

## 確率速度モデルを用いたセル・オートマトンによる 都市内交通シミュレーションについて

玉 城 龍 洋<sup>†</sup> 安 江 里 佳<sup>†</sup> 北 英 輔<sup>††</sup>

確率速度モデルを用いたセル・オートマトン法による交通シミュレータを都市交通のシミュレーションへ適用することについて述べる。最初に、解析対象のセル表現、車輛の行動や速度に関するローカル・ルールなどについて定義する。続いて、モデルを名古屋市で行われた交通量調査の結果と比較し、提案したモデルの有効性を検討する。

### Cellular Automata Simulation of City Traffic Flow Based on Stochastic Velocity Model

TATSUHIRO TAMAKI,<sup>†</sup> SATOKA YASUE<sup>†</sup> and EISUKE KITA<sup>††</sup>

This paper describes the application of the cellular automata simulation based on the stochastic velocity model to the city traffic flow. Firstly, the cellular automata representation the object domain, the local rules for the vehicle velocity and behavior are defined. Finally, the simulation results are compared with the research result of the traffic volume in Nagoya city in order to discuss the validity of the present model.

#### 1. はじめに

現在、都市生活を営んでいく上で交通渋滞が大きな社会問題のひとつとなっている。交通渋滞による最も大きな問題点は、輸送コストおよび輸送時間がもたらす大きな経済的損失である。これに加えて、環境汚染や地球温暖化など環境面の問題もある。しかし、今後都市部の再開発が進むにつれて大都市では交通渋滞が一層悪化する可能性がある。このような様々な問題から、円滑な道路交通を実現することは、きわめて重要な課題となっている。そこで、交通渋滞の原因を明らかにし、その問題点を改善するために様々な交通シミュレータが開発されている。

交通シミュレーションで用いられるモデルは、マクロモデルとミクロモデルに大別できる。マクロモデルでは、自動車交通流を流体現象として連続の式により扱うのに対して、ミクロモデルでは、個々の車両の動きをコンピュータ上でシミュレートし、それらの相互干

渉の結果として交通流を表現する。マクロモデルは比較的解析が容易で計算コストも小さいので、コンピュータ・シミュレーションが一般化する以前から広く用いられてきた<sup>1),2)</sup>。しかし、マクロモデルと現実の交通データの比較<sup>3)</sup>から、現実の交通にみられる渋滞問題の解決には交通を形作る個々の車両の挙動特性を表現する必要性が指摘されている。そこで、本研究室でも、これまでに確率速度と名付けたモデルを用いたセル・オートマトン法によるミクロモデルシミュレーション手法を開発し、自動車専用道路を中心とする解析対象に適用した。セル・オートマトン法による交通シミュレーションのためのモデルは、これまでにいくつか提案されている<sup>4)~6)</sup>。しかし、これまでのモデルでは車輛速度は1タイムステップ当たりの移動距離として定義していたので、高速走行する車輛は一度に長い距離を移動することになり、移動区間に枝道や交差点などがあると車輛行動を制御するルール(ローカル・ルール)が複雑になる。本研究で用いる確率速度モデルでは、確率変数を用いて速度を表現することで、1タイムステップ当たりの移動距離を最大1セルとしている。それにより、ルールを単純化できるようになっている。このように、確率速度モデルは都市交通のシミュレーションに適していると思われるので、本研究では提案手法を都市交通シミュレーションに適用する。

<sup>†</sup> 名古屋大学人間情報学研究科  
Nagoya University, Graduate School of Human Informatics

<sup>††</sup> 名古屋大学情報科学研究科  
Nagoya University, Graduate School of Information Sciences

解析対象として、名古屋市の本郷交差点を通過する幹線道路を考える。この道路における交通データをもとに解析区間に流入する車両台数を指定し、各道路での車輛密度を評価する。シミュレーション結果を実測データと比較し、提案するシミュレーションモデルの特性を検討する。

## 2. CA によるモデル化

### 2.1 解析領域

解析領域として片側 1 車線、2 車線、3 車線の道路や交差点、右左折車線を含む市街地道路を考える。道路は大きさ  $3m \times 3m$  のセルの並びで表現し、並べたセル数で道路の長さを表現する。車両は、道路上の連続する 2 セルによって表現し、車両の大きさの違いは無視する。また、1 タイムステップは実時間で 0.1s と考えている。

### 2.2 確率速度モデル

確率速度モデルでは、確率変数を用いて車両速度を表現し、各タイムステップごとの移動セルは常に最大 1 となるため、複雑な市街地への適用が容易となる。最大速度  $v_{def}$  である車両が速度  $v (< v_{def})$  で走行するとき、車両の移動はローカル・ルールを以下に示すようにして適用することで実現する。

- (1) 閾値  $P_0$  を次式より求める。

$$P_0 = \frac{v}{v_{def}} \quad (1)$$

- (2)  $0 \sim 1$  の範囲で一様実数乱数  $P(x)$  を発生する。
- (3)  $P(x) < P_0$  のとき、1 セル進む。

### 2.3 ローカル・ルール

ローカル・ルールには、行動ローカル・ルールと速度ローカル・ルールがある。車両は前方車両との車間距離  $G$  を安全車間距離  $G_s$  に保とうとすると仮定する。

- (1) 安全車間距離  $G_s$  を速度  $v$  から計算する。
- (2) 走行車線の前方車両との車間距離  $G_0$ 、左車線の前方車両との車間距離  $G_l$ 、右車線の前方車両との車間距離  $G_r$  を評価する。
- (3) 行動ローカル・ルールを適用する。
- (4) 速度ローカル・ルールを適用する。
- (5) 確率速度モデルに従って前方セルに進む。

#### 2.3.1 行動ローカル・ルール

##### 2.3.1.1 直進車の行動ローカル・ルール

- (1)  $G_0 < G_{max}$  かつ  $G_r$  が最大ならば右車線変更する。
- (2)  $G_0 < G_{max}$  かつ  $G_l$  が最大ならば左車線変更する。
- (3)  $G_0 > G_{max}$  または  $G_0$  が最大ならば直進する。

ここで、 $G_{max}$  は最高速度の際の安全車間距離を示す。

##### 2.3.1.2 左折車の行動ローカル・ルール

- (1) 交差点手前ならば左折する。
- (2) 左車線が存在するならば左車線変更する。
- (3) それ以外ならば直進する。

##### 2.3.1.3 右折車の行動ローカル・ルール

- (1) 交差点手前ならば右折する。
- (2) 右車線が存在するならば右車線変更する。
- (3) それ以外ならば直進する。

直進する場合、 $G \leftarrow G_0$ 、左車線変更する場合、 $G \leftarrow G_l$ 、右車線変更する場合、 $G \leftarrow G_r$  とする。右左折する場合、進行方向が変わるため車間距離  $G \leftarrow G_{def}$  とする。 $G_{def}$  は車間距離の最大値である。

### 2.3.2 速度ローカル・ルール

速度ローカル・ルールには、相対加減速ローカル・ルールと絶対減速ローカル・ルールがある。

#### 2.3.2.1 相対加減速ローカル・ルール

- (1)  $G_s > G$  の場合、 $v \leftarrow v + \alpha$  とする。(加速)
- (2)  $G_s < G$  の場合、 $v \leftarrow v + \beta$  とする。(減速)
- (3)  $G_s = G$  の場合、現在速度  $v$  を維持する。
- (4)  $v > v_{max}$  の場合、 $v \leftarrow v_{max}$  とする。
- (5)  $v < 0$  の場合、 $v \leftarrow 0$  とする。

ここで、 $v_{max}$  は最高速度、 $\alpha$ 、 $\beta$  は加速度を示す。

#### 2.3.2.2 絶対減速ローカル・ルール

- (1)  $G_i < G_s$  の場合、 $v \leftarrow v - \frac{v-v'}{G_i}$  とする。
- ここで、 $G_i$ 、 $v'$  は対象物との距離と到着する時の目的速度を示す。

## 3. モデル評価

### 3.1 実測値調査

シミュレーションに使う安全車間距離  $G_s$  および加速度  $\alpha (m/s^2)$  を実測値調査結果から、次式で定める。

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

$$-3 < \alpha < 3 \quad (3)$$

加速度は式 (3) の範囲で、解析条件に応じてそれぞれ定める。

### 3.2 評価

Transport Lab によって調査された実測データを用いて実測値との比較を行う<sup>7)</sup>。

### 3.3 対象データ

すべて実測したデータを元にシミュレーションを行う。このデータセットの概要は以下の通りである。

#### 3.3.1 対象道路網

名古屋市の名古屋一長久手線・本郷交差点付近のエリアを解析対象とする (図 1)。図において、地点 (8)

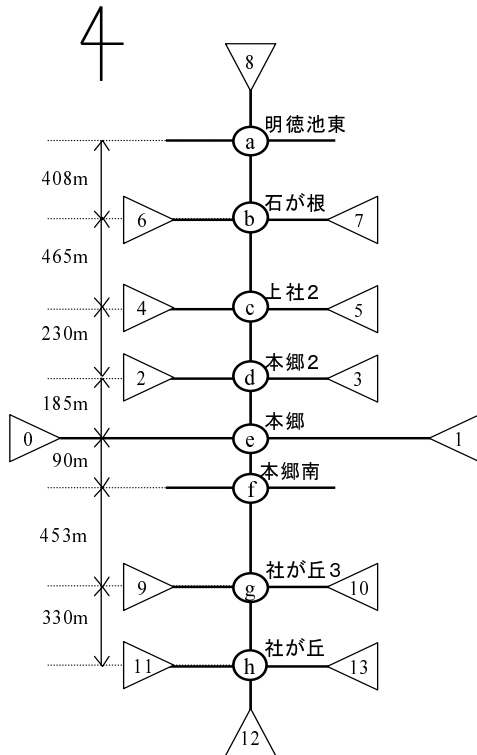


図1 解析対象  
Fig.1 Object under consideration

と〈12〉を結ぶ道路が名古屋-長久手線, 地点〈0〉と〈1〉を結ぶ道路が東山通りである。(a)から(h)は信号のある地点(交差点)を表す。〈0〉から〈13〉は交通量の測定地点(交差点の出口)を表す。〈0〉と〈1〉を結ぶ道路は3車線, それ以外は1車線である。名古屋-長久手線は全ての交差点に右折車線があり, 東山通りは交差点に右折・左折車線ともにある。また, その他の東西方向の道路は交差点(a), (e), (f), (g)に右折車線があり, それ以外はない。交通量調査は平成13年11月19日(月)の朝のピークである6:30~9:30の3時間行われた。

### 3.4 シミュレーション設定

シミュレーションで設定した各パラメータを表1に示す。最高速度は, 実際の交通状態から判断して東山通りを走行している車は80km/h, それ以外の道路を走行している場合は60km/hとした。各交差点の両端で与える発生交通量は交差点方向別通過交通量の対象方向交通量とし, 各交差点において想定する左折・直進・右折比率は交差点方向別通過交通量データより計算する。発生交通量および左折・直進・右折比率は15分間隔で変更する。

表1 解析パラメータ

Table 1 Simulation parameters

セルの大きさ	3m × 3m
1タイムステップ	0.1s
境界条件	開放境界条件
車両発生	発生交通量に応じて等間隔に発生
最高速度	60km/h ~ 80km/h
安全車間距離	$0.0029v^2 + 0.3049v$ (v 速度)
加速度	0.6 < $\alpha$ < 2.4 (加速時) 1.2 < $\beta$ < 3.0 (減速時)
タイムステップ数	108000

表2 信号の時間設定

Table 2 Traffic signal schedule

信号	南北方向 (青:右折:赤)	東西方向 (青:右折:赤)	オフセット
(a) 明徳池東	101s:なし:3s	33s:なし:3s	0s
(b) 石が根	62s: 9s:3s	35s: 8s:3s	0s
(c) 上社2	71s: 10s:3s	33s:なし:3s	0s
(d) 本郷2	71s: 10s:3s	33s:なし:3s	0s
(e) 本郷	61s: 9s:5s	66s: 16s:3s	32s (f)
(f) 本郷南	124s:なし:3s	28s:なし:3s	0s
(g) 社が丘3	49s: 7s:3s	28s:なし:3s	0s
(h) 社が丘	57s:なし:5s	25s:なし:3s	0s

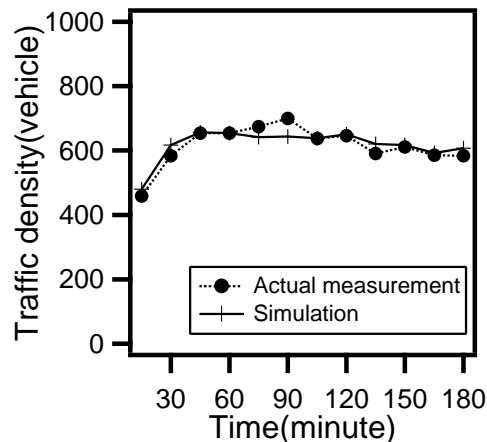


図2 地点0における交通密度の比較

Fig.2 Traffic density at point 0

信号制御は, 表2に示すように設定する。

### 3.5 結果

各交差点出口において15分間隔に交通量の計測を行い, 交差点方向別通過交通量および右左折比率から計算した実測データとの比較を行う。結果を地点別に, 図2, 図3, 図4, 図5に示す。横軸には時間(分), 縦軸にはその時間内に通過した交通量(台)を表す。太線が実測データから計算した値, 点線がシミュレーション結果である。ほとんどの地点において, 定性的にも

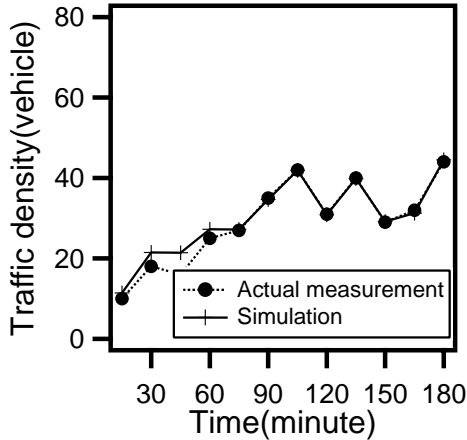


図3 地点2における交通密度の比較  
Fig.3 Traffic density at point 2

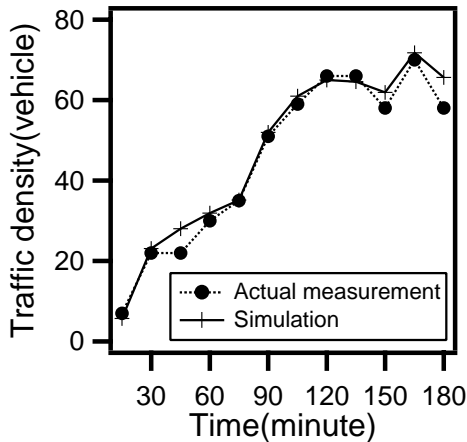


図4 地点3における交通密度の比較  
Fig.4 Traffic density at point 3

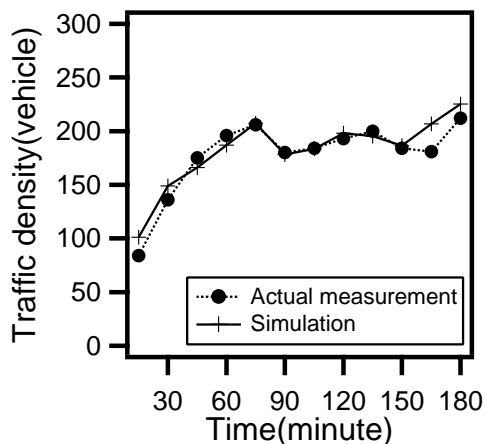


図5 地点12における交通密度の比較  
Fig.5 Traffic density at point 12

定量的にも結果がよく一致しており、実データがよく再現できていることがわかる。

#### 4. 結 論

本研究では、セルオートマトン法による交通流シミュレーションについて研究を行った。確率速度モデルを市街地道路へ適用し、本研究で用いたモデルの交通シミュレータとしての有効性を確認した。これにより、本研究で提案している確率速度モデルが都市交通シミュレーションへ適用できることが確認できた。

#### 参 考 文 献

- 1) M. J. Lighthill and G. B. Whitham. On kinematic waves II. A theory of traffic flow on long crowded roads. *Proceedings of Royal Society London*, Vol. A299, p. 317, 1955.
- 2) T. Musha and H. Higuchi. Traffic current fluctuation and the Burgers equation. Vol. 17, p. 811, 1978.
- 3) 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.
- 4) S. Wolfram. *Cellular Automata and Complexity*. Adison-Wesley Publishing Company, 1 edition, 1994.
- 5) K. Nagel and M. Schreckenberg. Cellular automaton model for freeway traffic. *Journal of Physics I France*, Vol. 2, pp. 2221-2229, 1992.
- 6) O. Biham, A. A. Middleton, and D. Levine. Self-organization and a dynamical transition in traffic-flow models. *Physical Review A*, Vol. 46, No. 10, pp. R6124-R6127, 1992.
- 7) Transport Lab. 本郷地区ベンチマークデータセット. <http://www.i-transportlab.jp/bmdata/HongoBM/>, 2001.