

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25287026

研究課題名(和文) 様々な渋滞現象の予兆検知のための数理物理学的手法の開発とその実践

研究課題名(英文) Development of mathematical methods of detecting a sign of various traffic jam and their execution in reality

研究代表者

西成 活裕 (Nishinari, Katsuhiro)

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：40272083

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、車、および人の流れ等に発生する渋滞の緩和方法について、理論とシミュレーション、および実測データを用いて考察した。高速道路における車の渋滞緩和のため、渋滞吸収走行を提案し、渋滞が緩和される条件を数学的に示した。そして理論をもとに実際の高速道路での実験を行い、その効果を確認することができた。そして人の流れの研究では、実際の駅の狭い通路での対向流を分析し、デッドロックが起こる条件を明らかにした。さらに現実への応用として空港における入国審査場における待ち時間短縮システムを構築し、社会実験によりその有用性が確かめられた。

研究成果の概要(英文)：In this research, we examined the method of alleviating traffic congestion that occurs in the cars and pedestrian flow using the theoretical analysis, computer simulations, and actual measurement data. In order to alleviate traffic congestion on a highway, we propose congestion absorption driving, and mathematically showed the condition that traffic congestion is alleviated. Based on the theory, we could conduct an experiment on the actual expressway and confirm the effect. And in pedestrian flow research, the counter flow in a narrow passage of the actual station is analyzed, and we have clarified the conditions under which the deadlock of counter flow occurs. Furthermore, as a practical application, we constructed a shortening waiting time system at the airport immigration site and confirmed its usefulness by social experiments.

研究分野：数理物理学

キーワード：渋滞学 数理モデル

1. 研究開始当初の背景

渋滞に関する理論的研究は、これまで国内外とも主としてオペレーションズリサーチの分野で待ち行列の理論を用いて行われてきた。また車の渋滞研究に関しては交通工学の分野で1950年以降に本格化し、現在では情報インフラを活用した新たな道路走行支援システムの構想まで進んできている。しかしコストのかかる渋滞対策が多く、早期実現と普及はまだ難しい。また基礎になる待ち行列理論についても、人間的要素などを考慮できていない問題等のため現実と合わない場合もあり、また交通工学での車の動きのシミュレーションの信頼性もまだ低い。また、人の混雑に関する理論的研究については国際的にみてもあまり系統的なものはこれまでに無いが、社会心理学で群集心理の分析を行ったものや、建築工学において建築物の避難安全検証のための半経験論的な研究が知られている。しかし群集の動きに関しての高精度な実データはまだ少ない。近年になって人流シミュレーションが行われるようになってきたが、商用のソフトウェアでも現実とはかなり異なる人の動きをするものが多く存在する。

一方で物理学や応用数学において、1990年代から複雑系研究が盛んになり、その研究対象は従来の自然科学の枠組みを超えて、社会科学などにも広がってきた。そして、この中でも渋滞現象の分析に数理物理学を応用してきたのが申請者の取り組んできた研究である。車や人などを意思やルールを持って動く自己駆動粒子として数理モデル化し、この新しい粒子の集団力学として渋滞を考察していくところが特徴である。そして渋滞の予兆を数理科学を用いて検知する研究は国内外でほとんど研究報告がない。

このような状況において、数理科学の分野では1990年代に超離散法という手法が開発され、これにより離散モデルと連続モデルの数学的な変換ができるようになってきた。この中で、申請者は流体力学で現れるバーガス方程式を超離散法で変換したところ、交通流モデルの基礎に現在使われているセルオートマトンモデルを導出することに成功した。これから連続と離散にとらわれない交通流の統一的な扱いが可能になり、自然渋滞は交通密度の増加に伴う動的相転移現象としてとらえることができることが分かってきた。しかも渋滞が発生する直前にメタ安定状態が出現することを理論と実験によって我々は見出すことができた。これを応用して相転移になる臨界密度を超えないように走行することで渋滞を抑制できることを警察庁に提案し、合同で中央道で時速60km以下まで下がった渋滞を時速80km以上まで回復させる社会実験に成功した。このように数理物理学の知識を用いることで、流れが渋滞へ変化する予兆を捉えることができる可能性に気が付き、これにより効率的に低コストで

渋滞を未然に防止できるのではないかとという着想に至った。

2. 研究の目的

本研究は、車・人そしてモノの流れについて、その渋滞予兆の検知に関する数理物理的手法を開発し、さらのその手法を用いて渋滞を未然に防ぐ技術の開発を目指すものである。渋滞の未然の検知と、検知後の流れの制御方法についての両方の理論を構築し、実験を通じてその検証を行う。

一般に流れは密度の増加により自由流から渋滞流に遷移していくが、この過程を様々な条件で詳細に研究し、特に関係する物理量のゆらぎや相関に注目してその特性を明らかにする。この際に数理モデルを用いて、理論解析とシミュレーションの両面からその性質を調べる。さらに車や人の行動に関する高精度のデータを実験や観測を通じて入手し、総合的に渋滞への相転移現象を明らかにする。次にその特徴的な渋滞予兆をいち早く捉えることで、渋滞に遷移する前に渋滞の予防対策を講じていく技術を提案する。特に、渋滞や混雑予測の情報提供を効果的に行う方法を数理物理学的な結果と連動させて開発する。さらに予兆の検知と同時に、車や人の流量を時間的・空間的に適切に分散させることで、交通容量を超えないようにモニタリングするシステムも考案する。こうして新しい渋滞予測技術システムを構築し、それを社会実験を通して検証していく。さらに、この技術の普及のために、関連団体と連携して社会に成果を広めていく活動も同時に進めていく。

3. 研究の方法

渋滞の予兆を検知する研究、および予兆検知後のアクションに関する研究の2段階を通じて研究目的を達成する。まず予兆検知のための指標として有効なのが、速度や密度などのゆらぎである。数理モデルと実験の両面から、渋滞への遷移の直前に起こる様々なゆらぎや自己相関の変動について研究する。これは車と人の共通性と個別性を考慮して、2つの流れを同時並行して研究していく。次に予兆を検知した後の車や人の運動の制御方法について検討する。特に渋滞の波が上流に増幅伝播していくのを抑制するために、適切な車間距離を空けたり、上流側の速度制限をする方法を検討する。さらに予兆の検知と同時に、車や人の流量を時間的・空間的に適切に分散させることで、交通容量を超えないようにモニタリングするシステムを考え、社会実験を通じて本研究の有効性を検証する。

4. 研究成果

本研究では、車、および人の流れ等に発生する渋滞の緩和方法について、理論とシミュレーション、および実測データを用いて考察した。

まず、高速道路における車の渋滞緩和のための渋滞吸収走行を提案し、数理モデルの解析により渋滞が緩和される条件を数学的に特定することに成功した。その結果、渋滞の十分手前での車間距離の確保が重要であることが分かった。そして渋滞吸収をする車が二次渋滞を作らず、かつ渋滞を消すことができるロバストなパラメータ範囲を発見した。これらの理論をもとに実際の高速道路での実験を行い、その効果を確認することができた。次に渋滞情報の提供と運転手の経路選択に関して数理モデルを構築し、旅行時間や速度・密度などどのような情報提供が最も交通流が高くなるかを調べ、将来の状態を予測した交通密度の提供が最も重要な要素になることを発見した。そして渋滞を回避するために複数の道路を交互に選択してしまうハンチング現象について、その発生条件も見出すことに成功した。この非効率な情報提供を避けることも今後の実践を考えていく上で重要である。

航空機ネットワークに関しても、空港間を移動する多数の航空機を数理モデル化し、航空機密度の変化とネットワーク全体の渋滞の関係について研究した。また、ある空港の混雑が激しくなった場合に、そこからの回復についてもモデル化とシミュレーションを行った。モノの流れに関しては、装置型産業における生産ラインでの材料の流れについてモデル化し、供給のゆらぎが生産量にどのように影響するかについて調べ、ラインの中を伝わる渋滞波の様子を明らかにすることができた。

次に人の流れに関連して、高密度の粒子系のボトルネック流れについて数理モデルを構築し、流量についての厳密解を得ることに成功した。そして間欠的に流量が変化する現象についてもその頻度分布の統計性を理論解析することができた。

また、実際の駅などでの混雑流れの分析を行い、狭い通路での対向流においてデッドロックが起こる現象を見出し、対向流で混雑が発生する臨界の交通量についてのデータを得ることができた。またその流れをモデル化し、これらの観測された特性を再現することにも成功した。さらに人の流れをリアルタイムにモニタリングする研究を行い、混雑を未然に予測する方法について考察した。さらに現実への応用として入国審査場における待ち時間短縮システムの構築を行った。成田空港との共同研究を通じて、航空機の到着情報や乗客数に応じてリアルタイムに審査ブース数を連動させるプログラムが完成した。これにより、到着客が実際に審査場に来る前に混雑対応が可能になり、待ち時間が悪化することを未然に防止できるようになる。さらにこのシステムを実際の現場で社会実験し、その有用性が確かめられた。

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23件)

C. Feliciani, K. Nishinari,
“Empirical analysis of the lane formation process in bidirectional pedestrian flow”, Phys. Rev. E 94, 032304 (2016)
DOI:10.1103/PhysRevE.94.032304

Y. Taniguchi, R. Nishi, T. Ezaki, K. Nishinari,
“Jam-absorption driving with a car-following model”, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications (2015), pp. 304-315
DOI:10.1016/j.physa.2015.03.036

T. Imai, K. Nishinari,
“Optimal information provision for maximizing flow in a forked lattice”, Phys. Rev. E, 91, 062818 (2015)
DOI: 10.1103/PhysRevE.91.062818

M. Chraïbi, T. Ezaki, A. Tordeux, K. Nishinari, A. Schadschneider, A. Seyfried,
“Jamming transitions in force-based models for pedestrian dynamics”, Phys. Rev. E 92, 042809 (2015)
DOI: 10.1103/PhysRevE.92.042809

H. Ito, K. Nishinari,
“Totally asymmetric simple exclusion process with a time-dependent boundary: Interaction between vehicles and pedestrians at intersections”, Phys. Rev. E, Vol. 89 (2014) 042813
DOI : 10.1103/PhysRevE.89.042813

T. Masuda, K. Nishinari, A. Schadschneider,
“Critical Bottleneck Size for Jamless Particle Flows in Two Dimensions”, Phys. Rev. Lett. vol.112, P138701 (2014)
DOI:10.1103/PhysRevLett.112.138701

D. Yanagisawa, Y. Suma, A. Tomoeda, A. Miura, K. Ohtsuka, K. Nishinari,
“Walking-distance introduced queueing model for pedestrian queueing system”, Transportation Research Part C, vol. 37 (2013) pp. 238-259
DOI: 10.1016/j.trc.2013.04.008

[学会発表](計3件)

K.Nishinari, The 2013 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Gold Coast, Australia, 23-26 June 2013.

K.Nishinari, SIAM 2013 Annual Meeting, July 8 - 12, 2013 Town and Country Resort

& Conventional Center, San Diego,
California, USA

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：渋滞予測装置、ドライブレコーダ装置
及び渋滞予測装置の渋滞予測方法
発明者：西成活裕、山本達夫
権利者：矢崎エナジーシステム株式会社、国
立大学法人東京大学
種類：特許権
番号：特願 2016-206587 号
出願年月日：2016/10/21
国内外の別：国内

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://park.itc.u-tokyo.ac.jp/tknishi/nishinari.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西成 活裕 (Katsuhiko Nishinari)
東京大学・先端科学技術研究センター・教
授
研究者番号：40272083

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

岡田雅之 (Masayuki Okada)
Prof. S. Bandini
Prof. A. Schadschneider