

2017年02月22日

博士学位審査 論文審査報告書（課程外）

大学名 早稲田大学
研究科名 大学院人間科学研究科
申請者氏名 今西 美音子
学位の種類 博士（人間科学）
論文題目（和文） 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
論文題目（英文） Visual Crowd Flow Evaluation Method Using Pedestrian-Oriented Modeling

公開審査会

実施年月日・時間 2016年12月16日・10:30-11:30
実施場所 早稲田大学 所沢キャンパス 100号館 210室

論文審査委員

	所属・職位	氏名	学位（分野）	学位取得大学	専門分野
主査	早稲田大学・教授	佐野 友紀	博士（工学）	早稲田大学	建築計画学
副査	早稲田大学・教授	古山 宣洋	Ph.D（心理学）	シカゴ大学	生態心理学
副査	早稲田大学・准教授	小島 隆矢	博士（工学）	東京大学	建築環境学
副査	東京理科大学・教授	大宮 喜文	博士（工学）	東京理科大学	建築防災学

論文審査委員会は、今西 美音子氏による博士学位論文「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」について公開審査会を開催し、以下の結論を得たので報告する。

公開審査会では、まず申請者から博士学位論文について30分間の発表があった。

1. 公開審査会における質疑応答の概要

申請者の発表に引き続き、以下の質疑応答があった。

1.1. 質問：[3章 群集流横断実験] 横断者のみでなく群集流側の歩行者についても検討をおこなうべきである。

回答：回避強度については群集流グループ側も算出・分析をおこない、さらに横断者との回避強度の出現の仕方の違いについての比較もおこなっている。

1.2. コメント：既存の密度-速度モデルから正常な発展をしているという印象を受ける。モデルの作り方と表現の方法という2つの提案を含んだ研究である。群集の可視化手法は、統計の分野において Tukey が箱ひげ図などの探索的データ解析手法を提案した

ことになぞらえられるのではないか。

- 1.3. 質問：[3章 群集流横断実験] 結果において、図の中で評価の特徴量を表現できると良い。

回答：歩行者主体軌跡図では、プロット線の展開領域によって減速・迂回避の回避強度を水準別に読み取れるようになっている。また短時間歩行パスのシーケンス動画についても、歩行者記号に色付けをすることで回避強度を示している。具体的な特徴量の数値検討については今後の課題としたい。

- 1.4. コメント：60年続いた群集のスタンダードである Fruin や戸川のモデルに風穴を開ける研究である。回避行動から減速・迂回・ひねりを押し出して快適性を評価しようとしているところがオリジナルではないか。

- 1.5. 質問：[3章 群集流横断実験] 回避行動の分類、減速・迂回・ひねりは独立している現象ではなくそれぞれ関連していると考えられる。

回答：3種の回避は独立したものではなく、歩行者はこの3つを組み合わせた回避をしている。歩行者主体移動軌跡図の分析ではそのうち減速と迂回の2者が同時に起こる様子を捉えている。また回避強度の評価では、それぞれ3つの指標を計測したのうち、歩行者の回避強度の代表値としては3者のうちの最大回避強度が歩行者の回避強度であると捉え、考察で示している。

- 1.6. 質問：[2章 群集のモデル化と可視化] 短時間歩行パスとなど歩行者行動について1秒という時間単位で分析しているが、適切な時間か。

回答：様々な検討の末決定した時間であり、1秒間は適切な時間であると考えている。1秒よりも時間が小さい時、低速度の状態において進行方向を算出するのが難しい。1秒はおおよそ2歩の歩行であるため、身体動揺がキャンセルできることが期待できる。反対に時間が長すぎると短時間歩行パスの矢印が重なり合い図の読み取りが難しくなる。また矢印と重ならないことが動的パーソナルスペースと対応していることを推測しており、今後の研究課題であると考えている。さらに、1秒は速度 (m/秒) などへの換算がしやすいキリの良い数字であるためデータの読み取りが容易であることも利点として挙げられる。ひねり角度の算出においては、肩の向き自体は1秒こだわる必要はないが、他の回避行動の値 (歩行速度・変化角度) と合わせるために1秒であることが望ましい。

- 1.7. コメント：提案する可視化手法の一つ「歩行者主体移動軌跡図」は、歩行者の移動シーケンスを表しており、何が起きているのかを記述するものとして面白い。

- 1.8. 質問：[3章 群集流横断実験] 回避をするとき例えばひねりと迂回どちらの方が楽かなど、回避行動間の優先順位がわかると良い。

回答：今回の研究では回避強度の算出と評価までにとどまり、回避行動の発生条件を得るにまでは至っていない。今後の課題としたい。

- 1.9. 質問：本研究の結果を今後どのように利用できると考えているか。また今後の課題は何が考えられるか。

回答：本研究ではまず、歩行者群集の新たなとらえ方を示した。これは大きな概念モデルであり、この概念を用いて今後様々な歩行者群集の問題が解いていけると考えている。マルチエージェント的な群集シミュレーションとの相性もよいので、今回の結

果として得られた局所での行動モデルを既存のシミュレーションモデルに組みこむなどをしたい。可視化手法については、歩行者の位置座標の時間推移データという非常に基礎的なデータから描くことができるため、多くの人に利用してほしいと考えている。歩行快適性の評価については、歩行者の回避行動の強度算出から歩行快適性が推算できるところまでは示したが、本研究内の実験では直進での横断のみなど状況が限られているため、強度水準のしきい値については今後さらなる検討が必要である。

2. 公開審査会で出された修正要求の概要

2.1. 博士学位論文に対して、以下の修正要求が出された。

- 2.1.1. 歩行快適性の評価においてしきい値の選定に、本可視化方法を採用することは既存の手法と比べてどのような点で優れているのかの比較を示すべきである。
- 2.1.2. 4章の開口部通過実験において、250 mm よりも開口部端に近いときに肩を傾ける行為は、心理学分野における Warren & Whang の間隙実験の結果とも相関が高い。本知見との関係性についても言及すると人間科学の論文として厚みが出ると考えられるため、参照すべきである。
- 2.1.3. 現象を要約して可視化をするということは一方で情報を切り捨てることである。今回提唱する可視化手法において捉えられる情報と捉えられない情報についての整理も必要である。
- 2.1.4. 提唱する3つの可視化方法において端的な例示があると良い。
- 2.1.5. 論文内の結果の数値について、今回の研究の中で得た限定的な固有の値なのか、汎用的な値として提唱している数値なのかを明示すべきである。

2.2. 修正要求の各項目について、本論文最終版では以下の通りの修正が施され、修正要求を満たしていると判断された。

- 2.2.1. 「3.2.2 短時間歩行パス動画および移動方向バラ図」に短時間歩行パス図を分析に用いることの利点をさらに加筆した。
- 2.2.2. 4章の既往研究に該当研究のレビューを含めたほか、4章 考察に「4.4.4. 心理学領域での間隙通過実験結果との関係」という節を追加した。
- 2.2.3. 2章の各可視化手法の節の冒頭や読図方法で表現する・されない情報についての記述を追加した。また、2章のまとめ表2.3の「読み取り可能な情報」により詳細な情報を追加した。
- 2.2.4. 短時間歩行パス図に肩のついた開口部通過の例示を追加。「歩行者主体移動軌跡図」では「2.6.3. 読図方法」という節を新設、3章の実験結果から状態が異なる事例を3つ選定し読み取りの具体例として挙げた。
- 2.2.5. 3章および4章のまとめ内「結果」において、本実験条件下で得られた値とより汎用的な知見についてその区分をより明示的にした。また同まとめに「今後の展望」という節を追加し、その中で回避強度のしきい値が本研究固有のもので

あること、200 mm スパンについてより研究が必要であることなどを述べた。

3. 本論文の評価

- 3.1. 本論文の研究目的の明確性・妥当性：都市施設の大規模化・複合化などにより、当該施設での歩行者の誘導計画は複雑化している。従来、これら歩行者群集の混雑評価は単純な群集密度と歩行速度または流動係数の関係式によって単純化され評価されてきた。対して、本論文では歩行者を本位とした新しい考え方による群集流動の詳細なモデル化と可視化を用いた群集評価手法の開発を目的としている。従来の群集モデルや可視化法のレビューを通じて現在の問題点を洗い出した上で、歩行者間および障害物に対する回避行動に着目した新たな検討を行なうとしている点で、明確かつ妥当である。
- 3.2. 本論文の方法論（研究計画・分析方法等）の明確性・妥当性：2章において、歩行者流動のモデル化と可視化の基本的な考え方を既往の研究と対比して新たな視点から整理している。3、4章では2つの大規模な被験者実験を通じて、群集の性状について、各歩行者の位置座標という定量的な値から精緻な分析を行なっている。加えて、解析、また新規の可視化手法の実施においては、既存のGUIソフトウェアに頼らず独自のプログラムをいちから作成しているなど、既存の手法に縛られない新しい可視化手法を開発し、分析内容を記述しているなど、明確かつ妥当である。
- 3.3. 本論文の成果の明確性・妥当性：得られた歩行者位置座標、移動、肩の回転などの時系列の位置座標詳細データなどの結果を定量的に分析し評価している。可視化手法においては、提案を踏まえた上で続く章で実際にそれらを利用して評価・分析を行っており、提案した手法を用いた研究のケーススタディとしても示されている。分析結果による行動のモデル化と群集流動データのうち、行動性状、回避行動を一瞥で理解できる形で提示するなど、明確かつ妥当である。
- 3.4. 本論文の独創性・新規性：本論文は、以下の点において独創的である。
 - 3.4.1. 群集において、歩行者各自の視座にたった歩行者本位のモデルとして群集を捉え直した点、群集内の各歩行者の時系列の位置座標に加えて、新たな指標として肩の向きのデータを採取・分析し、歩行者の身体の占める空間が群集の性状に影響を及ぼすことを示した。
 - 3.4.2. 歩行者の移動を歩行速度・移動方向・肩の向きという3つの変量で表せることを示した。
 - 3.4.3. 群集の可視化の有効性を示し、実用性のある新たな可視化手法を提案した。これにより、今まで単純化・平均化して捉えられてきた群集の混雑評価を詳細かつ多面的にとらえ直した。
- 3.5. 本論文の学術的意義・社会的意義：本論文は以下の点において学術的・社会的意義がある。
 - 3.5.1. 本論文で提案する短時間歩行パス図、移動方向バラ図、歩行者主体移動軌跡図の新規の可視化手法は、歩行者の移動軌跡という基礎的なデータから作成できる汎用性の高いもので、今後様々な研究や実用レベルでの利用が期待できる。
 - 3.5.2. 歩行者の行動を本位としたモデルは群集歩行シミュレーションとの親和性も高

く、実用のシミュレーションへの展開が期待できる。

- 3.5.3. 歩行者の回避行動モデルは群集流交差やボトルネック通過など実際の建築空間での課題箇所について扱っており、今後建築計画の分野での基礎的資料となることが期待できる。
- 3.6. 本論文の人間科学に対する貢献：本論文は、以下の点において、人間科学に対する貢献がある。
 - 3.6.1. 歩行者の行動を本位としたモデル構築をしており、個々の人間の行動および身体寸法、心理といった多面的な面からとらえている。
 - 3.6.2. 歩行快適性という心理的評価を歩行者の移動軌跡という物理データから評価するという試みは、心理学分野と工学分野を学際的にとらえている。
 - 3.6.3. 歩行者同士のインタラクションや歩行者の身体寸法の作用を検討している。
4. 本論文の内容（一部を含む）が掲載された主な学術論文・業績は、以下のとおりである。
 1. 今西美音子, 佐野友紀: 群集流横断における歩行者間の回避強度水準の検討 -短時間歩行パス分析をもちいた群集解析 その1-, 日本建築学会計画系論文集, 第79巻 第698号, pp. 917-922, 2014.4
 2. 今西美音子, 佐野友紀, 萩原一郎, 布田健: 群集の開口部通過性状における身体寸法の作用, 日本建築学会計画系論文集, 第80巻 第714号, pp. 1799-1806, 2015.8
 3. 今西美音子, 佐野友紀: 歩行者主体で見た群集内での回避行動の解析 -短時間歩行パス分析をもちいた群集解析 その2-, 日本建築学会計画系論文集, 第81巻 第719号, pp. 57-63, 2016.1
5. 結論
以上に鑑みて、申請者は、博士（人間科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

以 上