

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 賈 曉璐

我々は駅などの公共の場を歩く際、壁や柱など様々な障害物を避けて歩いている。従って、障害物が人の歩行に及ぼす影響を明らかにすることができれば、快適で効率がよい人の移動を実現する障害物の配置を検討したり評価したりすることができる。

障害物が人の退出に及ぼす影響に焦点を当てた先行研究は数多くあるが、結果は一致していない。その結果の不一致の原因の一つと考えられるのが、人の移動に対するモチベーションである。多くの先行研究では災害時の避難を対象とした競争状態の人を想定しており、そのような場合は障害物が押し合いのショックを吸収することにより避難効率を上げていると説明されることがある。しかし、人があまり押し合わない通常状態の群集にはその説明は当てはまらない。そこで本研究では、特に通常状態の群集に障害物が与える影響について考察した。また退出効率だけでなく、退出途中の混雑度についても調査した。これらの結果をまとめた学位論文「Study on the influencing mechanism of obstacle layout on pedestrian dynamics aiming at the improvement of pedestrian egress (歩行環境の改善に向けた障害物配置とその影響メカニズムの解明)」は以下の七章からなっている。

第一章では、群集運動の研究の重要性や背景について述べている。特に本研究と関係がある障害物の影響を調べた先行研究についてまとめている。

第二章では、障害物が個人の歩行に及ぼす影響について調べている。実験の動画から障害物を避けて歩く歩行者の軌跡を抽出し、それがガウス分布で精度よくフィッティングできることを明らかにした。また、障害物が大きくなると、より早めに回避行動を開始することも分かった。

第三章では、障害物が集団の歩行に及ぼす影響について調べている。通路の端に出口があり途中に障害物がある通路で、障害物の大きさと位置を変化させて障害物の影響を調査した。そして、障害物が出口に近い場合は、障害物の大きさを変化させても退出時間がほとんど変化しないが、障害物が出口から離れている場合は、障害物が大きくなると退出時間が増加することを明らかにした。

また障害物の位置によって、出口手前の人のレーンの形成状態が異なることも分かった。

第四章は、レーンの形成状態と退出効率の関係について書かれている。まず、レーンの形成状態を定量的に議論するために、クラスタリング手法の一つである **k-means** 法を拡張し、新しい二層 **k-means** 法を開発した。そして、その手法を用いて求めた定量的なレーン形成状態の値が、退出効率と強い正の相関関係にあることを示した。つまり障害物が退出効率に与える影響は、人のレーン形成を促進できるか、それとも阻害するか、に依るということが分かった。また、人が早く退出しようとしてより出口に近いレーンに移ろうとする行為により、レーンの形成状態は変化することも調べられた。

第五章では、集団歩行の中で個人が経験する混雑について詳細に分析した。群集運動の分野では、個人が占有する領域を計算する際にボロノイ図を応用したボロノイ法がよく用いられる。しかし、本論文の実験系のように障害物がある状況では、ボロノイ法では個人の領域を適切に計算できない。そこで個人の領域の最大値に制限を設ける拡張ボロノイ法を開発し、新手法で得た値が直観に合う適切なものであることを示した。そして、拡張ボロノイ法を用いて密度を計算し、空間全体の平均密度を最小にする障害物の大きさが存在することを明らかにした。さらに実験と同時にに行ったアンケート調査の結果から、拡張ボロノイ法で得た混雑度と人が感じる混雑度に非常に強い正の相関があることも分かった。

第六章では、実験で得た結果をより広範囲に適用できるように数理モデルを構築した。実験結果を用いてキャリブレーションしたこのモデルを使用すると、人が通常状態の場合、障害物の大きさと出口からの距離が大きくなると、退出効率が減少するという示唆を得ることができた。さらにこのモデルを使って競争状態の場合について調べると、通常状態の場合と逆の結果が得られることが分かった。これは、通常状態では単に人の移動を妨げている障害物が、競争状態では途中にボトルネックを形成して出口に人が殺到するのを防いでいるからだと考えることができる。この結果は、先行研究の実験結果が異なる原因の一部分を解明することができたと考えられる。

最後に第七章では、本論文の内容をまとめ結論を述べている。

以上、本論文は障害物が個人や集団の歩行に与える影響を実際の人による実験を行って調べ、そのメカニズムを明らかにすると同時に、物理的な混雑と人が感じる混雑との関係も調査した。さらに数理的なモデルも構築し、実験を行うことが難しい状況についても障害物の影響について示唆を与えることに成功した。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。