

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14232

研究課題名(和文) 渋滞伝播予測付き渋滞吸収運転の数理モデル：予測所要時間を考慮した渋滞除去の評価

研究課題名(英文) Mathematical model for jam-absorption driving with prediction of traffic jam propagation: evaluation of removal of traffic jam considering required prediction time

研究代表者

西 遼佑 (NISHI, Ryosuke)

鳥取大学・工学研究科・講師

研究者番号：10727093

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：高速道路上における自動車交通渋滞を除去するために、二段階渋滞吸収運転に渋滞伝播予測を付加した。また、渋滞が発生する前の下流が減速した時点で開始する早期渋滞吸収運転や、渋滞吸収運転のじょう乱を取り除く補助渋滞吸収運転を提案した。さらに、不均質な自動車交通流に対する渋滞伝播予測付き渋滞吸収運転を構築した。さらに、交通流の安定性の指標の一つであるstring stabilityを用いて、渋滞吸収運転による二次渋滞の発生を抑制する条件を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

渋滞伝播予測付き二段階渋滞吸収運転や、早期渋滞吸収運転は、早期渋滞除去に貢献すると期待される。補助渋滞吸収運転や、不均質な自動車交通流における渋滞伝播予測付き渋滞吸収運転は、より頑健な渋滞除去に貢献すると期待される。渋滞吸収運転による二次渋滞を抑制する条件は、渋滞吸収運転の設計指標として期待される。以上より、本研究成果は、1台(補助渋滞吸収運転を実施する場合は2台)の車の動きで渋滞を除去する渋滞吸収運転のさらなる発展に貢献する。

研究成果の概要(英文)：To remove vehicular traffic jam on highways, we added the prediction of propagation of traffic jam into a two-stage type of jam-absorption driving. We also proposed an early starting type of jam-absorption driving, which starts when the downstream flow slows down before the occurrence of traffic jam, and an assistant type of jam-absorption driving to remove perturbation caused by the jam-absorption driving. Moreover, we constructed a jam-absorption driving for inhomogeneous traffic flow. Furthermore, we constructed conditions to restrict the occurrence of secondary jams caused by the jam absorption driving by using the string stability, which is an indicator of the stability of traffic flow.

研究分野：交通流

キーワード：交通渋滞 渋滞吸収運転 渋滞伝播予測

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

自動車交通渋滞(以下、特に断らない限り、渋滞と略記する)は、多大な経済損失を出す社会問題である[1]。渋滞の解明と緩和は現代社会で強く求められており、数理モデル化を駆使した渋滞の研究が発展してきた[2,3]。高速道路上における渋滞を緩和する方法の一つとして、1台の車(以降、吸収車と呼ぶ)が、追従走行から離脱して低速で走行することで、下流から上流に向かって伝播してくる渋滞(wide moving jam)を減衰させ、ついには完全に渋滞を除去し、その後、追従運動に復帰するという運転方法(渋滞吸収運転)がある。渋滞吸収運転の研究例としては、簡易なモデルを用いた理論的枠組みの構築[4]、不安定性を持つ追従モデルを用いた渋滞吸収運転の数値シミュレーション[5]、二段階で実施する渋滞吸収運転の数値シミュレーション[6]などが研究されてきた。1台の車の動きで渋滞を除去するためには、渋滞先頭の上流への伝播を精度よく予測する必要がある。しかしながら、渋滞吸収運転には渋滞伝播予測が導入されていなかった。また、渋滞伝播予測には所要時間がかかるので、渋滞伝播予測を取り入れた場合に実時間で渋滞除去可能かどうかは明らかではなかった。

関連研究として、車車間通信を活用して下流の交通状況に応じて走行速度を変更することで渋滞を緩和する方法[7]、道路区間ごとに動的に可変速度制限を実施することで渋滞を除去する著名な方法である SPECIALIST へのフローティングカーデータや定点録画データを用いた渋滞伝播予測の付加[8]などがある。これらの関連研究に対して、本研究は、渋滞を除去するために直接に操作する対象を1台の車に絞ることを基調とする点で異なる(なお、4.研究成果(2)の補助渋滞吸収運転では2台の車を操作する)。また、本研究の開始とほぼ同時期の2017年に発表された関連研究として、道路上に設置された感知器が取得した交通データを活用することで、ボトルネック付近に発生した渋滞の領域を予測しつつ、1台の車によって渋滞を除去する方法が数値シミュレーションによって検証された[9]。この関連研究に対して、本研究では、下記の3.研究の方法や4.研究成果に示すように別の観点から研究を遂行した。

### 2. 研究の目的

本研究では、渋滞伝播予測付き渋滞吸収運転を数理モデル化し、渋滞吸収運転が実時間で渋滞を除去できることを明らかにすることを目指した。また、渋滞伝播を予測した結果を、渋滞吸収運転の各種パラメータ(吸収車の割り当て、渋滞吸収運転時の速度、その速度の維持時間など)の決定に反映することを目指した。

### 3. 研究の方法

対象の系を数理モデル化し、数値シミュレーションによって渋滞吸収運転が交通流に及ぼす影響を分析した。また、4.研究成果(4)の研究では、交通流の安定性指標の一つである string stability を用いた。系としては、合流や分岐がなく非周期で単車線の高速道路上において隊列走行する車の集団を用意した。また、渋滞吸収運転以外の通常の各車の追従運動については、微視的な追従モデルの一つである Intelligent Driver Model[10,11]を用いた。

特に断りが無い限り、交通流の初期状態としては、一様な速度で隊列走行している状態に設定した。除去すべき標的の渋滞としては、渋滞の先頭も最後尾も上流に伝播する渋滞(wide moving jam)を対象にした。この渋滞は、先頭車のじょう乱によって発生させた。

本研究で用いた渋滞伝播予測方法としては、自車位置と自車速度を計測できる車のある割合で用意した。それらの車の自車位置・自車速度の時系列データを集計することで、渋滞先頭の現在位置や伝播速度を推定し、ある未来の時刻に渋滞先頭が到達する位置を予測した。

渋滞伝播予測付き渋滞吸収運転を構築するにあたり、渋滞吸収運転のゴールをある未来時刻における渋滞先頭の予測位置周辺に設定し、そのゴールに到達するように吸収車を動かした。吸収車は、渋滞に巻き込まれずにゴールに到達することで渋滞を除去した。なお、吸収車の上流に二次渋滞が発生する可能性について注意が必要である。

### 4. 研究成果

(1) 渋滞の上流が均質的な交通状況を想定し、Heらの二段階渋滞吸収運転[6]に渋滞伝播予測を組み込み、渋滞が完全に形成される前に渋滞吸収運転を開始しても渋滞を除去できるかどうかを数値シミュレーションによって評価した。ここで、Heらの二段階渋滞吸収運転[6]とは、まだ渋滞先頭の伝播速度を取得する前に、プリセットした渋滞先頭の伝播速度に従って一段階目の渋滞吸収運転を開始し、その後、渋滞先頭の伝播速度を取得してから渋滞吸収運転の走行速度を変更して二段階目の渋滞吸収運転に移行するという渋滞吸収運転である。この二段階渋滞吸収運転には渋滞伝播予測が組み込まれていないという問題点があったため、実際に渋滞伝播予測を組み込んだ。数値シミュレーションの結果、渋滞伝播予測付き二段階渋滞吸収運転において渋滞を除去することが可能なパラメータ領域が存在することを見出した。ただし、渋滞伝播速度のプリセット値が、渋滞吸収運転の結果に大きな影響を及ぼすという傾向を見出した。上記の研究成果は、早期渋滞除去を目指すうえでの基礎的知見として貢献すると期待される。

(2) 渋滞発生後に開始する通常の渋滞吸収運転に比べてさらに早期に開始する渋滞吸収運転の一つとして、下流が減速した時点で開始する渋滞吸収運転(以降、これを早期渋滞吸収運転と呼ぶ)を提案した。さらに、ある吸収車が渋滞吸収運転で引き起こしたじょう乱を緩和するために、

その車の上流に位置する別の車による補助的な渋滞吸収運転(以降,これを補助渋滞吸収運転と呼ぶ)を提案した.そして,通常の渋滞吸収運転かつ補助渋滞吸収運転なし,早期渋滞吸収運転かつ補助渋滞吸収運転なし,通常の渋滞吸収運転かつ補助渋滞吸収運転あり,早期渋滞吸収運転かつ補助渋滞吸収運転あり,の4通りを用意して,数値シミュレーションによって比較した.その結果,早期渋滞吸収運転かつ補助渋滞吸収運転ありが最も高い性能を示すことを見出した.なお,上記の研究成果は2018年度に得た成果であるが,他の研究グループが補助渋滞吸収運転の基礎的な結果を2020年に出版された学術雑誌において先に公表した[12].そのため,今後は補助渋滞吸収運転の詳細に関して学術論文にまとめる予定である.上記の早期渋滞吸収運転は早期渋滞除去に,補助渋滞吸収運転はより頑健な渋滞除去に貢献すると期待される.

(3) 乗用車とトラックの2種類の車が混在した不均質な交通状況において,渋滞伝播予測付き渋滞吸収運転を構築した.追従性能パラメーターや車の長さは,乗用車とトラックでそれぞれ異なる値に設定した.また,全体に対してトラックが存在する割合を振るよう設定した.車の隊列において,乗用車とトラックをランダムな順序で配置した.渋滞吸収運転実行時の走行速度は,ゴール点の逐次更新に従って更新した.数値シミュレーションにおいて,あるトラックが存在する割合に対して複数回の数値シミュレーションを実行して平均結果を取得した.数値シミュレーションの結果,渋滞吸収運転によって旅行時間が改善される傾向,および,トラックが存在する割合が小さい場合において燃料消費量が改善される傾向を見出した.上記の研究成果は,より頑健な渋滞除去に貢献すると期待される.

(4) 渋滞吸収運転に関連する研究として,非周期の半無限系において渋滞吸収運転が引き起こす二次渋滞を抑制する条件を構築した.ここで,半無限系とは,先頭車がいる,その上流に無限大の台数の後続車が存在する系を指す.吸収車が渋滞吸収運転のアクションによって上流に引き起こしたじょう乱は,交通流が不安定な状況下では成長してしまい,やがて二次渋滞になってしまう.非周期系における二次渋滞の発生の有無については,従来の研究では数値シミュレーションによる検証のみが報告されており[5,6],二次渋滞を抑制する条件までは提唱されていなかった.そこで,交通流の安定性の指標である string stability を援用することで,非周期の半無限系における二次渋滞を抑制する条件を提案することができた.この条件は,渋滞吸収運転の設計指標として期待される.上記の研究成果については,学術論文として出版した[13].

#### <引用文献>

- [1] Schrank, D., Eisele, B., Lomax, T., Bak, J., Urban mobility scorecard, Texas A&M Transportation Institute and INRIX (2015).
- [2] Helbing, D., Traffic and related self-driven many-particle systems, *Reviews of Modern Physics*, 73(4) (2001), 1067-1141.
- [3] Schadschneider, A., Chowdhury, D., Nishinari, K., Stochastic transport in complex systems: from molecules to vehicles, Elsevier (2010).
- [4] Nishi, R., Tomoeda, A., Shimura, K., Nishinari, K., Theory of jam-absorption driving, *Transportation Research Part B*, 50 (2013), 116-129.
- [5] Taniguchi, Y., Nishi, R., Ezaki, T., Nishinari, K., Jam-absorption driving with a car-following model, *Physica A*, 433 (2015), 304-315.
- [6] He, Z., Zheng, L., Song, L., Zhu, N., A jam-absorption driving strategy for mitigating traffic oscillations, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 18(4) (2017), 802-813.
- [7] Morino, H., Inafune, T., Watanabe, T., Assisting solution of traffic congestion at sags using inter-vehicle communication with heterogeneous wireless systems, In 2015 IEEE Vehicular Networking Conference, (2015), 183-189.
- [8] Hegyi A., Netten B. D., Wang M., Schakel W., Schreiter T., Yuan Y., van Arem B., Alkim T., A cooperative system based variable speed limit control algorithm against jam waves - an extension of the SPECIALIST algorithm, In 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, (2013), 973-978.
- [9] Ghiasi, A., Ma, J., Zhou, F., Li, X., Speed harmonization algorithm using connected autonomous vehicles, In 96th Annual Meeting of the Transportation Research Board, (2017), 17-02565.
- [10] Treiber, M., Hennecke, A., Helbing, D., Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations, *Physical Review E*, 62(2) (2000), 1805-1824.
- [11] Treiber, M., Kesting, A., *Traffic flow dynamics: data, models and simulation*, Springer, Berlin, Heidelberg (2013).
- [12] Zheng, Y., Zhang, G., Li, Y., Li, Z., Optimal jam-absorption driving strategy for mitigating rear-end collision risks with oscillations on freeway straight segments, *Accident Analysis & Prevention*, 135 (2020), 105367.
- [13] Nishi, R., Theoretical conditions for restricting secondary jams in jam-absorption driving scenarios, *Physica A*, 542 (2020), 123393.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Nishi Ryosuke	4. 巻 542
2. 論文標題 Theoretical conditions for restricting secondary jams in jam-absorption driving scenarios	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 123393 ~ 123393
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.physa.2019.123393	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 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡部高史, 西遼佑
2. 発表標題 渋滞伝播予測付き二段階渋滞吸収運転
3. 学会等名 日本機械学会 中国四国学生会 第48回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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