

セル・オートマトンに基づく交通シミュレーションの一手法

1 はじめに

円滑な道路交通を実現することは、経済の発展だけでなく、都市部を中心とする周辺環境の点からきわめて重要と考えられている。交通流を再現・解析するために様々な交通シミュレータが開発されている。その中でもセル・オートマトンは車両が移動する距離の最大値は 1 セルとなっている。従って自車両の行動ローカル・ルールを単純化することが可能である。本研究では、セル・オートマトンに基づいた、車両の移動を確率的に表現するモデルに車両の大きさの区別を追加し、交通流シミュレーションを行う。そして車両の車間距離、最高速度などの交通流に影響を与えるパラメータについて検討する。さらに、実際の交通流データと比較し、提案するシミュレータの有用性を検討する。

2 車両の大きさを考慮したシミュレーション手法の提案

2.1 解析領域

解析領域として 2 車線の自動車専用道路を考える。大きさ $3\text{m} \times 3\text{m}$ のセルを並べて道路を表現する。従来研究 [1] では、車両の大きさの違いが無視されていたが、より現実的な再現するために本研究では、セル数によって車両を区別する。また、シミュレーションにおける 1 タイムステップは実時間で $\Delta t=0.1\text{s}$ とする。

2.2 確率速度モデル

・速度 v^i で走行する車両の移動は以下のようにして実現する。

- (1) 隣のセルに移動する確率 P_0^i を求める。
- (2) $0 \sim 1$ の範囲で一様乱数 P を発生する。
- (3) $P < P_0^i$ のとき 1 セル進める。

2.3 ローカル・ルール

2.3.1 安全車間距離

・車両は前方車両との車間距離を安全車間距離 G_s^i に保とうとすると仮定する。

・速度 v^i の車両がとるべき車間距離 $G_s^{i,0}$ は、自動車検査業務実施要領で次式に定められている。

$$G_s^{i,0} = 0.15 \times v^i + 0.0097 \times (v^i)^2$$

実際には $G_s^{i,0}$ の最小値 $G_s^{i,\min}$ は車両特性等に依存し、車両停止時 $v^i = 0$ においては $G_s^i = 0$ となる。まとめると、安全車間距離 G_s^i は次式で与えられる。

$$G_s^i = \begin{cases} \max(G_s^{i,0}, G_s^{i,\min}) & (v^i > 0) \\ 0 & (v^i = 0) \end{cases} \quad (1)$$

で与えられる。ここで $\max(G_s^{i,0}, G_s^{i,\min})$ は両者の大きい方を与える。

2.3.2 行動ローカル・ルール

(1) 走行車線の前方車両との車間距離 G_0^i 、隣車線の前方車両との車間距離 G_1^i 、隣車線後方車両との車間距離 G_2^i を評価する。

(2) v^i から G_s^i を計算する。

(3) $G_0^i > G_1^i$ ならば、 $G^i \leftarrow G_0^i$ とする。 $G_0^i < G_1^i$ かつ $G_{sb} < G_2^i$ ならば車線変更を行い、 $G^i \leftarrow G_1^i$ とする。

(4) 速度ローカル・ルールに進み速度を変更。

(5) 確率速度モデルに従って前方へ進む。

G_{sb} は設定された隣車線後方車両との最小車間距離を示す。

2.3.3 速度ローカル・ルール

(1) $G_s^i = G^i$ の場合、現在速度を維持する。

(2) $G_s^i > G^i$ の場合、 $v^i \leftarrow v^i - a\Delta t$ とする

(3) $G_s^i < G^i$ の場合、 $v^i \leftarrow v^i + a\Delta t$ とする

(4) $v^i < 0$ の場合、 $v^i \leftarrow 0$ とする。

(5) $v^i > v_{\max}^i$ の場合、 $v^i \leftarrow v_{\max}^i$ とする。

v_{\max}^i, a は設定された最大速度と加速度を示す。

2.4 車両配置と端点条件

最初解析領域にランダムに車両を配置し、端点において周期境界条件を用いる。周期境界条件では、出口から流出した車両が反対側の流入点から進入する。このことにより車両密度を一定に保つことができる。

3 検証実験

3.1 隣車線後方車両との車間距離の影響

次に各パラメータ設定を変更し、車両通過台数などの影響を解析する。そのときの 1 タイムステップを 0.1s、解析時間を 36000 タイムステップ (1 時間) とする。これを 50 回試行する。まず G_{sb} を変化させ、車線変更回数にいかに関与するかを解析する。最大速度 $v_{\max} = 100\text{km/h}$ 、加速度 $0.6 < a < 0.9\text{m/s}^2$ 、最小安全車間距離を小型車 $6 < G_s^{i,\min} < 21\text{m}$ 、大型車 $12 < G_s^{i,\min} < 42\text{m}$ 、隣車線後方車両との最小車間距離 $G_{sb} = 27, 33, 42\text{m}$ として解析を行う。図 1 からわかるように、小型車は平均車両密度 0.18 付近で $G_{sb}=27, 33, 42\text{m}$ それぞれの場合で車線変更回数が最大となり、それを超えると車両が密になり徐々に車線変更回数が減少していく様子が見られた。大型車は平均車両密度 0.12 から大きく車線変更回数が減少している。これは、大型車は小型車に比べ、車長が長いため自車両の隣に車両が存在するステップが多くなるためである。

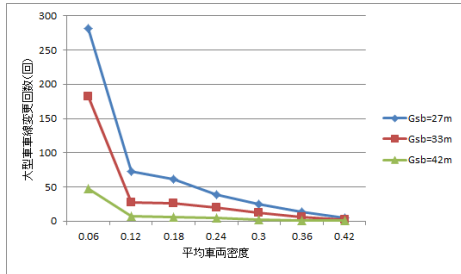
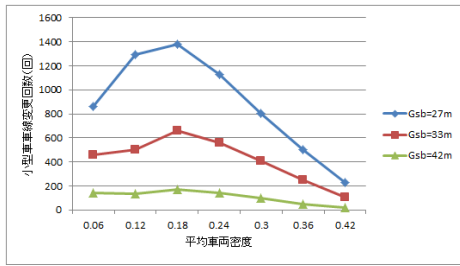


図 1. 車両密度に対する車線変更回数の影響

3.2 最小安全車間距離の影響

次に、最小安全車間距離の影響を解析する。このとき、最大速度 $v_{i,max} = 100\text{km/h}$ 、加速度 $a = 1.8\text{m/s}^2$ 、最小安全車間距離 $G_s^{i,min} = 0, 18\text{m}$ 、隣車線後方車両との最小車間距離 $G_{sb} = 33\text{m}$ として解析を行う。最小安全車間距離 $G_s^{i,min} = 18, 30\text{m}$ の場合、 $G_s^{i,min} = 0\text{m}$ の場合とは違い平均車両密度が増加すると交通量は著しく減少している。これは、式 (1) より安全車間距離 G_s^i は $v > 0$ の場合 $\max(G_s^{i,0}, G_s^{i,min})$ から大きい方を与えているので、 $G_s^{i,0}$ が最小安全車間距離 $G_s^{i,min}$ よりも小さくなくても常に設定した最小安全車間距離 $G_s^{i,min}$ を維持するため、十分な車間距離が空いていても加速できないためである。

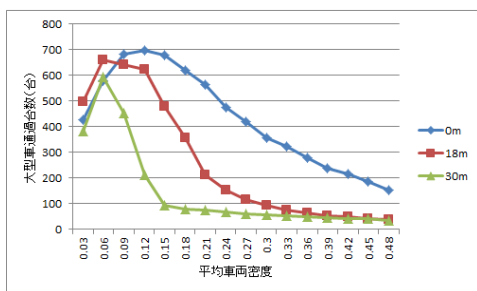
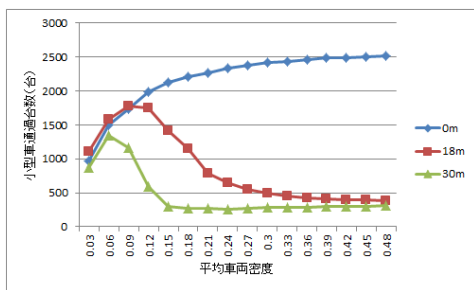


図 2. 交通量に対する最小安全車間距離の影響

3.3 最高速度の影響

最後に、最高速度の影響を解析する。このとき、最大速度 $v_{i,max} = 80, 100\text{km/h}$ 、加速度 $a = 1.8\text{m/s}^2$ 、最小安全車間距離 $G_s^{i,min} = 0, 18\text{m}$ 、隣車線後方車両との最小車間距離 $G_{sb} = 33\text{m}$ として解析を行う。最大速度は最大交通量に影響しないという結果が得られた。

3.4 実データとの比較

2車線の自動車専用道路である中国自動車道 西宮山口 JCT-宝塚 IC の区間の実データ [2] を解析対象とする。提案するシミュレータのパラメータ設定によって実データの小型車と大型車それぞれの交通量を再現することが可能か検証する。シミュレーション結果を表 1 に示す。表 1 より、午後 5 時台と午前 2 時台共にシミュレーション結果は実データと近い値を得ることができている。また、シミュレーションを行った際の平均速度は、午後 5 時台の小型車が 28km/h 、大型車が 25km/h となっていた。これにより、午後 5 時台では平均速度が小型車と大型車それぞれ低い値となっていたことから、渋滞が発生していたということが明らかとなった。従って、提案したシミュレーション手法を用いて、実際の道路交通の交通量を再現することによって、そのときの平均車両密度や平均速度を推測することが可能となり、それに加えてどのような交通状況であるかを判別することも可能となった。

表 1: 通過車両台数の比較

	午後 5 時台 (実データ)	午後 5 時台 (シミュレーション結果)	午前 2 時台 (実データ)	午前 2 時台 (シミュレーション結果)
小型車(台)	1892	1850	172	133
大型車(台)	894	839	739	769

3.5 結論

本研究では、確率速度モデルに車両の大きさを追加したモデルを提案した。このモデルの検証から、同じようなパラメータ設定でも小型車と大型車とは結果が異なることがわかった。また、適切なパラメータを用いることで実際に得られたデータを再現できることもわかった。これらから、車両の大きさに区別をつけることによって挙動に違いがある可能性が現れた。つまり、車両の大きさを区別することで、より詳細な交通シミュレーションを行うことができるのではないかと考えられる。

参考文献

- [1] 玉城龍洋, 安江里佳, 北英輔: “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,” 情報処理学会論文誌, Vol. 46, No. SIG10, pp.30-40, 2005.
- [2] 国土交通省 平成 22 年度 全国道路・街路交通情勢調査 (道路交通センサス)