

車線変更禁止区間の交通渋滞への影響

脇田佑希子¹, 清水光輝¹, 玉城龍洋², 北 栄輔¹

¹ 名古屋大学 大学院情報科学研究科 複雑系科学専攻

² 沖縄工業高等専門学校

概要

2車線の本線車両に1車線が合流する道路の合流部における交通流シミュレーションにセルオートマトン法を適用した。車両の速度制御のためにChandlerモデルと多追従Chandlerモデルを用い、車線変更禁止区間を設ける場合と設けない場合を比較検討する。

Effect of Lane-Changing Prohibition Zone on Traffic Jam

Yukiko Wakita¹, Hikaru Shimizu¹, Tatsuhiro Tamaki², Eisuke Kita¹

¹ Department of Complex Systems Science, Graduate School of Information Science, Nagoya University

² Okinawa National College of Technology

Abstract

Cellular automata model is applied to the simulation of the traffic flow near the merging point of a one-lane merging road on a two-lane main road. Vehicle velocity is controlled by Chandler or multi-following Chandler models. The model is applied to discuss the effectiveness of the lane-changing prohibition zone to the traffic flow.

1 緒論

自動車専用道路において、料金所を通過して自動車専用道路に車両が合流する場合、合流車両の後方の本線車両が減速するため交通渋滞が発生する。首都高速道路での同様な渋滞に関して、本線車両が2車線であるところに1車線が合流する場合、車線が合流する側の本線車線ではなく、合流する側から遠い車線で最初に渋滞が発生することが報告されている[6]。本研究では、合流部付近での交通渋滞を検討するために、セル・オートマトン・シミュレーションを行う。合流直後の車線変更禁止区間がある場合とない場合でシミュレーションを行い、結果を比較する。

シミュレーションでは、車両の速度制御のために車両追従モデル[7]を利用する。この中で、最適速度モデルは杉山ら[1]によって提案され、現実の渋滞現象をモデル化できるものとして広く研究されてい

る。最適速度モデルでは、車両加速度は前方車両との車間距離の関数として定義された最適速度関数と自車両の速度の差に比例して決定される。また、最適速度モデルを前方複数台に対する多追従モデルとした研究も報告されている[3]。これらの研究では、モデルの線形安定性解析から、交通流が安定するパラメータの範囲について議論している。

これに対して、本研究では速度制御にChandlerモデル[2]を利用する。Chandlerモデルでは、車両加速度は前方車両との速度差に比例して変更される。本研究では、Chandlerモデルとそれを前方3台との速度差を考慮するように改良した多追従Chandlerモデルを用いる。類似のモデルとして、車両加速度が速度と車間距離に依存するHellyモデルがあり、これを前方複数台の車両に対する多追従モデルに拡張したGeneralized Helly (GH)モデル[4]も提案されている。HellyモデルおよびGHモデルではモデルパラメータを実車データから決定しており、パラ

メータの交通流への影響解析は行っていない。著者らは、前方3台の車両に対する多追従 Chandler モデルについて安定性解析を行って、パラメータを設計した。

2 車両追従モデル

シミュレーションで用いるモデルは次式で与えられる。

$$\dot{v}_n(t+\tau) = \sum_{i=1}^m k_i \cdot \{v_{n-i}(t) - v_n(t)\} \quad (1)$$

ここで、 $v_n(t)$ は時間 t における車両 n の速度を、 $v_{n-i}(t)$ は i 台前の前方車両を示す。 τ は遅れ時間、 k_i は前方車両に対する感受率である。また、 m は参照する前方車両の台数である。

車両追従モデルのパラメータについては、式 (1) の安定性解析より、次の条件を得る。 $m=1$ である Chandler モデルにおいて

$$k_1 < \frac{1}{2\tau} \quad (m=1) \quad (2)$$

$m=3$ である多追従 Chandler モデルについて

$$|z_i| > 1 (i=1,2,3) \quad (3)$$

ただし、 z_i は次式の解である。

$$1 = \frac{k_1 \cdot z + k_2 \cdot z^2 + k_3 \cdot z^3}{k_1 + k_2 + k_3 + j \cdot w \cdot e^{j \cdot w \cdot \tau}} \quad (4)$$

ここで j は複素定数を示す。

これらに従い、遅れ時間 $\tau = 1.0$ として、パラメータを以下のように定める。 $m=3$ である多追従 Chandler モデルについて

$$k_1 = 0.15, \quad k_2 = 0.10, \quad k_3 = 0.06 \quad (5)$$

これにあわせて、 $m=1$ である Chandler モデルのパラメータ k_1 を以下のようにおく。

$$k_1 = 0.31 \quad (6)$$

3 シミュレーション・モデル

3.1 セルオートマトン・シミュレーション

解析領域は片側1車線または2車線道路である。解析領域を1辺の長さ3(m)の正方形セルの集合として表現する。1台の車両は2セルで表現する。

シミュレーションの流れを箇条書きにして示すと以下のようになる。

1. タイムステップ t を初期化する。 ($t \leftarrow 0$)
2. 車両を配置する。
3. $t \leftarrow t+1$ とする。
4. 全車両からの車間距離を測定する。
5. 行動ローカルルールにより車両の移動先セルを決定する。
6. 速度ローカルルールにより車両速度を更新する。
7. 移動ローカルルールにより車両を移動する。
8. $t < T$ ならば、ステップ3へ戻る。

1 タイムステップは実時間で $\Delta T = 0.1$ 秒とする。

3.2 車間距離の定義

車両が走行している車線の前方車両との車間距離を G とする。車両の右に車線がある場合、右車線の前方車両との車間距離を G_r 、右車線の後方車両との車間距離を G_{rb} とする。また、車両の左に車線がある場合、左車線の前方車両との車間距離を G_l 、左車線の後方車両との車間距離 G_{lb} とする。

本研究では、車両は前走車と安全な車間距離 (安全車間距離 G_s) を保ちながら走行すると考える。 G_s は、実測データから車両速度 v の関数として次のように定められている [5]。

$$G_s = 0.0029 \cdot v^2 + 0.3049 \cdot v \quad (7)$$

3.3 行動ローカルルール

行動ローカルルールは、車両がどの近傍セルに移動するかを決定する。

1. 自車両の走行車線を確認する。
2. 走行車線の右に車線がある場合は次のルールへ、走行車線の左に車線がある場合は4へ進む。
3. $G < G_s < G_r$ の場合、 $G_{rb} > 6$ セル (18m) かつ $G_r \geq 1$ セル (3m) ならば右前セルを移動先セルとする。
4. $G < G_s < G_l$ の場合、 $G_{lb} > 6$ セル (18m) かつ $G_l \geq 1$ セル (3m) ならば右前セルを移動先セルとする。
5. それ以外の場合、現在の車線にとどまる。

3.4 速度ローカルルール

速度ローカルルールは、車間距離に応じて速度を変更する。

1. $G \geq 200$ セル (600m) の場合、加速度を最大加速度 $\dot{v}_n = 2.4$ (m/sec²) に設定し、ステップ3へ

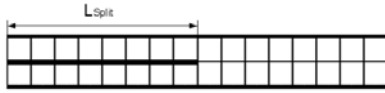


図 1: 解析領域

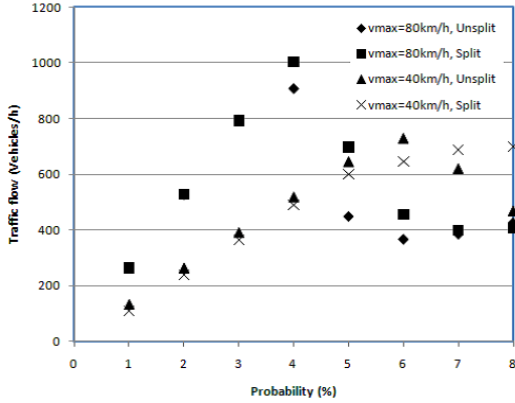


図 2: 異なる最高速度における交通流の比較

移動する。ここで用いる最大加速度の値は実測データを考慮して定められた値である [5]。

2. $G < 200$ セルならば、式 (1) によって加速度 \dot{v}_n を求める。
3. 速度 v_n を次式により更新する。

$$v_n \leftarrow v_n + \dot{v}_n \times \Delta T \quad (8)$$

ここで、 ΔT は 1 タイムステップあたりの実時間を示す。この場合、 $\Delta T = 0.1$ である。

3.5 移動ローカルルール

本研究のモデルでは、車両の移動をモデル化する車両遷移モデルとして確率速度法 [8] を用いる。

1. 車両速度 v と領域内で全ての車両に対して設定された最大速度 v_{\max} から閾値 P_0 を求める。

$$P_0 = \frac{V}{V_{\max}} \quad (9)$$

2. 0 から 1 の範囲で一様乱数 p_0 を発生する。
3. $p_0 < P_0$ のとき車両は移動先セルに進み、そうでなければそのセルにとどまる。

4 解析結果

4.1 最高速度の交通流への影響

解析対象として、片側 1 車線の自動車専用道路に別の方向から 1 車線道路が合流し、片側 2 車線道路

として流れていく場合を考える。この状況をモデル化するために、2 車線道路の上流側では 2 本の 1 車線道路、下流側では 1 本の 2 車線道路となる解析領域を考える (図 1)。道路長を 1200 セル (3600m)、車両の最大速度を $v_{\max} = 40, 80$ (km/h) の 2 種類とする。両端点の境界条件は周期境界条件であり、右端から流出した車両は左端から流入する。車線変更禁止区間を設ける場合、合流点からの車線変更禁止区間の長さを $L_{Split} = 960$ セル (2880m) とする。速度制御モデルとして Chandler モデルを用いる。

解析結果を図 2 に示す。これは異なる初期配列から 20 回のシミュレーションを行い、その平均を示したものである。横軸に道路長に対して車両長が占める割合である車両占有率を、縦軸には単位時間あたりの交通量を示す。ラベルにおいて、数字は最高速度を、Split と Unsplit は車線変更禁止区間を設ける場合と設けない場合を示す。この結果より、最高速度 $v_{\max} = 40$ (km/h) の場合には、車線変更禁止区間を設けない場合のほうが最大交通量が大いいのに対して、最高速度 $v_{\max} = 80$ (km/h) の場合では車線変更禁止区間を設ける場合のほうが最大交通量が大きくなるのがわかる。

最高速度によって結果が異なる理由について、各場合でブレーキを踏む頻度を調べたところ、最高速度 $v_{\max} = 40$ (km/h) の場合では、車線変更禁止区間を設ける場合のほうが車線変更禁止区間を設けない場合よりもブレーキの頻度が大いいのに対して、最高速度 $v_{\max} = 80$ (km/h) の場合では、反対の結果になっていることがわかった。本研究のアルゴリズムでは、後続車両との車間距離が 18m 以上の場合に車線変更する。最高速度が大いの場合、車間距離 18m は後続車にとっては必ずしも安全車間距離よりも大きくない場合もあるので、ブレーキを踏むことが多くなると予想される。

4.2 Chandler モデルと多追従 Chandler モデルの比較

先の解析例のうちで車両の最高速度 $v_{\max} = 80$ (km/h) の場合において、車両の行動に多追従 Chandler モデルを適用した場合について解析を行い、Chandler モデルの結果と比較する。この場合も、車線変更禁止区間を設ける場合、合流点からの車線変更禁止区間の長さ $L_{Split} = 960$ セル (2880m) とする。

解析結果を図 3 に示す。これは異なる初期配列から

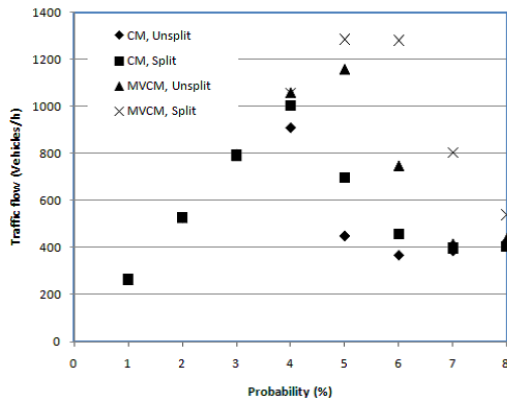


図 3: 異なる追従モデルによる交通流の比較

ら 20 回のシミュレーションを行い、その平均を示したものである。横軸に道路長に対して車両長が占める割合である車両占有率を、縦軸には単位時間あたりの交通量を示す。グラフラベルにおいて、CM と MVCM は Chandler モデルと多追従 Chandler モデルを、Split と Unsplit は車線変更禁止区間を設ける場合と設けない場合を示す。この結果より、多追従 Chandler モデルのほうが Chandler モデルよりも最大交通量が大きくなっており、その程度は 30% 程度である。また、車線変更禁止区間を配置した場合のほうが交通量が大きくなることは同じであり、いずれのモデルでも 10% 程度交通量が増加している。

5 結論

本研究では、合流車線が自動車専用道路に合流するときの合流部付近での交通流についてセルオートマトンシミュレーションを行った。

最初に、車両の速度制御モデルとして Chandler モデルを用いて、交通渋滞緩和のために車線変更禁止区間を設ける場合と設けない場合を比較した。車線変更禁止区間を設けることで、平均車両速度が低速の場合最大交通量が減少し、高速の場合最大交通量が増加した。

そこで、速度制御モデルとして多追従 Chandler モデルを適用することを考えた。結果より、多追従 Chandler モデルを適用すれば交通量が増大するが、車線変更禁止区間を設ける場合のほうが交通量が大きくなる点は Chandler モデルの場合と同じであった。

このことより次のことがいえる。道路の合流部付近では、直前車両より前方の車両の動きも参照しながら自車両速度を制御することが渋滞緩和に効果的

である。そのような場合においても、車両速度に比べて短い車間距離で流れる(つまり、高い車両密度)交通流においては、車線変更を制御することも渋滞抑制に有効な場合があり得ると想像される。

参考文献

- [1] M. Bando, K. Hasebe, K. Nakanishi, A. Nakayama, A. Shibata, and Y. Sugiyama. Phenomenological study of dynamical model of traffic flow. *Journal of Physics I France*, 5:1389–1399, 1995.
- [2] R. Chandler, R. Herman, and W. Montroll. Traffic dynamics ; studies in car-following. *Operations Research*, 6:165–184, 1958.
- [3] K. Hasebe, A. Nakayama, and Y. Sugiyama. Dynamical model of a cooperative driving system for freeway traffic. *Physical Review E*, 68(2):026102, Aug 2003.
- [4] S. Ossen and S. P. Hoogendoorn. Driver heterogeneity in car following and its impact on modeling traffic dynamics. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1999(2):95–103, 2007.
- [5] T. Tamaki, S. Yasue, and E. Kita. City traffic simulation using cellular automata with stochastic velocity model. In *Proceedings of The 2004 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA2004)*, Vol. 12, pp. 440–441, 2004. (CD-ROM).
- [6] 大口, 桑原, 赤羽, 渡邊. ボトルネック上流における車線利用率の矯正効果と付加車線設置形態. *交通工学*, pp. 1–11, 2000.
- [7] 杉山. 交通流の物理. *ながれ*, 22:95–108, 2003.
- [8] 玉城, 安江, 北. 確率速度モデルと CA 法による交通シミュレーション. *情報処理学会論文誌*, 45(3):858–869, 2004.