

令和元年6月16日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17583

研究課題名(和文) 退出順序・サービス順序に着目した群集運動の研究

研究課題名(英文) Research on pedestrian dynamics focusing on egress and service sequence

研究代表者

柳澤 大地 (Yanagisawa, Daichi)

東京大学・先端科学技術研究センター・准教授

研究者番号：70611292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、歩行速度の速い人と遅い人、居室から出る人と残る人、出口の位置を知っている人と知らない人、近い出口と遠い出口、サービスの早い窓口と遅い窓口など、群集運動において複数種類の人や出口、窓口を考えた。そして、人の並び方や出口の選択、サービス順序の違いが、総避難時間や平均待ち時間などのシステム全体のパフォーマンスにどのような影響を与えるか実際の人による実験で調べ、実験結果を再現できるようなシミュレーションモデルを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

【学術的意義】複数種類の人や出口、窓口を考えたことにより、人並び方や出口の選択、サービス順序など、一種類の場合には存在しなかった新しい指標に注目し、それらの平均歩行速度や総避難時間、平均待ち時間などシステム全体のパフォーマンスへの影響を調べることができた。

【社会的意義】複数種類の人や出口、窓口を考えたことにより、より現実的なシミュレーションモデルを構築することができ、実社会での応用範囲が広がった。

研究成果の概要(英文)：We considered multiple species of pedestrians, exits, and service windows, for example, fast and slow pedestrians, egressing and remaining people, evacuees who know the position of the exit and who do not, near and far exits, and fast and slow service windows, in pedestrian dynamics. Then, we investigated how the quantities such as distribution of pedestrians, exit choice, and service sequence affect the performance of the system such as total evacuation time and mean waiting time by the real experiments. Finally, we developed simulation models which can reproduce the experimental results.

研究分野：渋滞学・群集運動

キーワード：数理工学 モデル化 順序 群集運動 退出 待ち行列

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

群集運動の研究は、群集の歩行の基礎的な性質を調べたものと出口が一つの居室からの避難に関するものが非常に多い。そしてそのような研究では、群集の平均的な性質や総避難時間が議論の中心となる。しかし実際には、群集の中には歩くのが速い人もいれば遅い人もいて、避難経路が複数存在する場合もある。また、災害時の避難ではなく電車からの降車など通常の退出においては、一部の人だけが退出することが普通である。

一方、群集運動の研究の一分野とも考えられるサービス窓口における待ち行列の問題は、待ち行列理論を応用して研究されてきた。しかし、待ち行列理論は数学的な理論であるため、現実の複雑な待ち行列の分析に使えるようなものはまだ開発されていなかった。

以上のように、これまでの群集運動の研究は研究し易い比較的単純な状況を想定したものが多かった。

2. 研究の目的

そこで本研究課題では、より現実的な群集運動のシミュレーションモデルを構築することを目的とした。具体的には、歩行速度の速い人と遅い人、居室から出る人と残る人、出口の位置を知っている人と知らない人、近い出口と遠い出口、サービスの早い窓口と遅い窓口など、複数種類の人や出口、窓口を考えた。複数種類の人を考えると、どのような順序で人が並んでいるか、どのような種類の人があるか、どのように分布しているかなど、一種類の人しか考えなかった場合には表れなかった新しい指標が生まれる。出口や窓口の場合も、どの出口から退出するか、どのような順序でサービスを受けるかといった、選択の問題や順序の違いを考慮する必要性が出てくる。本研究では、これらの新しい指標が総避難時間や平均待ち時間などのシステム全体のパフォーマンスにどのような影響を与えるかを実際の人による実験で調べ、実験結果を再現できるようなシミュレーションモデルを構築した。

3. 研究の方法

本研究課題では、三つの方法で研究に取り組んだ。第一の方法は実際の人による実験である。学生を中心とした実験参加者を 30-50 名ほど募集し、ベルトパーティションで構築したサーキットを歩行したり、段ボール箱で壁を作成した部屋から退出してもらったりした。その様子をビデオカメラで真上から撮影し、トラッキングソフト PeTrack を用いて軌跡を解析した。第二の方法はシミュレーションである。NetLogo というフリーソフトを用い Social Force Model や Floor Field Model という群集運動のモデルを拡張することにより、実験結果を再現できるようなモデルを作成した。第三の方法は理論解析である。群集運動のモデルは複雑であり、そのままでは理論解析は難しいので、現実から乖離しない範囲で単純化のための仮定をおき、渋滞が起こる条件などを数式で求めた。

4. 研究成果

【歩行速度の不均一な群集】

歩行速度の不均一な群集について、歩行速度が均一な群集との差異を調べるための実験を行い、そのデータを解析した。既存研究では個々人の歩行速度は密度によって決定されることが示唆されていたものの、速度が不均一な群集においては密度の影響よりも周囲の人間の歩行速度の方がより大きく影響することが統計的分析によって明らかになった。また、不均一な群集では集団内部での密度の偏りや危険度が高くなることが明らかになった。

【車種混合交通】

群集運動の類似現象として、新興国に見られる車種混合交通における、各車種（バイク、乗用車、トラック）の挙動を解析した。既往研究では、車種の並び順が渋滞しやすさに影響することが示唆されていたものの、各車種の詳細な挙動差や発生原因までは明らかにされていなかった。また二台前の車種が自車に及ぼす影響を、モデルを用いて表すことに成功した。

【部分退出】

部屋の中にいる被験者のうち一部だけが退出する実験を行い、どの場所にいる人が退出すると早く退出することができるかを調べた。その結果、退出順序は出口からの距離によってほぼ決まり、退出までに他の人とすれ違う回数が総退出時間に大きな影響を及ぼしていることが分かった。

【出口の位置を知っている人と知らない人がいる退出】

複数の出口があるが、開いているのはそのうちの一つという状況の退出の研究を行った。開いている出口を知っているのは一部の人だけである。実際の人による実験を行うと、開いている出口を知っている被験者が増加すると総退出時間は減少するが、その効果には限界があり、ある一定割合以上知っている被験者が増加しても総退出時間は変化しなかった。さらにフロアフィールドモデルという群集運動モデルにジャッジメントマークという効果を新たに導入し、この現象を再現することに成功した。

【出口選択】

直線的な通路の端に二つの出口がある場合、群集は二つの出口をほぼ均等に使用するが、曲がり角を曲がった後に二つの出口がある場合、半分以上の群集が曲がり角からより離れた遠くの出口を選択することが実際の人による実験結果から分かった。申請者は、この原因は人の移動の慣性によるものだと考え、シミュレーションモデルに慣性の効果を導入したところ、実験結果をうまく再現することができた。

【サービス順序の影響】

サービスが早い窓口と遅い窓口のサービスを連続して受ける待ち行列システムをシミュレーションした。その結果、サービスが早い窓口のサービスを先に配置した方が、サービス時間が短くなることが分かった。さらに一部の結果では、シミュレーションだけでなく解析的な式を導出することに成功した。この結果は、サービス窓口の配置の設計に非常に有用であると考えられる。さらに実際の人による実験を行い、シミュレーション結果が正しいことを確認した。

また、上記の研究に関連して以下のような成果を上げることもできた。

【すれ違うときの体の回転の分析】

二人の人が狭い通路ですれ違う際に、どのように体を回転しているかを調べた。今回の実験では、体の回転を始めるタイミングは被験者によって大きな差はなかった。また、人を楕円で表し幾何的な計算を行うことにより、実験における体の回転角度を定量的に説明することができた。

【体の回転を考慮したシミュレーションモデルの作成】

多くの群集のシミュレーションモデルでは、人の体を楕円で表現しても、体の向きと歩く向きが常に一致しているため、体の回転による人の回避行動を再現することができない。そこで、体の向きと歩く向きが異なる状態を表現できるシミュレーションモデルを作成した。このモデルを用いて双方交流のシミュレーションを行うと、実際の実験による速度と密度の関係（基本図）を再現することができた。

【避ける向きの自発的な統一】

時計回りと反時計回りにサーキットを周回している複数の人がいるとき、右と左どちらに避けるかが、時間とともにどのように変化していくかをシミュレーションによって調べた。その結果、システムのサイズが大きいと避け方が統一されにくいことが分かった。また、サーキットの混み具合と記憶の忘却の早さによって、避ける方向が統一される領域と統一されない領域があることが分かった。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計16件)

1. Hiroki Yamamoto, [Daichi Yanagisawa](#), Claudio Feliciani, and Katsuhiro Nishinari, "Body-rotation behavior of pedestrians for collision avoidance in passing and cross flow", *Transp. Res. Part B*, 122, pp. 486-510, 2019/04.
DOI: 10.1016/j.trb.2019.03.008
2. Riho Kawaguchi, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Decision-making with reference information", *Physica A*, 519, pp. 109-118, 2019/04.
DOI: 10.1016/j.physa.2018.12.007
3. Koki Nagao, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Estimation of crowd density applying wavelet transform and machine learning", *Physica A*, 510, pp. 145-163, 2018/11/15.
DOI: 10.1016/j.physa.2018.06.078
4. Satori Tsuzuki, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Effect of walking distance on a queuing system of a totally asymmetric simple exclusion process equipped with functions of site assignments", *Phys. Rev. E*, 98(4), 042102, 2018/10/01.
DOI: 10.1103/PhysRevE.98.042102

5. Satori Tsuzuki, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Effect of self-deflection on a totally asymmetric simple exclusion process with functions of site-assignments", Phys. Rev. E, 97(4), 042117, 2018/04/12.
DOI: 10.1103/PhysRevE.97.042117
6. Masahiro Tanaka, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Exclusive queueing model including the choice of service windows", Physica A, 490, pp. 1481-1492, 2018/01/15.
DOI: 10.1016/j.physa.2017.08.096
arXiv:1905.03583
7. Akihito Nagahama, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Dependence of driving characteristics upon follower-leader combination", Physica A, 483, pp. 503-516, 2017/10/01.
DOI: 10.1016/j.physa.2017.04.136
8. Hiroki Yamamoto, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Velocity control for improving flow through a bottleneck", J. Stat. Mech., 2017, 043204, 2017/04/05.
DOI: 10.1088/1742-5468/aa5a73
9. Luca Crociani, Giuseppe Vizzari, [Daichi Yanagisawa](#), Katsuhiro Nishinari, and Stefania Bandini, "Route choice in pedestrian simulation: Design and evaluation of a model based on empirical observations", Intelligenza Artificiale, 10(2), 163-182, 2016/12/12.
DOI: 10.3233/IA-160102
10. Yu-Li Tsai, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Disposition Strategies for Open Queueing Networks with Different Service Rates" (Open-Access), Engineering Letters, 24(4), pp. 418-428, 2016/11/26 (Online), 2016/12 (Print).
11. [Daichi Yanagisawa](#), "Coordination Game in Bidirectional Flow" (Open-Access), Collective Dynamics, 1, A8:1-14, 2016/11/24.
DOI: 10.17815/CD.2016.8
12. Yu-Li Tsai, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "General Disposition Strategies of Series Configuration Queueing Systems" (Open-Access), IAENG International Journal of Applied Mathematics, 46(3), pp. 317-323, 2016/08/26 (Online), 2016/09 (Print).
13. Takahiro Ezaki, Kazumichi Ohtsuka, Mohcine Chraibi, Maik Boltes, [Daichi Yanagisawa](#), Armin Seyfried, Andreas Schadschneider, and Katsuhiro Nishinari, "Inflow process of pedestrians to a confined space" (Open-Access), Collective Dynamics, 1, A4:1-18, 2016/07/22.
DOI: 10.17815/CD.2016.4
14. Yu-Li Tsai, [Daichi Yanagisawa](#), and Katsuhiro Nishinari, "Performance Analysis of Open Queueing Networks Subject to Breakdowns and Repairs" (Open-Access), Engineering Letters, 24(2), pp. 207-214, 2016/05/18 (Online), 2016/06 (Print).
15. [柳澤大地](#), 西成活裕, "群集運動のセルオートマトンモデル", "Cellular Automata Model for Pedestrian Dynamics", 情報処理 2017 年 7 月号, 58(7) 通巻 628 号, pp. 570-573, 2017/06/15.
(査読無)

16. **柳澤大地**, 小林正弘, 佐久間大,
"移動距離と並び方が混雑に及ぼす影響について",
オペレーションズ・リサーチ 4 月号 2016 年, 61(4), pp. 250-257, 2016/04.
(査読無)

[学会発表] (計 5 0 件) (詳細は登壇者 (筆頭著者) であるものの主なもののみを掲載)

【登壇者 (筆頭著者) であるもの (国際) (計 8 件)】

1. **Daichi Yanagisawa**, Claudio Feliciani, and Katsuhiro Nishinari,
"Unidirectional and bidirectional flow in a narrow corridor with body rotation",
Ninth International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2018) in
Lund, Sweden, 2018/08/23, (Oral, Reviewed).

2. **Daichi Yanagisawa** and Keisuke Yamazaki,
"Detecting Competitive Behaviors In Conflicts",
Traffic and Granular Flow '17 in The George Washington University, Washington, DC, USA,
2017/07/20, (Poster, Reviewed).

3. **Daichi Yanagisawa**,
"Jamming phenomena of self-driven particles",
Non-Gaussian Fluctuation and Rheology of Jammed Matter (Japanese title is translated),
Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, 2017/03/11, (Oral, Invited).

4. **Daichi Yanagisawa**, Hiroki Yamamoto, Takahiro Ezaki, and Katsuhiro Nishinari,
"Passing in a narrow corridor: Modelling body rotation by ellipse",
Eighth International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2016) in
Hefei, China, 2016/10/18, (Oral, Reviewed).

5. **Daichi Yanagisawa** and Shingo Ichiki,
"Totally asymmetric simple exclusion process on an open lattice with Langmuir kinetics
depending on the occupancy of the forward neighboring site",
Twelfth International conference on Cellular Automata for Research and Industry (ACRI
2016) in Fez, Morocco, 2016/09/08, (Oral, Reviewed).
[Link to the workshops](#)

6. **Daichi Yanagisawa** and Shingo Ichiki,
"Hurst exponent in a simple order-book model with the asymmetric simple exclusion
process",
ASIA-PACIFIC ECONOPHYSICS CONFERENCE 2016 (APEC-SSS 2016) in The
University of Tokyo, Japan, 2016/08/24, (Poster).

7. **Daichi Yanagisawa** and Shingo Ichiki,
"Extended Totally Asymmetric Simple Exclusion Process with Langmuir Kinetics on a
Network",
NetSci 2016 in Seoul, South Korea, 2016/06/01-02, (Poster).

8. **Daichi Yanagisawa**,
"Investigation on cooperative avoiding behavior in bidirectional flow",
Traffic and Granular Flow '15 in Nootdorp, the Netherlands, 2015/10/29, (Oral, Reviewed).

【登壇者 (筆頭著者) であるもの (国内) (計 8 件) (詳細は主なもののみを掲載)】

1. **柳澤大地**, 秋田基行,
"待ち行列理論を応用した時間貸し駐車場のモデル",
第 7 回 超異分野学会,
TEPIA 先端技術館, 2018/03/02.
(ポスター発表, 査読なし)

2. **柳澤大地**,
"物理学者が考えた避難モデルとその応用",
九州大学 IMI 研究集会 防災・避難計画の数理モデルの高度化と社会実装へ向けて,
九州大学西新プラザ, 2017/11/30.
(口頭発表, 招待講演)

3. **柳澤大地**, 秋田基行,
"時間貸し駐車場の待ち行列モデル",
日本応用数理学会 2017 年度年会,
武蔵野大学 有明キャンパス, 2017/09/06.
(ポスター発表, 査読なし)

4. **Daichi Yanagisawa**,
"Modeling evacuation and queueing system",
第 4 回 数理モデリング研究会 in 軽井沢: Workshop on multitrack event-trains in neural,
social, seismological, and financial data,
軽井沢, 2017/07/08.
(口頭発表, 査読なし)

5. **柳澤大地**,
"群集運動のシミュレーションと実験",
リバネス 異分野融合セミナー「人の暮らしを進化させるものづくり」,
横浜, 2017/05/18.
(口頭発表, 招待講演)

6. **柳澤大地**, 山崎啓介,
"退出過程における強引なエージェントの識別方法",
数理社会学会 第 63 回大会,
関西大学 千里山キャンパス, 2017/03/14.
(ポスター発表, 査読なし)

7. **柳澤大地**, 小林正弘, 佐久間大,
"客の移動距離を考慮した待ち行列モデル",
日本オペレーションズ・リサーチ学会 2016 年春季研究発表会,
慶應義塾大学 矢上キャンパス, 2016/03/17.
(口頭発表, 査読なし)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://yana.xii.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究分担者 なし

(2) 研究協力者 なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。