

# 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

谷口 洋平<sup>1</sup>, 西 遼佑<sup>2,3</sup>, 江崎 貴裕<sup>4,5</sup>, 西成 活裕<sup>6</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院, 工学系研究科, 先端学際工学専攻. <sup>2</sup> 国立情報学研究所. <sup>3</sup> JST, ERATO, 河原林巨大グラフプロジェクト. <sup>4</sup> 東京大学大学院, 工学系研究科, 航空宇宙工学専攻. <sup>5</sup> 日本学術振興会. <sup>6</sup> 東京大学, 先端科学技術研究センター.

e-mail: taniguchi@jamology.rcast.u-tokyo.ac.jp

## 1 序論

交通渋滞は現在も大きな社会問題として存在している. 2005年での報告 [1] によると, 渋滞による経済損失は日本全体で年間 11 兆円になるといふ. 交通渋滞はこれまで工学及び物理学の分野から解決策が盛んに研究されてきたが, 近年車の運転挙動に着目した Adaptive Cruise Control (ACC) による渋滞緩和が研究されている [2, 3]. ACC は前方車の速度と車間距離をレーダーで読み取り, その値から自車の加速度を自動的に調整して前方車に追従するというシステムである. ACC は追従性能を向上させて流れを安定化させる. しかし, ACC による渋滞改善のためには一定以上の割合にまで ACC を普及させる必要があるが, コストがかかるためまだそれほど普及していない. 別の運転手法として, 1 台の車の挙動によって渋滞を抑制する手法である渋滞吸収運転 (Jam-Absorption Driving, 以下 JAD と略記) が提案されている [4]. JAD は「slow-in」と「fast-out」の 2 つの要素から構成されている. slow-in は, 交通流の下流から発生した渋滞に対し, JAD を行う車 (吸収車) が渋滞に巻き込まれないように予め減速し, 渋滞を取り除く運転方法である. fast-out は, 吸収車が渋滞から抜け出した後は車間距離を詰めて走行するという運転方法である. この時注意する点として, JAD によって前方の渋滞は除去できるが, 吸収車の減速走行自体が擾乱となり新たに二次渋滞に発展する可能性があることである. 先行研究 [4] では二次渋滞を伴わない JAD が可能であるための後続車の車間距離に閾値が存在すると述べている.

先行研究では, 車の追従挙動は扱われていなかった. 本研究では, 追従挙動を取り入れたモデル (追従モデル) を用いて, 吸収車が二次渋滞を抑制しつつ, 渋滞を吸収するための条件を数値シミュレーションによって明らかにする.

## 2 交通流モデルと JAD の挙動

本研究では, 追従モデルの中でもシンプルなモデルの一つである Helly モデル [5] を一部簡略化したものを用いる. モデルは以下の式で記述される.

$$\dot{v}_i(t) = k_1 [x_{i-1}(t) - x_i(t) - D_i(t)] + k_2 [v_{i-1}(t) - v_i(t)], \quad (1)$$

$$D_i(v_i) = d + T_{\text{des}} v_i. \quad (2)$$

ここで  $x_i(t)$  と  $v_i(t)$ , 及び  $\dot{v}_i(t)$  はそれぞれ  $i$  番目の車の時刻  $t$  における位置, 速度及び加速度を表している. また  $i-1$  番目の車は  $i$  番目の車の 1 つ前方にいる車である.  $k_1, k_2, d, T_{\text{des}}$  はパラメータである. モデルでは一様流状態が達成される. 一様流状態では, 各車は速度  $\bar{v}$ , 車頭距離 (車の前方先端同士の距離)  $D(v_{\text{MAX}}) = d + T_{\text{des}} \bar{v}$  の状態が維持される. またモデルでは, 各車の速度  $v$  は  $0 \leq v \leq v_{\text{MAX}}$  の範囲でしか変化しないものとする. なお  $v_{\text{MAX}}$  は最大速度である.

モデルに従う車 999 台と, モデルとは独立に動く 1 台の吸収車を混合させて渋滞吸収シミュレーションを行う. 初期条件として, 全ての車は速度  $v_{\text{MAX}}$ , 車間距離  $D(v_{\text{MAX}}) h_{\text{buf}}$  を取る. ここで  $h_{\text{buf}}$  は定数で  $h_{\text{buf}} > 1$  である. モデルでは本来は  $D(v_{\text{MAX}})$  を目指して運転を行うが, 速度制限  $v \leq v_{\text{MAX}}$  があるために, 各車はシミュレーション開始初期は車間を詰めることをせず  $D(v_{\text{MAX}}) h_{\text{buf}}$  を維持する. また渋滞を再現するために, 先頭にいる車は途中で意図的に減速運転をする.

初期条件は 1000 台の車が一列になって走行するものとし, 吸収車は前から  $m$  台目 (ただし  $m \geq 100$ ) とする. JAD の挙動は以下のように記述される. 吸収車は渋滞に巻き込まれないために予め速度を  $v_{\text{MAX}}$  から  $v_a$  に加速度  $-\alpha_a$  で落とし,  $T_a$  の間速度  $v_a$  を保つ (slow-in). その後速度を  $v_a$  から  $v_{\text{MAX}}$  に加速度  $\alpha_a$  で戻し

(fast-out),  $v_{MAX}$  を維持する．slow-in によって吸収車は前方からの渋滞に巻き込まれることなくかつ, fast-out によって不必要に車間を開けずに済むように走行することが可能である． $T_a$  は  $v_a$  に依存した値になるが, 吸収車の前方車の位置の時系列データを予め数値シミュレーションによって測定しておくことで計算可能である．

### 3 シミュレーション結果

JAD によって渋滞が解消される条件を図 1 に示す．図は横軸を  $v_a$ , 縦軸  $T_a$  とした時の 2 次元平面図である．図中の細い曲線は JAD を行うときの  $v_a$  と  $T_a$  が満たすべき関係を表し,  $m = 100$  から 1000 まで, 50 刻みで引かれている．吸収車はこの曲線上で JAD を行う．図の点線は JAD による二次渋滞発生の有無の境界線を表す．二次渋滞の有無は最後尾車両が JAD により生み出される擾乱を受けて停止をどうかで判定される．図でこの境界線の左側は二次渋滞が発生する領域, 右側が発生しない領域である．従って右側の領域に存在する細い曲線上で JAD を行う場合には二次渋滞が発生しないことを表している．また太線は, 渋滞が発生したあとに JAD が行われなければならないという時間的な制約を表す．曲線の右側の領域では渋滞が発生するより前から JAD を行っていることに対応する．これより図の点線と太線に挟まれた領域で JAD を行うことで, 渋滞を検知した後も渋滞を解消できることがわかる．

### 4 結論

本研究では追従モデルに従う車にそれとは独立に動く吸収車を混合させて数値シミュレーションを行い, JAD が成功するパラメータ領域を明らかにした．

### 参考文献

- [1] 国土交通省道路局. <https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-perform/h19/02.pdf>.
- [2] A Kesting, M Treiber, M Schönhof, and D Helbing. *Transport. Res. C* **16**, 668–683 (2008).
- [3] J. Ploeg, B. T. M. Scheepers, E. van Nunen, N. van de Wouw, and H. Nijmeijer, “Design and experimental evaluation of cooperative adaptive cruise

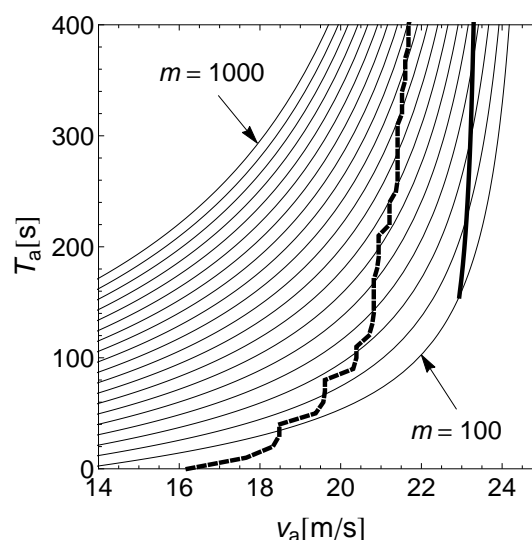


図 1. 渋滞が解消される JAD の条件を表した  $v_a$ - $T_a$  図． $k_1 = 0.2$  [ $s^{-2}$ ],  $k_2 = 0.6$  [ $s^{-1}$ ],  $T_{des} = 1.0$  [s],  $d = 7.5$  [m],  $v_{MAX} = 25$  [m/s],  $\alpha_a = 0.4$  [ $m/s^2$ ],  $h_{buf} = 1.09$  .

control”, in *Proc. IEEE ITSC*, Washington, DC, USA, Oct. 2011, pp. 260–265.

- [4] R Nishi, A Tomoeda, K Shimura, and K Nishinari. *Transport. Res. B* **50**, 116–129 (2013).
- [5] W. Helly, “Simulation of bottlenecks in single lane traffic flow”, in *Symp. Theory Traffic Flow*, Research Laboratories, General Motors, New York, USA, 1959, pp. 207–238.