

2次元双方向交通流問題のシミュレーション

東北大学・大学院情報科学研究科

本田 泰, 萩原浩美, 榊原健人, 堀口 剛

1 背景と目的

現実の世界における交通流を考える上で、例えば高速道路上の車の流れのようなものを想定するならば、それをモデル化してシミュレーションなどでその性質を調べるとしても、1次元のモデルを考えれば十分よい近似になっていると考えられる。一方、当然のことながら都市の道路網などにおいては2次元平面上の車の流れを考えなければならない。また、2次元空間上の交通流を考えることは、都市における自動車の交通流を理解するという観点のみにとどまらず、コンピューターネットワークなどの情報通信網におけるパケット流などとも関連があると考えられる。

Biham ら [1] は2次元平面上の交通流として、正方格子上のセルオートマトンモデルを考えた。そこでは、正方格子上の各格子点に信号が配置され、2つの方向に対して交互に青信号を表示していると仮定している。車の種類として2つの車種のみを考え、1つの車種の車は北の方向にのみ進行し、他の車種の車は東の方向にのみ進行するとした。彼らはこのような2次元平面上の交通流を非常に簡略化したモデルに対してシミュレーションを実行し、車の密度に依存して、自由移動相から渋滞相への不連続な転移を見出した。

これに対して、Cuesta ら [2, 3] は2種類の車

が交差点で確率的に方向転換をするモデルを提案し、Biham らのモデルと同様、車の自由移動相から渋滞相への不連続な転移を観測している。

また、以前我々は、Cuesta らのモデルをさらに拡張し、2次元格子上の2方向交通流の様々な性質を調べた。交差点間に副格子点を導入することによって時間遅れの影響を調べた。このモデルにおいても自由移動相から渋滞相への不連続な転移が観測されたが、Cuesta らのモデルと異なる振る舞いとして、自由移動相における車の速度に方向転換率依存性を見出した [4, 5]。

これら、3つのモデルではすべて車の流れる車線の数は一つであった。そこで、我々は車線の数を2車線に拡張し、障害物の交通流に対する影響も調べた。現実の都市交通流からも想像されるとおり、交差点付近の障害物は交通渋滞を引き起こす大きな要因となることが確認された。

ここまでに紹介した研究は2次元道路網における2方向交通流の性質を調べるものであったが、本研究では、東西南北の4方向に進行する車を考慮した双方向交通流の性質をセルオートマトンを用いて調べる。2方向交通流の場合には交差点における方向転換を考慮することにより渋滞は緩和されて車の自由移動相の領域が拡大したが、双方向交通流においては単純な方向転換が交通渋滞を緩和するとは限らないということがわかった。

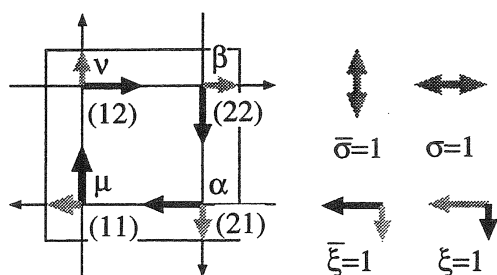


図 1: 4 種類の車

2 双方向交通流モデル

正方格子上を東西南北の4つの方向に走る道路網を考える。本研究では、それぞれ4種類の車種の車は同じ数だけ存在すると仮定した。また、今回は簡単のため、副格子点および車以外の障害物は存在しないものと仮定した。

2.1 正方格子上の4種類の車種

図1に4種類の車種の格子点における振る舞いを模式的に示した。一つの方向について一つの車線のみがあるとし、左側通行とする。主に北に向かって走る車を μ 型車とする。図1では交差点(11)に μ 型車がある場合を示した。 μ 型車は主に北向きに進むが、確率 γ で西に向かって方向転換するものとする。このような μ 型車の性質をふまえて、 μ 型車を北向きの長い矢印と西向きの短い矢印を組み合わせると図示した。この μ 型車と同様に主に東に進む車を ν 型車、主に南に進む車を β 型車、主に東に進む車を α 型車と名付けることにする。図中で、 σ は信号の青となる方向を示し、 ξ は各車が方向転換をする場合には1、そうでない場合には0となる論理変数である。

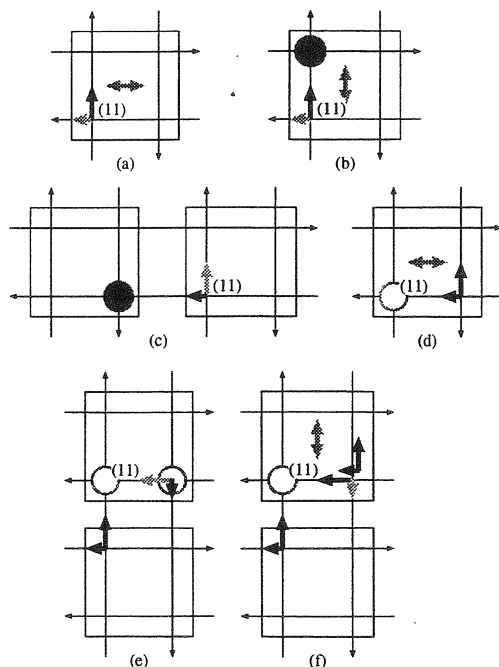


図 2: 時間発展ルールの一例

2.2 時間発展ルール

2方向交通流の際に考えた時間発展のルールを踏襲し、車が進もうとする方向に他の車がなく、しかも信号が青であれば車は1ステップだけ進むというルールを採用した。図2に(11)で示された交差点内の点に時刻 $t+1$ の時点で μ 型車が存在する場合の時刻 t における車の配置をすべて示した。図2(a),(b),(c)は、もともと時刻 t の時点で(11)の点に車が存在しそこから移動できない場合である。図2(d),(e),(f)は、時刻 t で(11)に車が存在せず周りからそこに入ってくる場合である。

このような時間発展のルールを論理変数を用

いて表現すると次式のようになる。

$$\begin{aligned}
 \mu_{\bar{r},(11)}^{t+1} &= \mu_{\bar{r},(11)}^t \bar{\xi}_{\bar{r},(11)}^t \sigma^t \\
 &+ \mu_{\bar{r},(11)}^t \bar{\xi}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\sigma}^t (\nu_{\bar{r},(12)}^t + \mu_{\bar{r},(12)}^t + \beta_{\bar{r},(12)}) \\
 &+ \mu_{\bar{r},(11)}^t \xi_{\bar{r},(11)}^t \\
 &\quad \times (\alpha_{\bar{r}-\bar{x},(21)}^t + \beta_{\bar{r}-\bar{x},(21)}^t + \mu_{\bar{r}-\bar{x},(21)}^t) \\
 &+ \mu_{\bar{r}-\bar{y},(12)}^t \bar{\mu}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\alpha}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\nu}_{\bar{r},(11)}^t \\
 &\quad \times (\bar{\alpha}_{\bar{r},(21)}^t \bar{\mu}_{\bar{r},(21)}^t + \alpha_{\bar{r},(21)}^t \xi_{\bar{r},(21)}^t) \\
 &+ \mu_{\bar{r}-\bar{y},(12)}^t \bar{\mu}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\alpha}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\nu}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\sigma}^t \\
 &\quad \times (\alpha_{\bar{r},(21)}^t \bar{\xi}_{\bar{r},(21)}^t + \mu_{\bar{r},(21)}^t) \\
 &+ \mu_{\bar{r},(21)}^t \sigma^t \bar{\mu}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\alpha}_{\bar{r},(11)}^t \bar{\nu}_{\bar{r},(11)}^t \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、 $\mu_{\bar{r},(11)}^t$ などは時刻 t に点 $\bar{r},(11)$ に μ 型車が存在する場合に 1、そうでない場合に 0 となる論理変数である。

3 交通渋滞の源となる配置を考慮した時間発展ルールの改良

図 3 に交通渋滞の核となる車の配置例を示した。本研究で考える双方向交通流においては図に示したような配置が実現すると方向転換率をいくら大きくしても渋滞はいつさい解消されない。この点は 2 方向交通流の場合との顕著な違いである。双方向モデルは方向転換率を導入することによって図 3 に示したような渋滞の核がむしろ発生しやすくなるという特徴を持つ。そこで、このような渋滞の核の発生を制限するために図 3 のように α 型車、 β 型車および ν 型車が配置している際に、 μ 型車は図に示した位置に入ることを禁止する。図 3 のような配置が出現しないように先に ν 型車を通過させてから μ 型車が前に進むように時間発展のルールを修正する。 α 型車、 β 型車および ν 型車が上述の μ 型車と同じ状況におかれた場合にも同様の禁止ルールを適用するものとする。

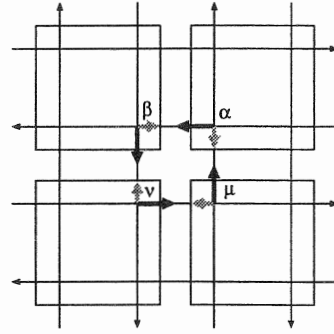


図 3: 交通渋滞の核となる車の配置例

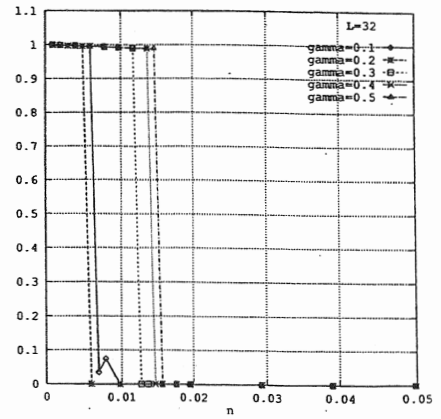


図 4: 禁止ルールを適用する前の平均速度の車の密度依存性

4 数値シミュレーション結果

シミュレーションにおいてはすべて、周期境界条件を採用した。図 4 に禁止ルールを適用しない場合の車の平均速度 v を車の密度 n の関数として示した。動いている車の割合を表わす平均速度 $v(t)$ は次式のように定義される。

$$v(t) \equiv \frac{1}{2N} \sum_{\bar{r}, \alpha'} \sum_{c \in \{\alpha, \beta, \mu, \nu\}} (c_{\bar{r}, \alpha'}^{t+1} - c_{\bar{r}, \alpha'}^t) \quad (2)$$

v は $v(t)$ の時間平均を取ったものである。車の密度が非常に低い (~ 0.01) にもかかわらず、急

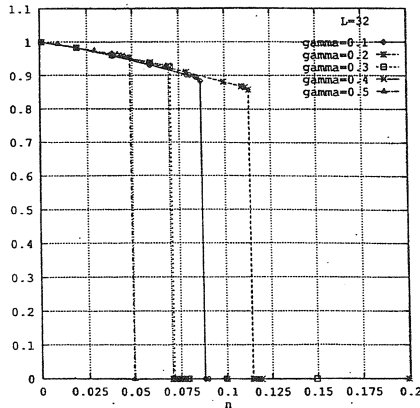


図 5: 禁止ルールを適用した場合の平均速度の車の密度依存性

激に渋滞相が形成されている。

図 5 に 3 章で導入した時間発展ルールの改良すなわち、図 3 のような配置を禁止した場合のシミュレーション結果を示した。車が自由に移動できる密度領域は禁止ルールを導入する以前の約 10 倍に拡大している。このことから、2 次元正方格子上の双方向交通流においてはランダムな方向転換によっては必ずしも 2 方向交通流の場合のように交通渋滞は緩和されず、渋滞の核となる車の配置を避けるような時間発展ルールが重要な役割を果たすと予想される。また、図 5 からわかることは、方向転換率 γ に対する転移密度の依存性が一様ではなく、渋滞を緩和するための最適な方向転換率が存在することを示唆している。

5 まとめ

2 次元正方格子上の双方向交通流モデルについて、セルオートマトンを用いたモデルにたいしてシミュレーションを行ない、方向転換率の導入は車の自由な流通を妨げ、むしろ、渋滞を招くという結果を得た。これは、方向転換を導

入することにより、ある程度の渋滞の緩和がえられた 2 方向モデルとの顕著な違いである。また、車の進行方向を東西南北の双方向にすることによって現われた交通渋滞の核となる配置を禁止するような時間発展ルールを導入する事により、大幅な渋滞の緩和を得た。本研究では、交差点間の距離、すなわち副格子点の存在しない場合を調べた。したがって、ここに述べたような時間発展ルールを導入した禁止ルールが交通渋滞を大幅に緩和するという結果は、副格子点の存在しない場合のみ成り立つ特殊な事情による可能性も否定できない。副格子点の効果や信号のタイミングなどによる渋滞の発生にたいする影響も今後に残された興味深い問題であると考えられる。

参考文献

- [1] O. Biham, A. A. Middleton and D. Levine, Phys. Rev. A **46**, R6124 (1992).
- [2] J. A. Cuesta, F. C. Martínez, J. M. Molera and A. Sánchez, Phys. Rev. E **48**, R4175 (1993).
- [3] J. M. Molera, F. C. Martínez, J. A. Cuesta and R. Brito, Phys. Rev. E **51**, 175 (1995).
- [4] T. Horiguchi and T. Sakakibara, Physica A **252**, 388 (1998).
- [5] T. Horiguchi and T. Sakakibara, Interdisciplinary Information Sciences, **4**, 39 (1998).