

CAを用いた三車線高速道路のシミュレーションと実測データの比較

竹内裕¹ 飯田晋司¹ 西成活裕²

¹ 龍谷大学 理工学研究科

² 東京大学 工学系研究科

概要

本稿では、セルオートマトンを用いて三車線高速道路のシミュレーションを行った。実測データの分析によって、中央の車線のドライバーの心理的な取り扱いがモデル化の重要な点であることが分かった。また、モデルによるシミュレーションによって、遅い車が自由走行での逆転現象の重要な要素であることも明らかになった。

CA Simulation of 3-lane Highway Traffic and Comparison with Empirical Data

Yutaka Takeuchi¹ Shinji Iida,¹ Katsuhiko Nishinari,²

¹ Department of Applied and Informatics, Ryukoku University

² Department of Aeronautics and Astronautics, Tokyo University

Abstract

Three-lane highway traffic is simulated by using a newly developed CA model. From the observed data, we have found that it is crucial for modeling to take into account the lane-changing behavior of the drivers in the middle lane in detail. We have also found that slow vehicles, like trucks, play an important role to trigger off the lane changing in the free flow phase. This model can reasonably reproduce the empirically observed lane-inversion phenomena.

1. はじめに

高速道路に関して、これまで数理モデルを使った研究が行われ、多くの性質が明らかになってきている。特に実測データで特徴的に見られる、車の割合が走行車線より追越車線の方が多くなる逆転現象の再現を行う研究は数多く行われてきている。[1] 一方、最近の高速道路は三車線が増えており、この場合も逆転現象が現れていることがわかっている。しかし三車線モデルの研究は少ないため、新たなモデルの構築が必要になっている。

本稿ではセルオートマトン(CA) [2] を用いて高速道路における三車線のシミュレーションを行い、実測データと比較を行うことで逆転現象を再現するために必要な要素を調べる。高速道路の交通ルールは日本の交通ルールを適用し、実測データは関越道のデータを使用する。

2. モデル

2.1 モデル

セルオートマトンのモデルは最高速度 $V_{max} \geq 1$ に拡張した Fukui-Ishibashi(FI)モデル[3]、慣性の効果を取り入れた Slow-Start(SIS)[4]モデル、見通しを拡張し、 $S=2$ の Quick-Start(QS)[5]モデルをすべて含めたモデルになっている。[6] 各車線の最高速度は車線の区別をするため走行車線1(左の車線)では $V_{max}=4$ 、走行車線2(中央の車線)では $V_{max}=5$ 、追越車線(右の車線)では $V_{max}=6$ に設定している。

2.2 車線変更ルール

車線が二車線以上になると速く進めるほうへ車線変更をすることが当然であり、高速道路のモデルを考えるには必要不可欠な要素である。車線変更ルールを決めるにあたって、実測データの分析をおこない、各車線の役割・走る車のドライバーの心理的な部分について考慮に入れて、合理的と思われる車線変更のルールを決定する。

走行車線 1 (左の車線)

この車線は貨物車のような加速の遅い車が走り、高速道路と一般道路との合流を行う車線であるので、一般車は速く走れる走行車線 2 へ車線変更をしようと思われる。また、一般道路へ合流を考えている車はできるだけこの車線を走りたいと考えられる。

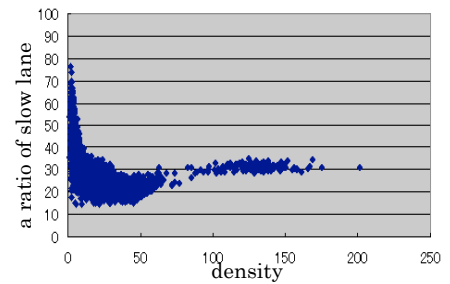


図 1. 現実データの走行車線 1 の割合

追越車線 (右の車線)

この車線は走行車線 2 で走る車が希望速度で走れないときに走る車線であり流量は他の車線より高い。しかし、この車線を走る車が一般道路に合流をするには走行車線 1 まで車線変更をする必要があるため、遠くの合流の場所まで行く車、車線変更が容易にできる車が走ると考えられる。

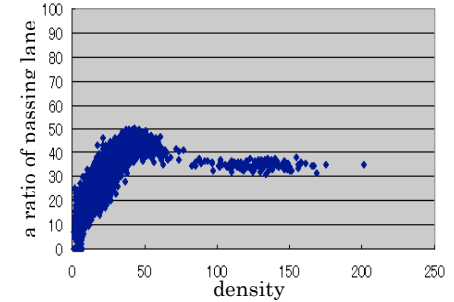


図 2. 現実データの追越車線の割合

走行車線 2 (中央の車線)

走行車線 1 と追越車線の両方に車線変更が可能な車線であるが、走る車線の選択が自由なだけに迷いが生じ車線変更をしない。また、両端の車線への車線変更は上述したことを考慮すると走行車線 2 からの車線変更は少なくこの車線を走り続けようとするのが考えられる。

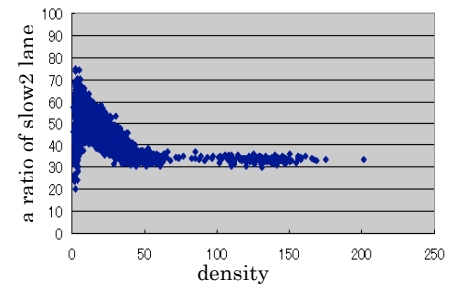


図 3. 現実データの走行車線 2 の割合

各車線を走る車は上述したモデルに従って希望速度 V (次に進むセル) を決定し、以下の条件を満たした場合に車線変更を行う。

走行車線 1、から走行車線 2 への車線変更の条件

- 車線変更を動機付ける条件
希望速度 V の前方セル内に前の車がある
- 車線変更を可能とする条件
 $V > v_2 - h_1$ かつ $V < h_2 + v_3$

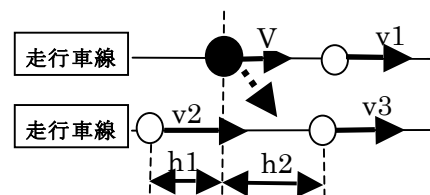


図 4. 走行車線 1 から走行車線 2 への車線変更

走行車線 2 から走行車線 1、追越車線への車線変更の条件

- 車線変更を動機付ける条件
希望速度 V の前方セルの中に、2 台以上の車がある
または、 $V > v_1$ となる車がある
- 車線変更を可能とする条件
 $V > v_2 - h_1$ かつ $V < h_2 + v_3$
ただし、走行車線 1 を優先とし、走行車線 1 への車線変更が不可能のときに追越車線へ車線変更を行う

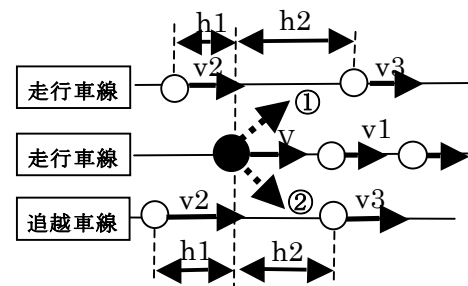


図 5. 走行車線 2 からの車線変更

追越車線から走行車線 2 への車線変更の条件

- 車線変更を動機付ける条件

希望速度 V の前方セル内に前の車がある または
走行車線 2 の今の位置から前後 6 セルに車がない

- 車線変更を可能とする条件

$$V > v_2 - h_1 \quad \text{かつ} \quad V < h_2 + v_3$$

走行車線 1 に車線変更の可能性がある車がない

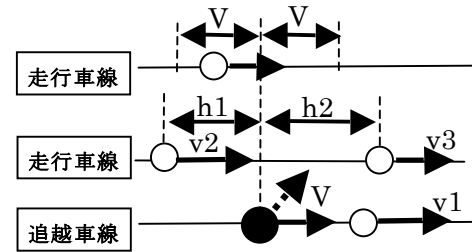


図 6. 走行車線 2 から追越車線への車線変更

車線に関わらず車線変更をする条件

現在走行中の車線の前方 15 セル内に車があり、車線変更可能な車線の前方 15 セル内に車がない場合、その車線へ車線変更を行う。

3. シミュレーション

シミュレーションは周期境界条件でおこなった。道路は 400 セル (約 2.8 km) を用意し $t=0\sim 1500$ の間を動かし、 $t=1300\sim 1500$ の間を計測した。また、貨物車、速度が少し遅い一般車両を考え低速度の車を全体の台数の 10% を入れている。また、走行車線 2 から追越車線への車線変更は走行車線 2 を走り続けたい車が多いことを考え 1/2 の確率で車線変更を行うようにしている。

4. 結果

割合について、自由走行のときに走行車線 1 では下に凸の逆転現象、追越車線では上に凸の逆転現象が現れ、走行車線 2 の走る車の割合が常に 33% 以上という結果が出た。そして、すべての車線が渋滞走行の時に 33% に近づいている。基本図を見てみると速度差があるため、自由走行での追越車線の流量が高く、走行車線 1 が低い。また、実測データと比べると各車線の基本図の傾きと同じであり、最も高い流量のときの値が一致をしている。(図 7)

また、縦に車線変更の回数、横に密度にした図をとってみた。(図 8) 遅い車を取りいれると、自由走行での車線変更の回数が多くなり流量が上がるとともに回数も上がっていく。逆に遅い車を取り入れていなければ自由走行での車線変更は行われず、渋滞が起り始めてからはじめて車線変更を行う。現実では、自由走行での車線変更が考えられるため、遅い車による影響を考えなければならない。

5. 考察

高速道路では希望速度を満たす車線へ車線変更をしたくなるドライバーの心理がはたらくようである。このことを考慮すると走行車線 2 での割合も下に凸の逆転現象が現れるはずである。しかし、実測データでは走行車線 2 の逆転現象は見られず、そのまま走行車線 2 を走り続けようとする傾向が強いと考えられる。これが、三車線の特徴である。

この特徴を踏まえた今回のモデルは走行車線 2 の車の割合が常に 33% 以上を満たしており、自由走行での逆転現象の再現ができた。また、実測データの各車線の割合、基本図を比べてみると非常に近い結果を出すことができ、この三車線のモデルは現実に近い再現していると思われる。

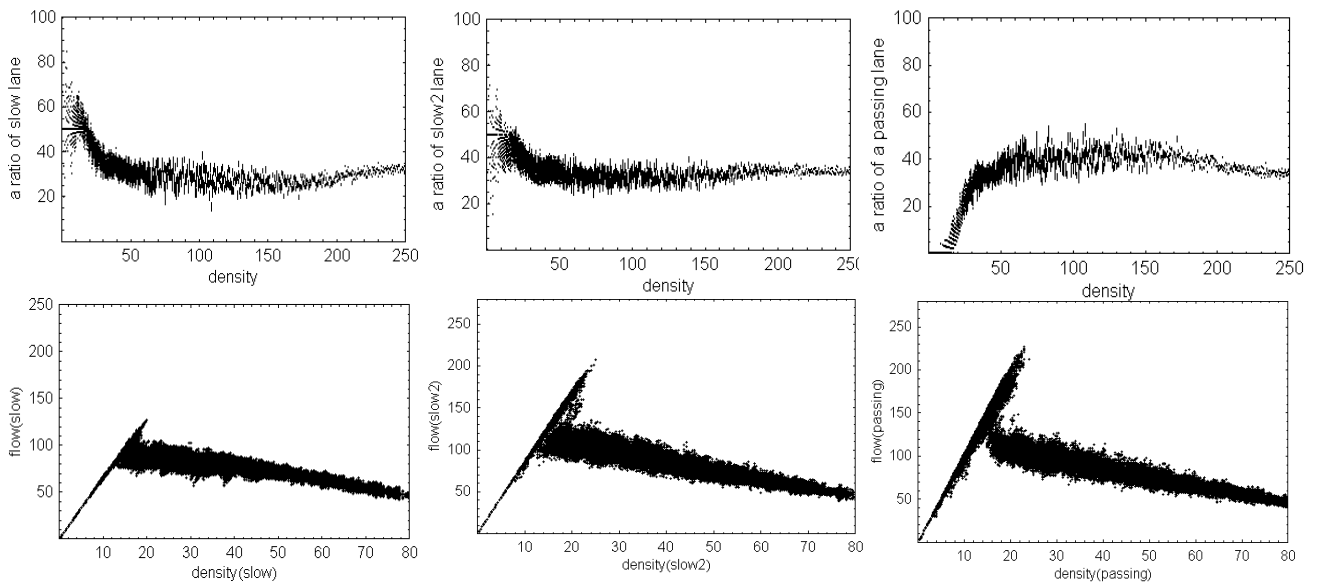


図7. 各車線の車の割合（上）と基本図（下）（左から走行車線1、走行車線2、追越車線）
1セルを7m、 $t=1$ を1.3秒として現実のデータに沿う図にしてある。

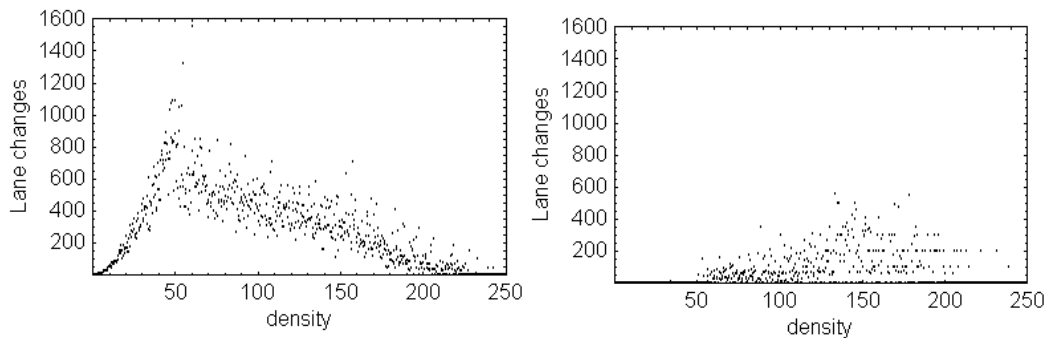


図8. 車線変更の回数（遅い車あり（右）なし（左））

る。

また、貨物車のような遅い車の影響により車線変更をする車が増え、逆転現象が形成されたことは現実により近い再現ができたと考えている。逆転現象の原因は、高速道路の交通ルールである走行車線をできるだけ走らなければならない意識がドライバーにないこと、また早く進める車線を走るために遅い車を追い越す車線変更の両方ではないかと考えた。

6. 今後

現実のデータでは走行車線1での基本図がボルトネック現象のようにになっているが今回の研究では現れなかった。渋滞走行で走行車線1の流量が高くなる要素を今後考えていきたい。

7. 参考文献

- [1]W Knospe, L Santen, A Schadschneider and M Schreckenberg, J. Phys. A: Math. Gen., vol35 pp.3369-3388, 2002
- [2]S. Wolfram, “*Theory and Applications of Cellular Automata*”, World Scientific, Singapore, 1986.
- [3]M. Fukui and Y. Ishibashi, J. Phys. Soc. Japan, Vol. 65, No. 6, pp. 1868–1870, 1996.
- [4]M. Takayasu and H. Takayasu, Fractals, Vol. 1, No. 4, pp. 860–866, 1993.
- [5]K. Nishinari and D. Takahashi, J. Phys. A:Math. Gen. 33, 7709-7720, 2000.
- [6]K. Nishinari, M. Fukui and A.Schadschneider, J. Phys. A: Math. Gen. 37, 3101-3110, 2004