

# あおり運転を考慮したマイクロ交通流モデルのシミュレーション

末吉 郁<sup>1</sup>, MD. Anowar Hossain<sup>1</sup>, 谷本 潤<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 九州大学大学院 総合理工学府 環境エネルギー工学専攻

<sup>2</sup> 九州大学大学院 総合理工学研究院 環境理工学部門

## 概要

あおり運転を考慮したエージェントベースのセルオートマトン交通流モデルを, Revised S-NFS モデルを基に構築した. あおり運転を“走行速度の遅い前方車両に対し, 強制的に車線変更を行わせる行為”と定義し, この定義に従い車間距離と前方車両との速度差によって与えられる情報からあおり運転の有無を決定するアルゴリズムを導入した. このアルゴリズムを従来の車線変更アルゴリズム, 両方を組み合わせた場合を検討した結果, いかなる場合であってもあおり運転を考慮したケースでは時間平均速度及び流量が低下することが分かった.

## Microscopic Traffic Flow Simulation Considering Threaten Driving Behavior

Fumi Sueyoshi<sup>1</sup>, MD. Anowar Hossain<sup>1</sup>, Jun Tanimoto<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Interdisciplinary Graduate School of Engineering Sciences, Kyushu University

<sup>2</sup> Faculty of Engineering Sciences, Kyushu University

## Abstract

We establish a new microscopic traffic flow model considering threaten driving behavior based on Revised S-NFS model, one of the Cellular Automata models. We define “threaten driving” as forcing a preceding vehicle, which hampers the focal vehicle to accelerate, to change to a neighboring lane. This action, to the focal vehicle, is triggered by the preceding distance and the relative velocity to the preceding vehicle. This model is simulated to compare with two cases; the conventional lane changing strategy that is spired so-called ‘incentive criterion’ and the case simultaneously considering ‘threaten driving behavior’ and ‘incentive criterion’. As the result, the cases considering threaten driving show lower time-averaged velocity and flux than the conventional case. Therefore, we conclude such a driving behavior can be said as anti-social on the meaning that the entire social efficiency is pulled down.

## 1. 緒言

近年,いわゆる「あおり運転」に対する世間の関心が高まっている. 2020年に改正道交法が施行され,あおり運転に対しては「妨害運転罪」が適用されるようになった. しかしながら,あおり運転の危険性や厳罰化が周知された現状にあっても,検挙者は後を絶たない. 一方で,あおり運転車両が存在しているような系において,あおり運転を行う車両自体が系全体に与える影響については明らかにされていない.

そこで,本研究では,各車両エージェントにあおり運転や車線変更を行う・行わないといった属性を与えた Cellular automata (CA) モデルを構築し,工

学的観点からみたあおり運転の特質について検討を行う.

## 2. シミュレーションモデル

本研究では, Kokubo ら[1]によって考案された Revised S-NFS モデルに,あおり運転を模擬したエージェントの行動原理を導入した.

### 2.1 Revised S-NFS モデル

Revised S-NFS モデルは Sasaki, Nishinari ら[2]によって提示された S-NFS モデルに,ランダムブレーキの車間距離依存性を考慮することで, NaSch (Nagel-Schreckenberg; [3]) 系モデルでは再現できない, Kerner の 3 相理論で云う

Synchronized 流[4]を高精度に再現する CA モデルである。

Revised S-NFS モデルは以下に記される 4 つのルールに従って 1 time step ごとに目標速度を決定し、その目標速度を最大限維持するように各車両が移動を行う。

**Rule 1. “Acceleration”**

$$v_i^{(1)} = \min [V_i^{max}, v_i^{(0)} + 1] \quad (1)$$

(Rule 1 is applied only if  $g_i \geq G \vee v_i^{(0)} \leq v_{i-1}^{(0)}$ )

**Rule 2. “Slow-to-start”**

$$v_i^{(2)} = \min [v_i^{(1)}, x_{i-S_i}^{t-1} - x_i^{t-1} - S_i] \quad (2)$$

(Rule 2 is applied only if  $\text{random}[0, 1] \leq q$ .)

**Rule 3. “Quick start”**

$$v_i^{(3)} = \min [v_i^{(2)}, x_{i-S_i}^t - x_i^t - S_i] \quad (3)$$

(In Rule 2 and 3, If  $\text{random}[0, 1] \leq r$ ,  $S_i = S$ ; otherwise,  $S_i = 1$ .)

**Rule 4. “Random brake”**

$$v_i^{(4)} = \max [1, v_i^{(3)} - 1] \quad (4)$$

(if  $\text{random}[0, 1] \leq 1 - p_i$ , Rule 4 is applied)

なお、通常の NaSch 系モデルでは、等しなみに

**Rule 5 “Avoid Collision”**が仮定されているが、本モデルによるシミュレーション上では、同意の制約を異なる方法で実装している。また、式中の固有パラメータについては 2.4 節にて後述する。

## 2.2 車線変更アルゴリズム

今回提案するモデルでは、2.1 節の速度決定ルールに加え、Kukida らが考案した車間によって車線変更を試みるサブモデル[5]を導入した。車線変更を試みることが許可されている車両は、以下に示すような 2 条件を満たした場合にのみ車線変更を行う。

i) インセンティブ条件

$$\begin{aligned} gap_p^f \leq v_i^p - v_{i-1}^p \wedge gap_n^f > v_i^p - v_{i-1}^n \\ \wedge gap_n^f > 0 \end{aligned} \quad (5)$$

ii) 安全条件

$$gap_n^b \geq v_{i+1}^n - v_i^p \quad (6)$$

ただし、 $v_i^p$ は現在走行している車線  $p$  における自車両の速度、 $v_{i-1}^p$ は車線  $p$  における前方車の速度、 $v_{i-1}^n$ は隣接車線  $n$  (車線変更) における前方車両の速度、 $v_{i+1}^n$ は車線  $n$  における後方車の速度、 $gap_p^f$ は車線  $p$  における前方車両との車間距離、 $gap_n^f$ は車線  $n$  における前方車両車間距離、 $gap_n^b$ は車線  $n$

における後方車との車間距離を示す。端的に述べると、車線変更を行うことで速度を維持できそうか、かつ車線変更後に後続車両に追突されないかという 2 つの条件で車線変更実施の有無を決定している。

## 2.3 あおり運転の導入

本研究においては、“走行速度の遅い前方車両に対し、強制的に車線変更を行わせる”ような行動を「あおり運転」と定義する。具体的には、 $i$  番目の車両が以下の条件を満たした場合、車線変更パートにおいて前方車両 ( $i-1$ ) の排除 ( $i-1$  車両は隣車線に移る)を試みる。

i) あおり運転条件

$$gap_i^p \leq v_i^{(0)} - v_{i-1}^{(0)} \wedge v_i^{(0)} - v_{i-1}^{(0)} > 0 \quad (7)$$

ただし、排除しようとした車両 ( $i-1$ ) がすでに先述のインセンティブ条件によって車線を移動していた場合は、あおり運転に該当しない。

## 2.4 車線変更プロセス

2.2 及び 2.3 節で述べた車線変更を促すルールに則り、以下の順序で車線変更が行われる。

- (i) インセンティブ条件による車線変更車両の選出
- (ii) あおられた車両の選出
- (iii) 選出された車両のうち、式(6)の安全条件を満たした車両のみが車線に移る。中央車線から車線変更を行う際、左右両方の車線ともに移動可能な場合には、より車間距離の大きな車線へ車線変更する。

## 2.5 シミュレーション環境

本研究のシミュレーションにおけるパラメータは、次の表 1 に記載の通りである。

## 3. シミュレーション結果

今回課したエージェントの設定については下記の Case 1~3 の通りである。今後の説明についてもこの分類に従う。また、全ての統計量は流れ場が十分に発達するまで 1800ts 待機し、その後 300ts (実時間で 5 分間に相当) の間で記録された積算量もしくは平均値を用いる。

i) Case 1

全車両はインセンティブ条件をトリガーとする車線変更を行う／行わないで 2 グループに分類、あおり運転は行わない。

表 1 シミュレーションで用いたパラメーター一覧

パラメータ	文字	物理量(単位)
1セルあたりの長さ	-	7.5[m]
車線長	$L$	3000[cell]
車線数	-	3[本]
車両数	$N$	75~3000[台]
加速判定距離	$G$	15[cell]
Rule 2,3 見通し台数	$S$	2[台]
Rule 2 発生確率	$q$	0.99
Rule 2,3 S変化確率	$r$	0.98
ランダムブレーキ発生確率 $p_i$	$p_1$	0.999
	$p_2$	0.99
	$p_3$	0.98
	$p_4$	0.01

## ii) Case 2

全車両はあおり運転を行う/行わないで2グループに分類,インセンティブ条件による車線変更は行わない。

## iii) Case 3

全車両はインセンティブ条件をトリガーとする車線変更を行う/行わないで2グループに分類,車線変更が可能なグループに属する車両は,まずインセンティブ条件による車線変更を試み,この試みに失敗した場合にあおり運転を行う。

以後,車線変更もしくはあおり運転が許可されている車両を Defector, されていない車両を Cooperator と呼称する。

### 3.1 基本図

まず初めに,シミュレーションによって得られた基本図を図 1(a),(b)に示す。

これから分かるように,今回の3ケースではいずれの設定においても,Case 1 が最も良い流量を示した。

### 3.2 時間平均速度及び車線変更回数の比較

次に,これらのケースのうち,Defector の存在割合が10%の場合について,時間平均速度及び車線変更回数を比較したものを図 2 (a),(b),(c)に示す。なお,車線変更回数については,計測された車線変更回数を車両数と計測時間の積で除した値を用いている。

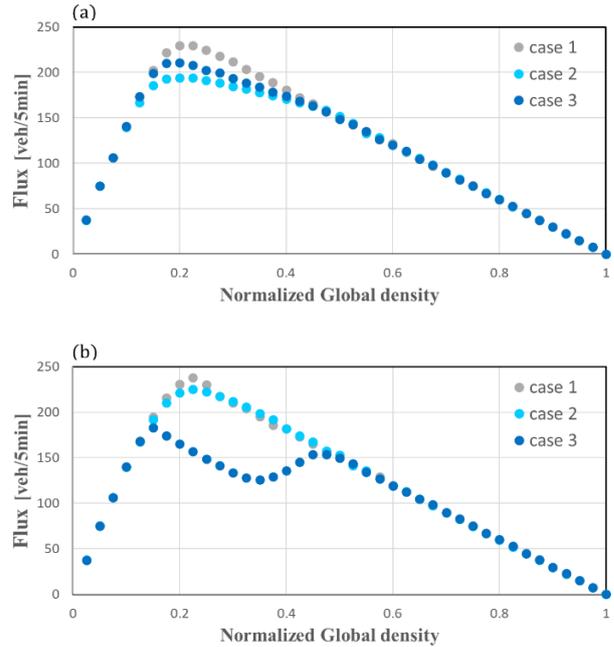


図 1(a) Defector 存在割合 80%

(b) Defector 存在割合 10%

## 4. 考察

今回のシミュレーションでは,Case 1が最も高い流量を示した。Case 1がCase 2に比して流量大となったのは,生じた車線変更回数により説明される。あおり運転により他律的に起きる点でCase 2はCase 1とは車線変更のメカニズムは異なるが,Case 2は相対的に高頻度で車線変更が生じている。このことが流れ場に乱れを印加し,Case 2では流量が悪化した。これに対して,Case 3は他ケースに比して殆どと云ってよいほど車線変更が生じていないのに,中密度域で著しく流量が悪化する(図1(b)のCase 3プロットは凹状に低下傾向を示している)。これは図2(c)のDefectorとCooperatorの速度差により説明される。既述したように,結果の統計量は密度に応じた初期ランダム配置状態から1800ts後の300tsの時間平均である。図には示していないが,Case 3では初期配置からfull-fledgedな流れ場となる1800ts後に至る過渡状態の間に,あおりにより他者を排除し,かつ自らの力で車線変更するDefectorが3つの車線のうち中央車線以外に偏在し,彼ら以外のマジョリティ(人口比90%)のCooperatorのうちそのほとんどが中央車線に犇めき合う状態が現出する。Defectorは余った2車線をたった10%の車両とわずかなCooperatorで占有するから,この状況が一度現出すると以降は車線変更

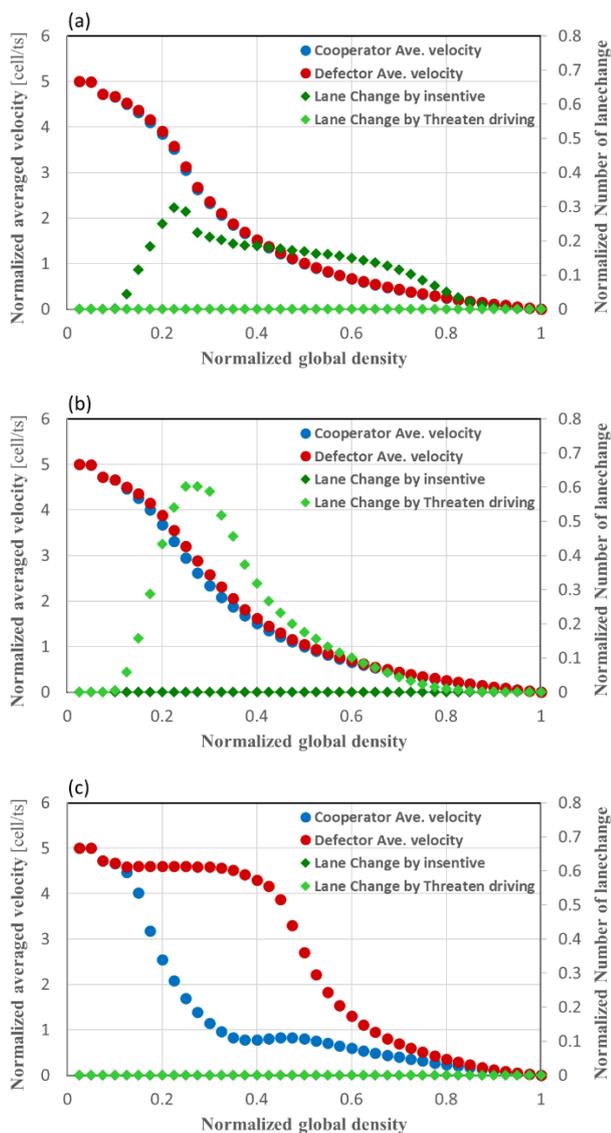


図2 時間平均速度及び車線変更回数  
(a)Case 1, (b)Case 2, (c)Case 3

が生じなくなる(中央車線以外にいるCooperatorは十分な速度で走行しているのでDefectorに排除されることもなく、Defectorに追い抜かれることもない)。この疑似定常状態だけを見れば、車線変更が起きていないのに系全体の効率が低い、と物理的には珍妙な状況が出現しているわけだが、これを車線変更の低頻度さだけをもって社会的に望ましいとすることは出来ないだろう。Defectorだけが一方的にCooperatorを貪る「格差社会」となっているのに加え、社会全体の効率性は低下しているのが明らかであるからだ。

## 5. 結言

本研究では、「あおり運転」が系全体にもたらす影響を工学的観点から評価することを目的に Revised S-NSF モデルを基盤にした新たな CA モ

デルを構築した。あおり運転により他車を車線変更せしめる状況を模した系では、従来のインセンティブをトリガーに自律的に車線変更する系よりも効率は低下する。特に、あおり運転をし、かつ自発的車線変更を行う定義の Defector が系内に少数だけ存在し、その他のマジョリティは斜線へ項をしない Cooperator である系では、Defector の平均速度が Cooperator のそれより著しく大きく、同時に社会全体の効率が押し下げられた状況が現出することになる。これは、所謂、社会的ジレンマである。社会ジレンマは、数理的には「自らの利得最大化をはかると社会全体の利得最大化を達成することが出来なくなる」と定義される。向後は、この多人数ゲームの数理解造、ジレンマ存否と交通密度との関係を明らかにすることが課題である。

## 6. 謝辞

本研究の一部は科研費(19KK0262, 20H02314, 20K21062)による。また、本研究は九州大学情報基盤研究開発センター研究用計算機システムを利用した。記して謝意を表する。

## 参考文献

- [1] Kokubo, S., Tanimoto, J., & Hagishima, A. (2011). A new Cellular Automata Model including a decelerating damping effect to reproduce Kerner's three-phase theory. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 390(4).
- [2] Sakai, S., Nishinari, K., & Iida, S. (2006). A new stochastic cellular automaton model on traffic flow and its jamming phase transition. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 39(50).
- [3] Nagel, K., & Schreckenberg, M. (1992). A cellular automaton model for freeway traffic. *Journal de Physique I*, 2(12). <https://doi.org/10.1051/jp1:1992277>
- [4] Kerner, B. S. (2004). The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory (Understanding Complex Systems). In *Journal of Physical Oceanography* (Vol. 26).
- [5] Kukida, S., Tanimoto, J., & Hagishima, A. (2011). Analysis of the influence of lane changing on traffic-flow dynamics based on the cellular automaton model. *International Journal of Modern Physics C*, 22(3). <https://doi.org/10.1142/S012918311101621X>