデータとシミュレーションによって解明することを目的としている。対向流は通路や歩道などで様々な事例があり、群集の密度が高くなると日常的にも混雑が発生している場所である。そして対向流は1次元的な動きだけではなく横方向の動きもあるため、適度な複雑さを持った準一次元的な群集流動と考えることができる。またこうした対向流においては、前の人についていく挙動により自発的にレーンが形成され、高密度でも流量が落ちないといった興味深い現象も観察されている。

この対向流の様々な現象を研究するために、まず実際のデータを取得し分析を行った。データはラッシュアワー時の駅の通路においてビデオ観察を行うことで得られたものである。その画像を詳細に分析した結果、通路の断面を通過する乗客数の分布はガウス曲線で近似できることを明らかにした。そして通路に流入、流出する人数の時系列曲線の違いに基づいて、対向流中の群集の状態を区別できることが分かった。その結果、自由流とレーン形成流、そして混雑流という3つの流れの状態を明確に区別することに成功した。

次に対向流中で混雑している高密度な群集状態をシミュレーションできる新しい数理モデルを開発し、駅で取得したデータと比較することでその精度を検証した。その結果、十分な精度で実

測データを再現できることが分かった。さらにシミュレーションとデータにより、歩行者が高密度時に体を回転させる行為が渋滞回避に重要な役割を果たしていることが判明した。そしてこれが対向流において流れがデッドロックするかどうかの臨界密度と関係があることも明らかになった。

そこで次に、デッドロック発生とレーン形成について詳細な研究をするため、管理された状況下で群集の対向流実験を行った。実験は通路の左右の端から歩行者がお互い反対方向に向かって歩くもので、様々な条件で多数の実験を行い、そして取得した実験ビデオから専門ソフトウェアを用いて歩行者の軌跡データを得た。この分析により、一般的に対向流中ではあまり他の歩行者の動きを予想することはせず、かつお互いの距離が近い状態ではじめて相互作用が始まることが明らかになった。また、群集が低中密度の際は、レーンが出来やすく効率的な流れになるが、高密度の際は横移動が制限され、レーンが形成しにくくなることで混雑を発生させることも明らかとなった。

以上の群集運動の特徴をまとめるために、流体力学からの類推で群集渦度という指標を新たに提案し、観測で得られた歩行軌跡データからこの渦度を数学的に計算する方法を考案した。その結果、レーンの形成や崩壊の振る舞いを明確に把握することができるようになった。そしてこの群集渦度の精度を検証するため、実験参加者の体に直接歩行中の回転が測れるジャイロを装着し、そのデータから平均渦度を計算して比較した。その結果、高い精度で両者は一致することが判明し、群集の回転的な動きが軌跡データから正しく把握できることが明らかになった。

さらに、これまで得られた対向流現象を分類するための簡単な近似関数も提案することができた。それは離散確率モデルを用いて構成したものであり、これにより過去の他の研究における類似の実験も全て比較して検証することも可能になった。以上、対向流においてどのような条件で渋滞転移が起こるかについて、きちんと理解することに成功したといえる。

今後は得られた実験データをさらに比較整理し、また近似モデルの精度も向上させていくことで、過去の全ての対向流に関する研究を統一する成果としての論文をまとめていきたい。そして本研究での成果は、より複雑な群集流動の解明への足掛かりになると期待され、また実際の施設設計への応用等についても考察していく予定である。