

令和 5 年 5 月 2 日現在

機関番号：14303

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20143

研究課題名（和文）能動的な予期を実装した認知ベース群集理論の構築

研究課題名（英文）A cognitive framework to understand pedestrian crowd behavior based on mutual anticipation

研究代表者

村上 久（Murakami, Hisashi）

京都工芸繊維大学・情報工学・人間科学系・助教

研究者番号：20755467

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：人の群集は、多種多様な要素が相互作用を介して自己組織化する集団現象の実例である。従来、歩行者の運動は物理的粒子群に着想を得た衝突回避モデルにより記述されてきたが、近年の様々な実験研究との不整合が明らかとなり、その信頼性に疑問が持たれている。これに対し我々の先行研究は、現実の歩行者は単に受動的な衝突回避でなく、むしろ互いの運動を予期し能動的に人混みの中で自らの経路を探索していることを示しつつあった。そこで本研究では予期の実験的操作としてスマホ歩きを取り入れた群集実験を行った結果、確かにこの予期の介入により集団の秩序形成が遅延し、全体としての流量が低下することが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年の画像解析技術の進歩から現実の群集を実験的に分析可能となった結果、従来モデルでは説明が困難な現象が複数見つかっている。本研究では特に、現実の歩行者は従来の距離に依存した物理的斥力ではなく、本質的に予期に基づくことを集団レベルの現象から明らかにした。本研究が明らかにした予期に基礎付けられた群集理論は、将来的に様々な混雑問題を解決し都市・交通インフラ設計を支援へする上で鍵となると考えられる。学術的側面としては、本研究が目的とする能動的な予期に基づく群集の理解は、車や物流の交通、群ロボット、集団意思決定モデルなどあらゆる集団現象に共通する自己組織化原理の解明につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Understanding pedestrian dynamics is crucial to help manage mass events and daily pedestrian transportation. Although recent findings emphasized that pedestrians' interactions are fundamentally anticipatory in nature, whether and how individual anticipation functionally benefits the group is not well-understood. Here we show the link between individual anticipation and emergent pattern formation through our experiments of lane formation, where unidirectional lanes are spontaneously formed in bidirectional pedestrian flows. We asked some participants to perform walking while texting on the smartphone to manipulate the anticipatory abilities of some of the pedestrians by distracting them visually. We found that the walking strategy of distracted pedestrians differs from non-distracted ones, influences on motions of other pedestrians as well, and decreases the degree of collective pattern formation.

研究分野：比較集団行動学

キーワード：群れ 歩行者 自己組織化 予期 注意

1. 研究開始当初の背景

人の群集は多様な創発的集団現象を示す。それは甚大な事故を引き起こす場合もあるが、レーン形成現象など、特定の条件下では外的制御無しに全体としての流れの量(交通効率)を自律的に向上しうる。こうした集団現象を理解するために、多くの群集モデルが提案されてきた。しかし近年の画像解析技術の進歩から現実の群集を実験的に分析可能となり、従来モデルでは説明が困難な現象が複数見つかっていた。特に、現実の歩行者は従来の距離に依存した物理的斥力ではなく、本質的に予期に基づくことがわかりつつあった。だが、このような予期行動は現状では集団単位の統計的性質しかわかっておらず、歩行者一人一人が具体的にどのような予期行動を行うかは、機能的にも構構的にも明らかでなかった。

2. 研究の目的

本研究では、予期が群集の自己組織化を促進させている、との仮説を実験的に検証することを主たる目的としていた。特に、予期の能力を実験的に操作する手法としてスマホ歩きを取り入れた群集実験を計画に組み入れた。これは、スマホ歩き = 予期不能であることが、単に衝突回避の障害となるだけでなく、集団レベルでの自己組織化を阻害する可能性を評価することで、逆説的に、(予期可能な)通常の歩行者の経路探索の最適性を実証する、という方法論である。

3. 研究の方法

(a)実験では、それぞれ 27 人からなる二つの集団が対面して歩いたときに生じるレーン形成について調べられた。二つのうち片方の集団にいる 3 人の歩行者は、予期の認知能力に介入するため視覚的注意を逸らす追加課題が与えられた。追加課題は歩行中にスマートフォンを用いて計算問題を解くというものであった。いわゆるスマホ歩きについて、歩行者の視野が狭まり周囲環境への視覚的注意が著しく低下することは先行研究によりわかっている。通常予期を行う歩行者は、対向する歩行者が十分離れていても強く影響を受ける。従ってスマホ歩き課題により注意を逸らされた歩行者は、予期が困難になると考えられた。以上より、この実験で、歩行への注意を逸らす課題が局所的な衝突回避リスクを高めるだけでなく、集団的なレーン形成をも阻害するのであれば、通常の群集の自己組織化は予期によって促進されると考えられた。

(b)互いに予期し合う歩行者はいかに協調的に振る舞うのか？また歩行者はどのような感覚情報(特に視覚情報)を用いて相互作用するのか？このような問いに取り組むためには、必ずしも集団実験は適切ではない。3人以上の歩行者が相互作用し合う場では個々の影響を切り分けることが困難であり(また相乗効果も見込まれるため)、評価が難しいからだ。そこで我々はこれらの問いに取り組むにあたって、二人の歩行者が向かい合って歩く簡単な実験もおこなった。二人の歩行者のうち一方に眼鏡型アイトラッカーを装着してもらうことで視線の動きを計測し、もう一方の歩行者には条件に応じて先ほどと同様、予期に介入するための追加課題(スマホ歩き)さらには視線のやりとり自体が歩行者相互作用に与える影響を調べるため、歩行者がミラーサングラス(外から見るとレンズ部分が鏡のように見える)を掛けて歩く条件も設けられた。

4. 研究成果

(a)結果としてまず、注意を逸らす課題があった場合、なかった場合に比べて有意に集団全体の歩行速度が低下した。この結果は、予期の阻害が集団全体の流れを滞らせたことを意味する。続いて自己組織化への影響を調べるため、レーン形成の程度を計測する秩序変数を用いて、いつレーンが初めて形成されたかを計算した。その結果、注意を逸らす課題があった場合は、なかった場合に比べて有意にレーン形成の開始時間が遅延することが示された。これらの結果は、予期の阻害が群集の自己組織化過程に影響を与えたことを意味する。

以上の集団レベルでの影響に加えて、注意を逸らす課題が個体レベルでの衝突回避行動にどう影響を与えたかを調べた。注意を逸らされることで歩行者は予期が困難となり、事前の衝突回避を行えず、衝突直前の急で大きなターンを行うと考えられる。結果として、このような急で大きなターンは、注意を逸らす課題がない実験では観察されなかった。一方で一部の歩行者の注意が逸らされた実験では、注意を逸らされた歩行者のみならず、彼らに向かっていく者や同じ方向に進む者でさえ、急で大きなターンが観察された。これらの結果は、今回の「一部の歩行者のみ注意を逸らす」という実験的介入が、注意を逸らされた歩行者自身の予期能力に直接の影響を与えただけでなく、周囲の歩行者にも間接的に影響したことを意味する。それはまた、私たちが群集の中でスムーズな歩行を行うためには、予期が一方ではなく双方向で行われる必要があることを示している。以上の結果をまとめると、通常の衝突回避行動は協調的プロセスであり、個体間の相互の予期が集団全体としての秩序を促進すると考えられる。

(b) スマホ歩きを誰も行わないベースライン条件では、二人の歩行者はすれ違うまでのあいだ自発的に歩行の速さと方向を協調させていることがわかった。つまり、あらかじめどちらかに動きを合わせるよう指定することや、動きかたを指定するような実験的指示があったわけではないのに、二人の歩行者は動きやタイミングを合わせることで滑らかなすれ違いを実現している

ことが明らかになった。片方の歩行者がスマホ歩きを行う相互予期介入条件では、この協調の程度は著しく低下し、やはり相互予期が運動の協調に重要であることが示された。興味深いことに、片方の歩行者がサングラスをかける相互注視介入条件では歩行者の振る舞いはベースライン条件からほとんど変化がなかった。従って「歩行者は視線から相手の運動方向を推定する」とする従来仮説は支持されなかった。

また視線分析の結果から、相互予期介入条件ではベースライン条件に比べ、歩行者は対向者の身体を有意に長い時間見ることがわかった。岩場など障害物が不規則に偏在する不確実性の高い場所を歩く際、人は将来の足場へと強い視覚的注意を向けることが知られている。相互予期介入条件においても、歩行者は相手の動きの不確実性故により強く視覚的注意を向けたのだと考えられる。言い換えれば(スマホ歩きによって)注意を逸された歩行者は、他の歩行者の注意を逸らしているといえる。その影響は、(a)におけるような動ける範囲が制限される人混みの中を歩く際には一層大きくなると考えられるだろう。注意を逸らされた歩行者の影響は間接的に周囲に伝播していき、その結果我々が(a)の研究で示したように、集団全体の秩序を妨げるに至ると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Jia Xiaolu, Murakami Hisashi, Feliciani Claudio, Yanagisawa Daichi, Nishinari Katsuhiro	4. 巻 144
2. 論文標題 Pedestrian lane formation and its influence on egress efficiency in the presence of an obstacle	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Safety Science	6. 最初と最後の頁 105455 ~ 105455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ssci.2021.105455	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Hisashi, Feliciani Claudio, Nishiyama Yuta, Nishinari Katsuhiro	4. 巻 7
2. 論文標題 Mutual anticipation can contribute to self-organization in human crowds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 eabe7758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abe7758	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Gunji Yukio-Pegio, Kawai Takeshi, Murakami Hisashi, Tomaru Takenori, Minoura Mai, Shinohara Shuji	4. 巻 19
2. 論文標題 Levy Walk in Swarm Models Based on Bayesian and Inverse Bayesian Inference	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Computational and Structural Biotechnology Journal	6. 最初と最後の頁 247 ~ 260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.csbj.2020.11.045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Hisashi, Feliciani Claudio, Shimura Kenichiro, Nishinari Katsuhiro	4. 巻 7
2. 論文標題 A system for efficient egress scheduling during mass events and small-scale experimental demonstration	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 201465 ~ 201465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1098/rsos.201465	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Niizato Takayuki, Sakamoto Kotaro, Mototake Yoh-ichi, Murakami Hisashi, Nishiyama Yuta, Fukushima Toshiki	4. 巻 25
2. 論文標題 Revealing the existence of the ontological commitment in fish schools	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 633 ~ 642
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00658-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shokaku Takaharu, Moriyama Toru, Murakami Hisashi, Shinohara Shuji, Manome Nobuhito, Morioka Kazuyuki	4. 巻 91
2. 論文標題 Development of an automatic turntable-type multiple T-maze device and observation of pill bug behavior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 104104 ~ 104104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0009531	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Niizato Takayuki, Sakamoto Kotaro, Mototake Yoh-ichi, Murakami Hisashi, Tomaru Takenori, Hoshika Tomotaro, Fukushima Toshiki	4. 巻 22
2. 論文標題 Four-Types of IIT-Induced Group Integrity of Plecoglossus altivelis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Entropy	6. 最初と最後の頁 726 ~ 726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/e22070726	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Feliciani Claudio, Murakami Hisashi, Shimura Kenichiro, Nishinari Katsuhiro	4. 巻 114
2. 論文標題 Efficiently informing crowds - Experiments and simulations on route choice and decision making in pedestrian crowds with wheelchair users	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transportation Research Part C: Emerging Technologies	6. 最初と最後の頁 484 ~ 503
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trc.2020.02.019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Hisashi、Feliciani Claudio、Shimura Kenichiro、Nishinari Katsuhiro	4. 巻 252
2. 論文標題 The Impact of Social Groups on Collective Decision-Making in Evacuations: A Simulation Study	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Springer Proceedings in Physics (Zuriguél et al. eds.): Traffic and Granular Flow 2019	6. 最初と最後の頁 219 ~ 224
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-55973-1_27	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Feliciani Claudio、Murakami Hisashi、Shimura Kenichiro、Nishinari Katsuhiro	4. 巻 252
2. 論文標題 Experimental Investigation on Information Provision Methods and Guidance Strategies for Crowd Control	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Springer Proceedings in Physics (Zuriguél et al. eds.): Traffic and Granular Flow 2019	6. 最初と最後の頁 61 ~ 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-55973-1_8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Feliciani Claudio、Murakami Hisashi、Tomaru Takenori、Nishiyama Yuta	4. 巻 na
2. 論文標題 Stimulus-Induced Swarming in Soldier Crabs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Conference on Cellular Automata for Research and Industry	6. 最初と最後の頁 292 ~ 302
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-14926-9_26	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Murakami Hisashi、Tomaru Takenori、Feliciani Claudio、Nishiyama Yuta	4. 巻 25
2. 論文標題 Spontaneous behavioral coordination between avoiding pedestrians requires mutual anticipation rather than mutual gaze	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 iScience	6. 最初と最後の頁 105474 ~ 105474
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.isci.2022.105474	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Niizato Takayuki、Murakami Hisashi、Musha Takuya	4. 巻 19
2. 論文標題 Functional duality in group criticality via ambiguous interactions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PLOS Computational Biology	6. 最初と最後の頁 e1010869
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pcbi.1010869	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jia Xiaolu、Feliciani Claudio、Murakami Hisashi、Nagahama Akihito、Yanagisawa Daichi、Nishinari Katsuhiro	4. 巻 87
2. 論文標題 Revisiting the level-of-service framework for pedestrian comfortability: Velocity depicts more accurate perceived congestion than local density	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour	6. 最初と最後の頁 403 ~ 425
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trf.2022.04.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 相互予期によって促進される歩行者流の自己組織化
3. 学会等名 第27回交通流と自己駆動粒子系のシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 相互予期に基づく群れの自己組織化
3. 学会等名 応用物理学会トータルバイオメティクス研究グループ 第二回合同シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H Murakami, C Feliciani, Y Nishiyama, K Nishinari
2. 発表標題 Anticipatory collective human behavior: Path-seeking of pedestrians through a crowd
3. 学会等名 TSC2020: The science of consciousness (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 遊びによって紡がれる多様性、あるいは群集
3. 学会等名 第10回共創学研究会「あそびの時空」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 相互予期に基づく群れの自己組織化
3. 学会等名 電気情報通信学会IEICE大会(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 相互予期に基づく群れの自己組織化
3. 学会等名 応用物理学会第2回 トータルバイオミメティクス研究グループ 合同シンポジウム(招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 群れの自己組織化を促す相互予期
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 互いに動きを読み合うことが群れに秩序をもたらす
3. 学会等名 日本機械学会関西支部特別フォーラム（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 互いに動きを読み合うことが群れに秩序をもたらす
3. 学会等名 電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション基礎(HCS)研究会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村上久
2. 発表標題 比較集団行動学に向けて
3. 学会等名 日本動物行動学会第41回大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 東京大学社会連携部門 群集マネジメント研究会	4. 発行年 2020年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 180
3. 書名 群集マネジメント総論	

1. 著者名 YP Gunji, H Murakami, T Niizato, Y Nishiyama, K Enomoto, A Adamatzky, M Toda, T Moriyama, T Kawai	4. 発行年 2020年
2. 出版社 CRC Press	5. 総ページ数 28
3. 書名 Swarm Intelligence: From Social Bacteria to Humans (Chapter 4)	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>情報工学・人間科学系 村上 久 助教がイグ・ノーベル賞を受賞しました https://www.kit.ac.jp/2021/09/news210910-3/ 互いに動きを読むことが歩行者の流れに秩序をもたらす:自己組織化を促す相互予期の重要性 https://www.kit.ac.jp/2021/03/news210318/ 動きを読み合う歩行者たちの即興的な運動協調 https://www.kit.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2022/11/news221111.pdf</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------