

セル・オートマトンによる自動車専用道路 の交通シミュレーション

玉城 龍洋(名大院)

安江 里佳(名大院)

北 英輔(名大)

1 はじめに

交通シミュレーションのモデルはマクロモデルとマイクロモデルに大別できる。マクロモデルでは、交通流を流体近似して解析を行うので計算コストは比較的少ない。一方、マイクロモデルでは、車両1台1台の動きをコンピュータ上で再現するので計算コストがかかるが、個々の車両の挙動を別々に表現できる。マクロシミュレータと実データとの比較より、渋滞予測の精度向上には個々の車両の挙動特性を考慮する必要があるとの指摘 [1] があり、そこで、本研究では個々の車両の挙動を考慮できるセルオートマトン法を用いた交通流シミュレーション法について述べる。

セルオートマトン法による交通シミュレーションのうち最初に提案されたのはルール 184-CA モデル [2] である。しかし、このモデルでは車両速度が一定で実際の交通現象の挙動を表現できないので、ルール 184-CA モデルに加減速を加えた NaSch モデル [3] や前走車と自車両の相対的な関係に基づいて速度や加速度を変化させる車両追従モデル [4][5] 等が提案されている。これに対して、本研究では、確率変数を用いた速度表現モデルについて述べる。この方法では、各タイムステップで車両が進むかどうかを確率変数で制御している。このとき、最大速度で走行する車両は毎タイムステップに1セル進むことになるので、車両挙動についてのローカルルールを簡単化できる可能性がある。本研究では、これを2車線自動車専用道路のシミュレーションに適用し、その結果を実測値と比較する。その後、提案モデルによるメタ安定分岐現象の再現性について検討する。

2 シミュレーション手法

2.1 解析領域

解析領域として片側2車線の自動車専用道路を考える(図1)。道路は多数の正方形セルの並びとして表現されており、解析例では大きさ $3(m) \times 3(m)$ のセルを1000セル一列に並べて一本の道路を表現する。シミュレーションでは、連続する2セルによって車両1台を表現している。なお、このシミュレーションでは、乗用車、トラックなど車両の大きさの違いは無視している。

2.2 確率速度モデル

v_{\max} をモデル中の最大速度とする。自車両の前方セルが空白の場合、速度 $\bar{v} (< v_{\max})$ で走行する車両の移動は、シミュレーション上では以下のようにして実現される。

1. $P_0 = \bar{v}/v_{\max}$ を求める。
2. $0 \sim 1$ の範囲で一様乱数 $P(x)$ を発生する。
3. $P(x) < P_0$ のとき1セル進む。

ここで示したアルゴリズムは自車両の前方セルが空白の場合のものであるので、これに前方セルが空白でない場合を考慮したものが、以下で述べる直進ローカルルールとなる。

2.3 安全車間距離

本研究では、車両は前方車両との車間距離 G をあらかじめ与えられた距離(安全車間距離) G_s に保と

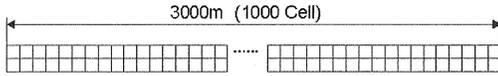


図 1: 2車線道路

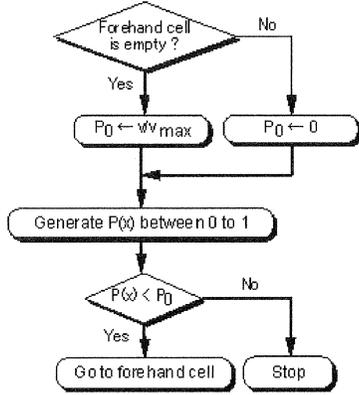


図 2: 直進ローカル・ルール

うとすると考える。その結果、車両は車間距離に応じてその速度を増減することになる。自動車検査業務実施要領によれば車両速度 v の車両がとるべき車間距離 G_s^0 は次式と定められている。

$$G_s^0 = 0.15 \times v + 0.0097 \times v^2 \quad (1)$$

G_s^0 は自動車性能から決定されるが、実際には運転者の個性や車両特性によってある程度異なる。そこで、安全車間距離の最小値を車両ごとに異なる値に設定できるようにする。安全車間距離の最小値を最小安全車間距離 G_s^{\min} と呼ぶことにする。ただし、車両停車時 $v = 0$ においては $G_s = 0$ とする。

以上をまとめると、安全車間距離 G_s は次式で与えられる。

$$G_s = \begin{cases} \max(G_s^0, G_s^{\min}) & (v > 0) \\ 0 & (v = 0) \end{cases} \quad (2)$$

ここで $\max(G_s^0, G_s^{\min})$ は、両者の大きい方を与える。

2.4 ローカルルール

(1) 直進ローカル・ルール 直進ローカル・ルールのフローチャートを図 2 に示す。自車両の前方セルが

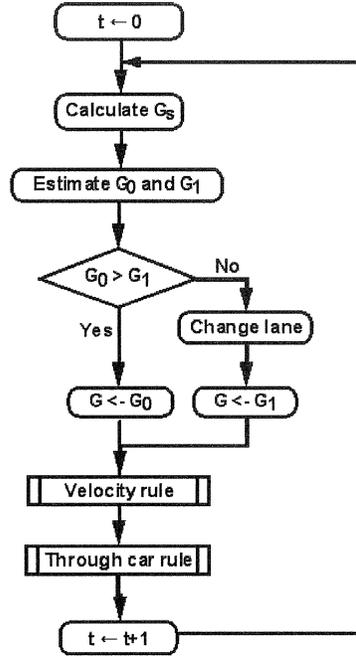


図 3: 2車線行動ローカル・ルール

空の場合 2.2 節で示した確率速度モデルにしたがって直進する。前方セルが空でない場合車両はその場所にとどまる。前方セルが空でない状態は確率速度モデルにおけるしきい値 P_0 を 0 とおくことで実現する。

(2) 2車線行動ローカル・ルール 片側 2車線道路の場合の行動ローカル・ルールを図 3 に示す。車両は、走行している車線の前方車両との車間距離 G_0 と、隣車線の前方車両との車間距離 G_1 を評価する。車間距離を評価した後、現在速度 v から安全車間距離 G_s を式 (2) により計算する。 $G_0 > G_1$ ならば、 $G \leftarrow G_0$ として速度ローカル・ルールへ進む。 $G_0 < G_1$ ならば車線変更を行い、 $G \leftarrow G_1$ として速度ローカル・ルールへ進む。この後、速度ローカル・ルール、直進ローカル・ルールと進む。

(3) 速度ローカル・ルール 速度ローカル・ルールのフローチャートを図 4 に示す。図中において、 v_{\max}^i, α^i はそれぞれ各車両ごとに設定された最大速度と加速

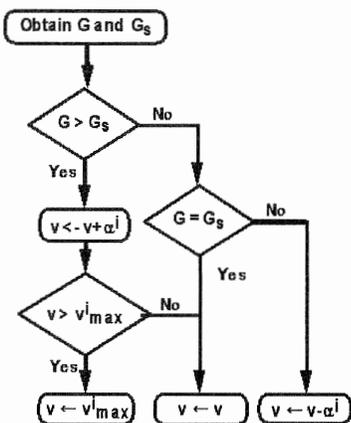


図 4: 速度ローカル・ルール

度を示す。シミュレーションにおいて、 α^i は国土交通省の評価データ [6] を参考にして設定している。速度は現在速度から求めた安全車間距離 G_s と、自車両と前方車両との車間距離 G に応じて変化する。 $G_s = G$ の場合は現在速度を維持する。 $G_s > G$ の場合は、車間距離を大きくするために車両速度を $v \leftarrow v - \alpha^i$ として減速する。 $G_s < G$ の場合は、車間距離を小さくするために車両速度を $v \leftarrow v + \alpha^i$ として加速する。ただし、 $v > v_{\max}^i$ のとき、つまり計算で求めた速度 v がその車両の最大速度 v_{\max}^i よりも大きい場合、 $v \leftarrow v_{\max}^i$ として、最大速度を超えないように修正する。

3 解析例

3.1 実データとの比較

東名高速道路下り岡崎・豊田間の交通量を比較に用いる。1999年8月の1ヵ月分のデータについて、5分ごとの平均値を計算して用いる [7]。比較のために、解析対象として片側2車線の自動車専用道路(図1)を考え、解析開始時に平均20台/km、標準偏差10の正規乱数に従った車両密度で車両を配置する。1タイムステップ0.1s、最大速度 $75.6 < v_{\max}^i < 108$ km/h、加速度 $0.6 < \alpha^i < 0.9$ m/s²、最小安全車間距離 $6 < G_s < 21$ m として解析を行う。最大速度、加速度、

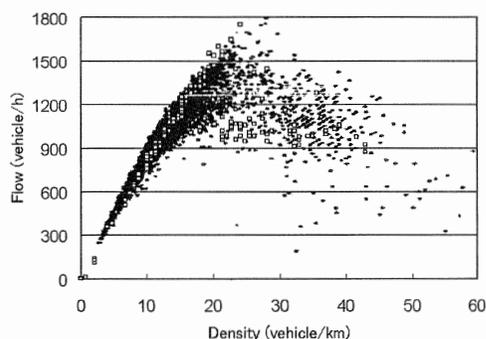


図 5: 車両密度と交通量の関係図

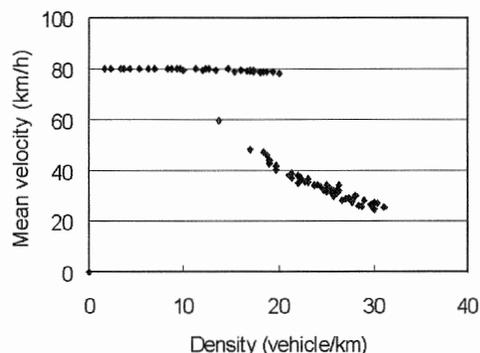


図 6: 車両密度と平均速度の関係図

最小安全車間距離は各車両で一様乱数により範囲内から値を設定する。十分な時間が経過した後の交通量を図5に示す。横軸には車両密度(車両台数/km)を、縦軸には道路の終端(右端)での交通量(通過車両台数/h)をとる。黒色点の実データ、灰色の四角点が解析結果を示す。交通量は車両密度20台/km付近で最大値を示し、車両密度20~40台/kmでは車両密度0~20台/kmに比べてばらつきが大きく、同一の車両密度で異なる交通量の交通流が生じている(メタ安定分岐現象)。

3.2 メタ安定分岐

本モデルでメタ安定分岐現象の発生を確認するために、3.1節と同様に解析対象として片側2車線の

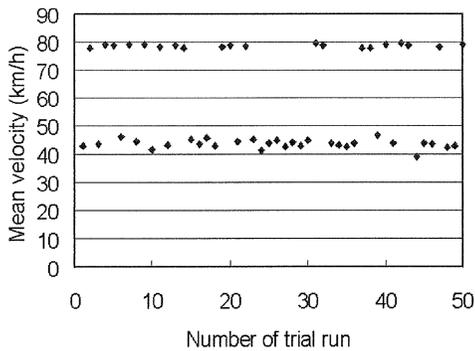


図 7: 車両密度 19 台/km における平均速度

自動車専用道路 (図 1) を考える。解析開始時に平均 16 台/km、標準偏差 8 の正規乱数に従った車両密度で車両を配置する。1 タイムステップ 0.1s、最大速度 $v_{\max} = 80\text{km/h}$ 、加速度 $\alpha^i = 0.6\text{m/s}^2$ 、最小安全車間距離 $G_s = 18\text{m}$ として解析を行う。異なる車両密度において解析を行い、十分な時間が経過した後の全走行車両の平均速度を図 6 に示す。図において、横軸には車両密度 (車両台数/km) を、縦軸には平均速度 (km/h) をとる。

図 6 から車両密度 15~20 台/km 付近で、同一の車両密度にもかかわらず、平均速度の大きい場合と小さい場合が生じていることがわかる。これは、いわゆるメタ安定分岐現象と考えられる。

そこで、この現象を詳しく検討するために車両密度 19 台/km に固定して 50 回の試行を行った結果が図 7 である。図において、横軸には試行番号、縦軸には平均速度 (km/h) をとる。図 7 から設定が同じでも平均速度約 80km/h と平均速度約 43.5km/h の 2 種類の交通流が発生していることがわかる。これより、本モデルにおいてメタ安定分岐現象を再現できていることが分かる。

4 まとめ

確率速度モデルとセルオートマトン法による自動車専用道路の交通流シミュレーションについて述べた。最初に、片側 2 車線道路の交通流シミュレーショ

ンを行ったところ、交通量は車両密度 20 台/km 付近で最大値を示し、車両密度 20~40 台/km では車両密度 0~20 台/km に比べてばらつきが大きく、同一の車両密度で異なる交通量の交通流が生じた。これは東名高速道路下り岡崎豊田間の実データと交通量最大値や全体の振る舞いなどよく一致した。

次にメタ安定分岐現象の発生を確認するために設定パラメータを固定し、解析を行った。車両密度 15~20 台/km 付近で、同一の車両密度にもかかわらず、平均速度の大きい場合と小さい場合が生じていることを確認し、車両密度を固定して 50 回の試行を行った結果、メタ安定分岐が発生している車両密度において同一の車両密度でも平均速度約 80km/h と平均速度約 43.5km/h の二つの平均速度を取ることを確認した。これにより、本モデルでメタ安定分岐現象を再現できることが分かった。

参考文献

- [1] 棚橋巖, 北岡広宣, 馬場美也子, 森博子, 寺田重雄, 寺本英二. 広域交通流シミュレータ NET-STREAM. 情報処理学会, 高度交通システム研究会, 第 9-2 巻, pp. 9-14, 2002.
- [2] S. Wolfram. *Cellular Automata and Complexity*. Addison-Wesley Publishing Company, 1 edition, 1994.
- [3] K. Nagel and M. Schreckenberg. Cellular automaton model for freeway traffic. *Journal of Physics I France*, Vol. 2, pp. 2221-2229, 1992.
- [4] K. Nagel and S. Rasmussen. Traffic at the edge of chaos. *Artificial life IV (Proc. 4th international Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems)*, pp. 222-235. The MIT Press, 1994.
- [5] Y. Sugiyama. Optimal velocity model for traffic flow. Vol. 121-122, pp. 399-401, 1999.
- [6] 国土交通省. 自動車燃費一覧について. <http://www.mlit.go.jp/jidosha/nenpi/nenpulist/02.pdf>, 2002.
- [7] 菊池誠. 高速道路交通流の数理・はじめに. 応用数理, Vol. 12, No. 2, pp. 2-6, 2002.