

応用力学研究所研究集会報告 No.18ME-S5
「非線形波動現象における基礎理論, 数値計算および実験のクロスオーバー」
(研究代表者 西成 活裕)

Reports of RIAM Symposium No.18ME-S5
Crossover among theoretical, numerical and experimental studies on nonlinear waves
Proceedings of a symposium held at Chikushi Campus, Kyushu University,
Kasuga, Fukuoka, Japan, November 6 - 8, 2006

Article No. 42

踏切での一時停止は必要か？

友枝明保 (TOMOEDA Akiyasu), 西成活裕 (NISHINARI
Katsuhiko), 原田義昭 (HARADA Yoshiaki)

(Received February 28, 2007)



Research Institute for Applied Mechanics
Kyushu University
May, 2007

踏切での一時停止は必要か？

東京大学大学院工学系研究科 友枝 明保 (TOMOEDA Akiyasu)
西成 活裕 (NISHINARI Katsuhiko)
衆議院議員 自民党 原田 義昭 (HARADA Yoshiaki)

概要

本研究では、従来の Stochastic Optimal Velocity モデルを改良したモデルを用いて踏切での一時停止の有無による流量について考察した。遮断機が開いている状態の踏切での一時停止は日本特有の法律であり、この一時停止により様々な問題が生じていると考えられる。中でも、踏切での一時停止により流量が制限され、踏切がボトルネックとなる深刻な渋滞が引き起こされている。そこでまず、意図的に止まる状態と意図せず止まる状態を区別することで、従来の SOV モデルを改良したモデルを構成した。さらに、このモデルを用いて踏切での一時停止の有無による流量の比較をした結果、一時停止がない場合は一時停止がある場合に比べて最大二倍多い流量になることがわかり、これは実際の実験データにも対応していることがわかった。

1 Introduction

そもそも遮断機があいているのに一時停止は必要なのか？踏切での一時停止という法律は日本特有のものである。この踏切での一時停止により、遮断機内での閉じ込め・エンストといった様々な問題が生じている。特に深刻なものは都心部における渋滞現象である。踏切での一時停止により、車のスムーズな流れが滞り、そこがボトルネックとなり渋滞の原因となってしまっている。そこで今まで提案されたモデルの中で、車の流れをシミュレーションするセルオートマトンモデルとして Stochastic Optimal Velocity (SOV) モデルがある。この SOV モデルは次のような二つの方程式で表現される [1]。

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t + 1 & (\Delta x_i^t > 0 \text{ and Probability } v_i^{t+1}) \\ x_i^t & (\text{otherwise}) \end{cases} \quad (1)$$

$$v_i^{t+1} = (1 - a)v_i^t + aV(\Delta x_i^t) \quad (2)$$

ここで、 x_i^t, v_i^t はそれぞれ時刻 t での i 番目の車の場所と速度を示しており、 a はドライバーの反応度パラメータと言われるもので、 a の値が大きいほど反応がいいドライバーであることになる。さらに、 $\Delta x_i^t = x_{i+1}^t - x_i^t - 1$ であり各車同士の車間距離を示している。また、 $V(\Delta x)$ は最適速度関数と呼ばれるものであり、以下のような関数で表現される。

$$V(x) = \frac{\tanh(x - c) + \tanh c}{a + \tanh c} \quad (3)$$

従来の SOV モデルで重要なことは、車間距離 $\Delta x = 0$ のときには車は動かず $x_i^{t+1} = x_i^t$ となり止まっているが、速度を $v_i^{t+1} = 0$ とするのではなく、intention として速度を持っているということである。また SOV では $a \rightarrow 0$ で ASEP, $a \rightarrow 1$ で ZRP と呼ばれるそれぞれ可解な確率モデルを含んでいる。

そこで、本研究ではまず、意図的に止まる ($v_i^{t+1} = 0$ とする) 場合と意図せずに止まる ($v_i^{t+1} \neq 0$ とする) 場合の違いを導入して、従来の SOV モデルを改良したモデルを紹介する。さらに、このモデルを用いて踏切でのシミュレーションを行うことで、踏切での一時停止がある場合と無い場合の流量の比較を行う。

2 A modified SOV model and its application

ここでは、従来の SOV モデルに意図的に止まる場合と意図せずに止まる場合を導入した modified SOV モデルを紹介する。さらに踏切での交通モデルに適用する。

[1] *A car motion and its velocity update at normal sites*

ある時刻 t で i 番目の車に対し、次のセルが空いていれば、その車は確率 v_i^t で次のセルに動くことができ、次の時刻 $t+1$ の速度は式 (2) と (3) を用いて更新される。逆に確率 $1 - v_i^t$ で動かなかったときは従来の SOV モデルと同様に intention として速度を持つ。しかし、次のセルが埋まっていれば、車は”物理的に”動くことができず、速度は 0 にする。これは一度止まると動き出しにくいという慣性の効果を表してるスロースタートルールになっている。位置の関係式、速度の関係式は以下の通りである。

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t + 1 & (\text{move: probability } v_i^t) \\ x_i^t & (\text{not move: probability } 1 - v_i^t) \end{cases} \quad (4)$$

$$v_i^{t+1} = \begin{cases} (1 - a)v_i^t + aV(\Delta x_i^t) & (\text{next cell is empty}) \\ 0 & (\text{next cell is full}) \end{cases} \quad (5)$$

このルールでシミュレーションした基本図が図 1 であり、交通流の特徴である一様流の不安定性 (メタ安定分岐, metastable state) の存在が密度が 0.25 付近で確認できる。

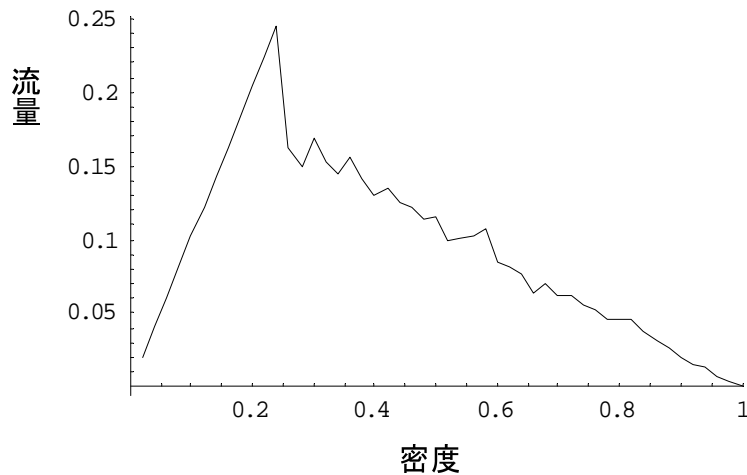


図 1: modified SOV モデルの基本図 ($a=0.2, c=1.0$).

[2] A car motion and its velocity update at Crossing Gate

上で示したルールを元に踏切でのルールを組み込む。まず、踏切内での挟み込みを避けるために、踏切の向こうのセルに車がいる場合は、踏切内に入ることができず、速度を0とする。踏切前で一時停止する場合と一時停止しない場合のそれぞれのルールを次の(a), (b)で示す。

(a) *the case of instantly stop*

もし踏切の向こう側に車がいなかったとしても、車は一時停止しなければならない。一時停止をした後、踏切の向こう側が空いていれば車は確率 v'_n で踏切内に進入することができる。この場合、車が一時停止したときに速度を0にする。

$$v_i^{t+1} = \begin{cases} 0 & \text{(最初に踏切に到着したとき, 物理的に動けない場合)} \\ (1-a)v_i^t + aV(\Delta x_i^t) & \text{(上記以外)} \end{cases} \quad (6)$$

(b) *the case of nonstop*

一時停止しない場合は、踏切の向こう側が空いていれば止まることなく確率 v'_n で踏切内に進入することができる。

$$v_i^{t+1} = \begin{cases} 0 & \text{(物理的に動けない場合だけ)} \\ (1-a)v_i^t + aV(\Delta x_i^t) & \text{(上記以外)} \end{cases} \quad (7)$$

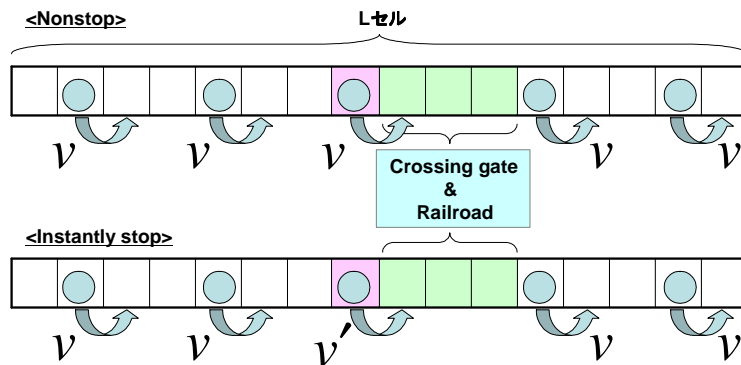


図 2: 踏切に適用した今回のモデルの図解. 上図が一時停止しない場合で, 下の図は一時停止する場合を示す. 一時停止しない場合は踏切の直前のセルで速度を0にすることなく前進確率 v で進むことができる. それに対して一時停止する場合は踏切の直前のセル (ピンク色のセル) で一旦速度を0とし, そこから加速し, ある前進確率 v' で動き出す. 踏切のセル (緑色のセル) に車がいる場合は踏切内での挟み込みを避けるために, 直前のセル (ピンク色のセル) で前の車が抜けるまで停止する.

3 Simulations

車の台数を M 台とし、道路の長さを $L = 16$ セル、踏切部分は真ん中 3 セルに設定し周期境界条件・パラレルアップデートでシミュレーションする (図 2)。また、都市交通における平均速度は 30km/h であり、平均車頭距離が 6m であるのでシミュレーションの 1 セル = 6m , 1 時間ステップ = 0.72 秒とした。

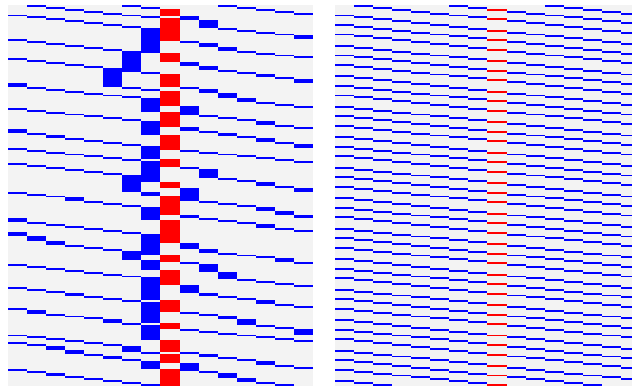


図 3: 車の台数 $M = 3$, 時刻 $0 \leq t \leq 200$ ステップまでの時空図. 縦方向が下向きに時間, 横方向が右向き進行方向として空間を表す. 車のいるセルを青色で表示している. 左図は一時停止の場合の時空図であり, 右図は一時停止が無い場合の時空図. 両図とも真ん中の赤いセルが踏切の直前のセルであり, 一時停止する場合は, このセルで一度必ず速度を 0 とする.

図 3 は車の時空図を示している. この図からわかるように, 一時停止する場合のシミュレーションでは踏切の直前のセル (赤色セル) で車の停止時間が長く, 後ろに渋滞列が形成されていることが見られる. 一方, 一時停止しない場合では踏切に差し掛かったセルでの停止時間が無く, 渋滞列が後ろに形成されずにスムーズに流れていることがわかる. さらに, 踏切通過に余計にかかったステップ数を計ると約 7 ステップであり, これは実測値である約 5 秒と等しいことも確認された.

図 4 が流量-密度関係図 (基本図) である. この図を見ると, 一時停止しない場合は一時停止する場合に比べて密度 0.2 付近で流量が約 2 倍になっていることがわかる. 一方, 密度が大きくなると車自

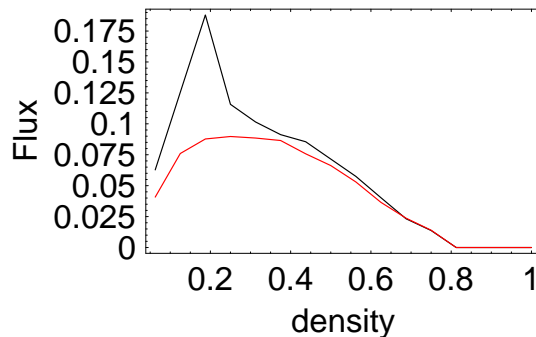


図 4: 一時停止する場合と一時停止しない場合での基本図の比較 ($a = 0.1$). 縦軸が流量, 横軸が車の密度を表す. 黒線が一時停止しない場合で赤線が一時停止する場合のプロットである.

車が渋滞してしまい流量が下がり、一時停止する場合も一時停止しない場合もそれほど変わらないことがわかる。

4 Conclusion

本研究では、従来の SOV モデルに意図的に止まった場合と意図せずに止まった場合の区別を導入し、新たに modified-SOV モデルとしてモデルを構築した。このモデルは交通流の特徴であるメタ安定性を持っており、実際の交通流に応用できるモデルである。そこで、今回踏切での交通流に応用し、一時停止のある場合と一時停止の無い場合での流量の比較をした。その結果、時空図から、一時停止のある場合は踏切での一時停止がボトルネックとなり、そこを先頭に渋滞が形成されることがわかった。それに対して、一時停止の無い場合は踏切でのボトルネックが無くなり、スムーズな流れになっていることがわかった。この流量の違いは基本図からも確認することができ、一時停止の無い場合は、一時停止のある場合に比べて最大約 2 倍の流量の違いがあることがわかった。

5 アンケートより

発表中に「あなたは踏切ノンストップをどう思いますか?」というアンケートを行ったので、それに関してまとめる。

—賛成意見に関して—

- 踏切の一時停止をなくすことで、閉じ込めといった事故が減るのであれば有効。
- 導入時の混乱をおされることが出来れば賛成。
- 事故が起きないというデータがあれば賛成。
- 渋滞減少、排気ガス削減、ガソリン節約のメリットのほうが大きい。

—反対意見に関して—

- 踏切設備の安全性の問題。本当に踏切が 100% 安全に作動するのかどうか?
- 踏切手前で速度を落とすか停止しないと線路内に常に車がない状態を作ることではないか?
- 高架の方が効果的である。

—保留

- 鉄道側の流量に応じて判断するべきである。

賛成意見では、条件付で賛成というのが多かった。これは、反対意見にもつながるのだが、安全性の問題である。一時停止することによって引き起こされる事故は遮断機内閉じ込めといった事故があり、それを減らすという意味では一時停止をなくすことは有効であると考えられる。しかし、一時停止をなくすと今度は踏切の設備の問題が出てくる。これが反対意見に多かったのだが、踏切設備の動作が本当に 100% 保障されているのかという問題である。少しでも誤作動があればそれは大事故につながるのだから、あってはならないことであり、その条件を達成しなければ賛成することは難しいと考えられる。

渋滞学の観点から見ると、一時停止しないことで流量が増えているので渋滞解消には有効であると考えられる。ただ、保留意見として、鉄道側の流量というものがあつた。これは遮断機の降りている時間に依存して車側の渋滞列が決まるので、それを考慮に入れないと一概には判断できないというものである。この点は今後の課題であるといえる。

参考文献

- [1] M. Kanai, K. Nishinari and T. Tokihiro, Phys. Rev. E **72**, 035102-1 (2005).