

反応時間を考慮した交通流セルオートマトンモデルの検討

Study of Traffic Flow Cellular Automaton Model Considering Reaction Time

○小平紘史¹, 星野貴弘²*Hiroshi Odaira¹, Takahiro Hoshino²

Abstract: Adaptive Cruise Control(ACC) is one of the methods to improve and prevent congestion. In a previous study, we proposed a traffic flow model considered vehicles equipped with ACC (ACC vehicles). In this research, we propose a model that is added the difference of reaction speed between human driver and ACC vehicles. In order to prove the validity of the proposed model, we compare with other traffic flow models. As a result, critical density and maximum flow rate are different. The main reason is that the proposed model does not consider the speed information of the vehicle ahead when accelerating and decelerating. Therefore, it is necessary to make further improvements to increase the utility value of the proposed model.

1. はじめに

自動車専用道路における渋滞はドライバーが気付かないような傾斜やトンネルの入口などのいわゆるボトルネック部で発生しやすい。実用段階にある Adaptive Cruise Control(以降, ACC)は, 前述のような渋滞の改善の方法の一つとして期待されている。

先行研究¹⁾では, ACC を搭載した車両 (以降, ACC 車両) とそのような機能を搭載していない車両 (以降, 一般車両) が混在した交通流モデルを提案している。先行研究の交通流モデルは, 一般車両と ACC 車両の運転行動の違いを Nagel-Schreckenberg(以降 NaSch)モデル²⁾のランダムブレーキの有無により表現した。しかし, 一般車両と ACC 車両の運転行動の違いはそれだけでなく, 人間ドライバーの知覚に基づく運転とセンサ情報に基づく運転では反応時間が違うことは明らかである³⁾。先行研究で提案された交通流モデルは, 両車両の認知から加減速までの反応時間は暗黙的に等しいものとして扱われている。

本稿では, 反応時間の違いを考慮した提案モデルの検討をしていく上で, 妥当性を確かめるために異なる交通流モデルとの比較を行う。具体的には, ACC 車両を考慮した連続時間交通流モデルである IDM+(Intelligent Driver Model+)⁴⁾との比較検討を行う。IDM+は, 前方車両との車間距離や速度差を基に速度調整を行う交通流モデルである IDM に, ACC 車両を追加したモデルである。

2. 交通流モデル

<2.1>提案モデル NaSch モデル及び提案モデルでは, ある時点 t , 車両番号 n の車両の位置を $x_n(t)$, その速度を $v_n(t)$, 前方車両との車頭距離を $d_n(t)$, 最大速度を V_{max} とした。NaSch モデルは 4 つのステップにより位置更新を行う。Step1 は加速のステップで $v_n(t-1) < V_{max}$ の時 $v_n(t) \rightarrow v_n(t-1) + 1$ とする。Step2 は前方車両との衝突を避けるための減速のステップで $v_n(t) \rightarrow$

$d_n(t-1) - 1$ とする。Step3 はランダムな減速を表すステップで確率 p で $v_n(t) \xrightarrow{p} v_n(t-1) - 1$ とする。Step4 は Step1~3 で決定した速度で車両位置の更新を行う。

先行研究では, 一般車両は NaSch モデルにおける, Step1~4 を適用して車両位置を更新し, ACC 車両は Step1, 2, 4 で位置更新を行っている。また, 以下の提案モデルでは Step1 で決定した速度を $v_n(t_1)$, 同様に Step2 を $v_n(t_2)$, Step3 を $v_n(t_3)$ とし, $t - \tau < t_1 < t_2 < t_3 < t$ を満たしているものとする。ACC 車両と一般車両の反応速度の違いを表現するため, ACC 車両の速度更新周期を $\tau_1 \Delta t$ とし, 一般車両は $\tau_2 \Delta t$ とする。そのため ACC 車両は $\tau_1 \Delta t$ 後, 一般車両は $\tau_2 \Delta t$ 後に向けての速度更新を行う。この時, NaSch モデルにおける $1 \Delta t$ での速度の変化量を維持するために, 提案モデルでは, 新たなパラメータ τ_1, τ_2 を用い先行研究のモデルを次のように変更する。

(一般車両) If $t \% \tau_2 = 0$

then 一般車両の速度を Step1~3 に基づき更新

Step1 加速 $v_n(t_1) \rightarrow \begin{cases} v_n(t - \tau_2) + \tau_2; v_n(t - \tau_2) < V_{max} \\ v_n(t - \tau_2); \text{Otherwise} \end{cases}$

Step2 減速 $v_n(t_2) \rightarrow \begin{cases} \frac{d_n(t-1)-1}{\tau_2}; \tau_2 v_n(t_1) \geq d_n(t) \\ v_n(t_1); \text{Otherwise} \end{cases}$

Step3 ランダム化 $v_n(t_3) \xrightarrow{p} v_n(t_2) - \tau_2; v_n(t_2) > 0$
 $v_n(t_3) \rightarrow v_n(t_2); \text{Otherwise}$

車両位置を $1 \Delta t$ 毎に以下に従い更新。**Step4 車両移動** $x_n(t) \rightarrow x_n(t-1) + v_n(t_3)$ (ACC 車両) If $t \% \tau_1 = 0$

then 一般車両の Step1, 2 に基づき更新

Step1 加速 $v_n(t_1) \rightarrow \begin{cases} v_n(t - \tau_1) + \tau_1; v_n(t - \tau_1) < V_{max} \\ v_n(t - \tau_1); \text{Otherwise} \end{cases}$

Step2 減速 $v_n(t_2) \rightarrow \begin{cases} \frac{d_n(t-1)-1}{\tau_1}; \tau_1 v_n(t_1) \geq d_n(t) \\ v_n(t_1); \text{Otherwise} \end{cases}$

1: 日本理工・院 (前期)・電気 2: 日本理工・教員・電気

車両位置を $1\Delta t$ 毎に以下に従い更新。

Step4 車両移動 $x_n(t) \rightarrow x_n(t-1) + v_n(t_2)$
 $<2 \cdot 2>$ IDM+ 比較対象の IDM+について説明する。一般車両は下記2式によって加速度を決定する。

$$\frac{dv}{dt} = a \cdot \min \left[1 - \left(\frac{v}{v_0} \right)^4, 1 - \left(\frac{s^*(v, \Delta v)}{s} \right)^2 \right] \quad (1)$$

$$s^*(v, \Delta v) = s_0 + \max(vT + v\Delta v / (2\sqrt{ab}), 0) \quad (2)$$

このとき、ある車両の速度を v 、希望走行速度を v_0 、前方車両との速度差を Δv 、前方車両との車頭間隔を s 、最小車間距離を s_0 、希望車間時間を T 、最高加速度を a 、最大の減速度を b とした。(1)式の前項を自由流項、後項を相互作用項と呼称する。自由流項は前方車両が近くになく、影響がない状況での速度調整を表している。相互作用項は前方車両との距離が近く、速度差などを考慮した速度調整を表している。

ACC 車両は以下の式により加速度を決定する。

$$a_d = \min[k_{cc}(v_{cc} - v_x), k_2 e_v + k_1 e_x] \quad (3)$$

このとき、ある車両の速度を v_x 、希望車間距離を v_{cc} 、前方車両との速度差を e_v 、前方車両との車間距離を e_x である。 k_{cc} は一定ゲイン、 k_1 、 k_2 は非線形ゲインである。本研究では $k_{cc} = 1/v_0$ 、 $k_1 = 0.3$ 、 $k_2 = 1.0$ とした。

3. シミュレーション結果

一般車両のみの場合の提案モデルと IDM+の流率を Fig.1 に示す。横軸がそれぞれ密度、縦軸が流率を表している。臨界密度を比較すると、提案モデルでは0.14 付近、IDM+においても最大 180 台に対し 19 台で臨界に達しており、近い割合であることがわかる。臨界の流率を比較すると、IDM+の方が大きい値をとっていることがわかる。また、IDM+では臨界に達した後に Fig.1 内に破線の丸で示した部分でグラフの傾きが大きく変化している。提案モデルに比べ IDM+の方が臨界の流率が高くなっている。理由として、IDM+は加減速の際に前方車両との車間距離だけでなく速度差も考慮して速度調節を行っているためと考えられる。加えて連続時間交通流モデルであることから、より精細な速度調整を行える。臨界までの傾きも IDM+の方が大きくなっている。これは提案モデルの加速

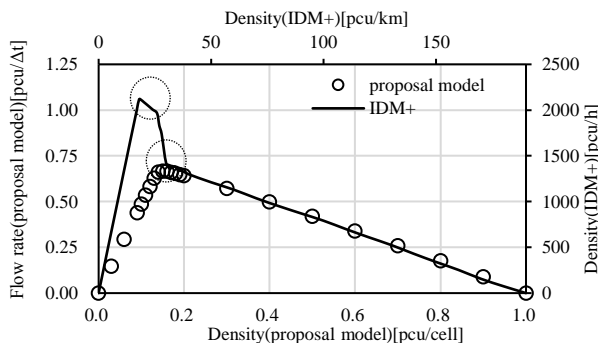


Fig.1 Comparison of flow rate

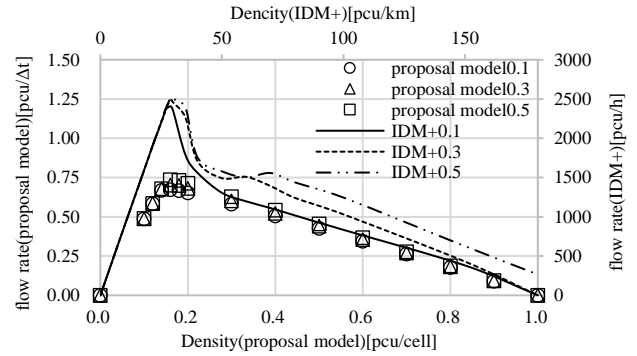


Fig.2 Comparison of flow rate

度が $1[\text{cell}/\Delta t]$ に対し、IDM+は最大 $2[\text{m}/\text{s}^2]$ までとることが出来るためと考えられる。IDM+において、最大値以降に傾きが変化している理由は、車両密度の増加に伴い、加速度の決定を行う際に(1)式における相互作用項が適用される割合が増加するからである。

ACC 車両を混在させた場合の比較を Fig.2 に示す。ACC 車両の割合を 0.1, 0.3, 0.5 と変化させた。横軸がそれぞれの密度、縦軸が流率を表す。IDM+において、ACC 車両の割合を増加させた際の流率の増加量が大きくなっている。これは ACC 車両が加速度の決定を行う際に、前方車両の速度を考慮しているためより効率的に速度決定が出来ているからである。

4. まとめと今後の課題

本研究では、先行研究で提案したモデルと他の交通流モデルとの比較を行った。一般車両のみの場合の比較では、臨界密度及び最大流率において異なる結果を示した。また、ACC 車両を混在させた場合は混在率が高くなると流率の差が大きくなった。主な理由として、提案モデルの加減速では前方車両の速度を考慮していないことなどが考えられる。上記より提案モデルには加減速を中心に改善する必要があると考えられる。今後の課題として提案モデルのステップの変更及び追加を行い、提案モデルを用いて ACC の効果的な利用方法を検討していく。

参考文献

- (1) 星野, 吉田, 浜松: 「車間制御機能を考慮した交通流のモデル化と解析」, 電気学会論文誌, Vol.135, No. 7, pp.765-774(2015)
- (2) A.Schadschneider: "Traffic flow : a statistical physics point of view", Physica A, No. 313, pp. 153-187 (2002)
- (3) 大山正: 「反応時間研究の歴史と現状」, 人間工学, Vol. 21, No. 2, pp. 57-64(1985)
- (4) W. J. Schakel, B. van Arem and B. D. Netten, "Effects of Cooperative Adaptive Cruise Control on traffic flow stability," 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Funchal, 2010, pp. 759-764, doi: 10.1109/ITSC.2010.5625133.