

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760058

研究課題名(和文)理論と実験による物資供給待ち行列モデルの研究

研究課題名(英文)Research on supplying queueing model by theoretical analysis and experiment

研究代表者

柳澤 大地 (Yanagisawa, Daichi)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70611292

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：車や人が行列に殺到したことによって物資の保有量がどれだけ不均一になってしまうかということや、行列への殺到が起こってしまう条件、行列への殺到が起こらなければ失われなかった物資の総量を調べることができるモデルを構築した。このモデルは、物資に殺到する車や人によって道が混雑してしまう状況にも応用することができる。また、モデルを解析するための新たな近似計算方法の開発も行った。さらに実際の人による実験も行い、Android タブレットを用いた自動計測機も作成した。

研究成果の概要(英文)：We have developed a model that enables us to investigate the followings: 1. inhomogeneous distribution of supply stockpile by vehicles and people rushing, 2. condition of rushing to the queue, 3. loss of supply by rushing. Our model can be applied to consider congestion of streets by queue of vehicles and people. We have also developed a new calculation method for stochastic self-driven particle model. Furthermore, we have performed an experiment with real pedestrians and made an auto-measurement system by using Android tablet.

研究分野：数理モデル

キーワード：待ち行列 ション 非対称単純排他過程 セルオートマトン ゲーム理論 群集運動 数理モデル アプリケー

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に起きた東日本大震災では、地震や津波による被害に加え、買占めにより復旧のための物資が被災地に届かないという大きな問題も発生した。特に物資輸送に必須のガソリンを人々が一度に補給しようとしたため、ガソリンスタンド前には数百メートルの行列ができ、補給までに数時間かかる状況であった。この背景には、連日ガソリンスタンド前の長蛇の列のニュースが報道されたために、人々が不安に駆られた影響が非常に大きいと考えられる。

また車の長い行列の交通整理や、交差点からガソリンスタンドの待ち行列への横入りを防ぐために、警官やガソリンスタンドのスタッフによる誘導が必要となるなど、行列が周囲の交通状況に及ぼした影響も大きかった。

以上の震災の事例からだけでも分かるように、待ち行列は人々に心理的及び物理的影響を与える非常に重要な現象である。待ち行列の研究は、アーランの電話交換の理論 [A.K. Erlang, *Nyt. Tidsskr. Mat. Ser. B* 20, 33 (1909)] に始まり、その後ケンドールの記号の導入 [D.G. Kendall, *Ann. Math. Statist.* 24, 338 (1953)] やリトルの公式 [J.C.D. Little, *Oper. Res.* 9, 383 (1961)] の発見と共に発展し、今日では待ち行列理論として確立され大いに応用されている。しかし、この待ち行列理論には、ガソリンなどの物資供給のダイナミクスや列に並ぶ人の心理状態、並んでいる人や車の大きさ、移動距離の効果といったものは含まれていない。そこで応募者は、物資供給待ち行列モデルを新たに構築し、行列に人が殺到してしまう仕組みの解析や、行列による経済的損失の算出を行った。

2. 研究の目的

東日本大震災後、パニックを起こした人々がガソリンスタンドに殺到し、被災地への物資輸送に必須のガソリンが不足するという問題が発生した。この現象は、ガソリンスタンドの長い待ち行列によって人々がガソリン不足を予想し不安に駆られたことが一つの原因と考えられる。また形成された長蛇の行列は周辺の交通状況にも影響を及ぼした。そこで本研究では、待ち行列理論に「物資供給のダイナミクス」や「不安になった人が列に並ぶ効果」を新たに導入して、「人が行列に殺到する仕組み」を解析し、「行列に殺到したために消費される余計な時間や物資の量」を明らかにする。この研究は、シミュレーションに加え、理論解析と実際の人による実験も行うため、幅広い分野に応用可能な実用性の高いモデルが構築され、工学的に社会に貢献できると考えられる。

3. 研究の方法

物資供給待ち行列のモデルを作成し、その振る舞いをシミュレーションや理論解析に

よって調べる。モデル化では、待ち行列モデルに「人が保有する物資」及び「人が列に並ぼうとする確率」を新たに導入する。人が列に並ぼうとする確率は、心理効果を取り入れるため、列の長さや人が保有する物資の関数とする。モデルの中のエージェントは、時間が経過するごとに物資を消費していき、その残量が少なくなってくると行列に並んで物資を補給する。

この物資供給待ち行列と通常の待ち行列のシミュレーションから得られた結果を比較し、似た振る舞いが観測できたパラメータ範囲内では、物資供給待ち行列の到着率がランダムになることを理論解析により示す。このように新しいモデルと既存のモデルを繋ぎ合わせる作業は、理論の発展のために非常に重要である。

また、物資供給待ち行列で、「列の初期人数」と「列の長さから受ける影響」の二つをパラメータとしてシミュレーションを行うことにより、行列への殺到が起こる確率を定量的に求めると同時に、全てのエージェントの保有物資の分布を調べ、行列に殺到したことによって物資の保有量がどれだけ不均一になってしまうかを示す。これらの結果については、初期人数がどのようなオーダーで影響を及ぼしているかについて、ゲーム理論を用いた理論解析も行う。このオーダーを調べることは非常に重要であり、例えば初期人数が指数関数的に行列への殺到が起こる確率に影響している場合、震災直後にいかに行列に人が集まるのを防ぐかが重要になる。

さらに、列に並んでいるエージェントの物資消費量を多くする効果を取り入れることにより、ガソリンスタンドの行列のダイナミクスも考える。このシミュレーションからは、列に並んでしまったがために物資を消費し尽くしてしまうケースがどのような場合に発生するのかが、パラメータ領域によって表わされる。また行列への殺到が起こらなければ失われなかった物資の総量についても求めることができる。

4. 研究成果

車や人が行列に殺到したことによって物資の保有量がどれだけ不均一になってしまうかということや、行列への殺到が起こってしまう条件、行列への殺到が起こらなければ失われなかった物資の総量を調べることができるモデルを構築した。このモデルは、物資に殺到する車や人によって道が混雑してしまう状況にも応用することができる。また、モデルを解析するための新たな近似計算方法の開発も行った。さらに実際の人による実験も行い、Android タブレットを用いた自動計測機も作成した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

[1] Takahiro Ezaki, Daichi Yanagisawa, and Katsuhiko Nishinari, "Pedestrian flow through multiple bottlenecks", Phys. Rev. E, 86(2), 026118, 2012/08/30.
DOI: 10.1103/PhysRevE.86.026118

[2] Akiyasu Tomoeda, Daichi Yanagisawa, Takashi Imamura, and Katsuhiko Nishinari, "Propagation speed of a starting wave in a queue of pedestrians", Phys. Rev. E, 86(3), 036113, 2012/09/19.
DOI: 10.1103/PhysRevE.86.036113

[3] Takahiro Ezaki, Ryosuke Nishi, Daichi Yanagisawa, and Katsuhiko Nishinari, "Collective motion of oscillatory walkers", Phys. Rev. E, 88(1), 012808, 2013/07/10.
DOI: 10.1103/PhysRevE.88.012808

[4] Takahiro Ezaki, Daichi Yanagisawa, and Katsuhiko Nishinari, "Analysis on a single segment of evacuation network", Journal of Cellular Automata, 8(5-6), pp. 347-359, 2013.

[5] Daichi Yanagisawa, Yushi Suma, Akiyasu Tomoeda, Ayako Miura, Kazumichi Ohtsuka, and Katsuhiko Nishinari, "Walking-distance introduced queueing model for pedestrian queueing system: Theoretical analysis and experimental verification", Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 37, pp. 238-259, 2013/12.
DOI: 10.1016/j.trc.2013.04.008

[6] Takahiro Ezaki, Daichi Yanagisawa, and Katsuhiko Nishinari, "Dynamics of assembly production flow", Physica A, 427, pp. 62-73, 2015/06.
DOI: 10.1016/j.physa.2015.02.005

[7] 柳澤大地, "群集の一方向流・双方向流・退出過程とセルオートマトンモデル", "Cellular Automaton Models for Unidirectional Flow, Bidirectional Flow and Egress Process in Pedestrian Dynamics", 混相流, 28(3), pp. 312-320, 2014/09/15.

〔学会発表〕(計16件)

[1] Daichi Yanagisawa, Akiyasu Tomoeda, and Katsuhiko Nishinari, "Influence of Rhythm and Velocity Variance on Pedestrian Flow", Sixth International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics (PED2012) in Zurich, Switzerland,

2012/06/08 (Oral, Reviewed).

[2] Takahiro Ezaki and Daichi Yanagisawa, Metastability in Pedestrian Evacuation, Cellular Automata for Research and Industry (ACRI2012) in Santorini, Greece, 2012/09/24 (Oral Reviewed).

[3] Daichi Yanagisawa, "Cellular Automata and Pedestrian Dynamics", MS29 Mathematical Models in Jamology, SIAM Annual Meeting (AN13) in San Diego, California, USA, 2013/07/09 (Oral).

[4] Daichi Yanagisawa, Takahiro Ezaki, Akiyasu Tomoeda, and Katsuhiko Nishinari, "Influence of Velocity Variance of a Single Particle on Cellular Automaton Models", Traffic and Granular Flow '13 in Julich, Germany, 2013/09/27 (Oral, Reviewed).

[5] Daichi Yanagisawa, "Evolution and maintenance of cooperative avoiding behavior in bidirectional flow", Spatial Human Cooperation in Max Planck Institute for Evolutionary Biology, Plön, Germany, 2014/05/28 (Oral).

[6] Daichi Yanagisawa, "Modeling and Experiments on Pedestrians Going through Bottlenecks", Flow and clogging in bottlenecks: simulations and experiments (CECAM Workshop) in Institute of Physics, University of Navarra, Zaragoza, Spain, 2014/09/18 (Poster).

[7] Daichi Yanagisawa, "Pedestrian Dynamics in Jamology", Social Modeling and Simulations + Econophysics Colloquium 2014 in Nichii Gakkan, Kobe, Japan, 2014/11/04, (Oral, Reviewed).

[8] 柳澤大地, 江崎貴裕, 友枝明保, 西成活裕, "速度のばらつきが一次元確率セルオートマトンモデルの流量に及ぼす影響について", 日本応用数理学会 2012 年度年会, 稚内全日空ホテル, 2012/08/30.
(ポスター発表, 査読なし)

[9] 柳澤大地, "セルオートマトンを応用した群集運動の研究", "Applications of Cellular Automata for Pedestrian Dynamics", 非線形数理モデルの諸相: 連続, 離散, 超離散, その先, 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所, 2014/08/08.
(口頭発表, 招待講演)

[10] 柳澤大地, "セルオートマトンを用いた群集運動と待ち行列のモデル", 統計数理研

研究所 数学協働プログラム 生命ダイナミクス
の数理とその応用：異分野とのさらなる融合，
東京大学 大学院数理科学研究科，
2014/12/02.
(口頭発表，招待講演)

[11] **柳澤大地**，"歩行距離・排除体積効果を
導入した待ち行列モデルとその応用"，第
251 回 待ち行列研究部会，東京工業大学
大岡山キャンパス，2014/12/20.
(口頭発表，招待セミナー)

[12] **柳澤大地**，"群集運動における衝撃波"，
平成 26 年度 衝撃波シンポジウム，群馬県
伊香保温泉 ホテル天坊，2015/03/10.
(ポスター発表，査読なし)

[13] 吉川賢太，**柳澤大地**，"対面方向から来
た人のよけ方の割合の変化"，日本応用数理
学会 2012 年度年会，稚内全日空ホテル，
2012/08/30.
(ポスター発表，査読なし)

[14] 町島二千翔，**柳澤大地**，江崎貴裕，西
成活裕，"ラングミュアーキネティクスを
応用したバブル崩壊の CA モデル"，日本応
用数理学会 2013 年 研究部会連合発表会，
東洋大学 白山キャンパス，2013/03/14.
(口頭発表，査読なし)

[15] 吉川賢太，**柳澤大地**，"歩行者の双方向
流での流量"，日本応用数理学会 2013 年度
年会，アクロス福岡，2013/09/10.
(ポスター発表，査読なし)

[16] 吉川賢太，**柳澤大地**，"学習する自己駆
動粒子の双方向流における流量"，"Flux of
learning self-driven particle in
bidirectional flow"，第 19 回 交通流のシ
ミュレーションシンポジウム，名古屋大学
名大グリーンサロンミーティングルーム，
2013/12/16.
(口頭発表，査読あり)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：

発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
<http://yana.xii.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者
柳澤 大地 (YANAGISAWA, Daichi)
東京大学・大学院工学系研究科・准教授
研究者番号：70611292

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者
()

研究者番号：