

3レーン ASEP モデルのシミュレーション

石川千佐子 (指導教員：吉田裕亮)

1 はじめに

車を運転しているとき、歩いているとき、混雑してイライラした経験は誰しもあることだろう。しかし、道路をできるだけ効率よく車が走れば、渋滞は解消されるのではないかと考えられる。

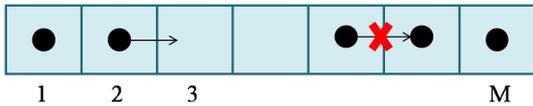
そこで、本研究ではもっとも単純な交通流モデルとして知られている「ASEP モデル」のシミュレーションを行うことにした。先行研究では、ASEP モデルを2レーンに拡張してシミュレーションをおこなっていたが、本研究ではさらに拡張し、3レーンでの ASEP モデルのシミュレーションを行う。

2 ASEP モデル

2.1 ASEP モデルとは

下図の状態の場合、すべての人がどのような状態でも右に1歩進むことはできるはずだが、実際には自分の進むべき場所に人がいるとそこが空くまでは進めない。歩行だけでなく、車の運転でもそうである。つまり、前方に空きがないと進めない、という心理的な傾向がある。

このとき、人や車の集団はどのような動きを見せるであろうか。このようなモデルは、ASEP(Asymmetrical Simple Exclusion Process, 非対称単純排除) モデルと呼ばれていて、現在の渋滞学の中心的役割を担っている。



2.2 ASEP モデルの動き

本研究では、以下の条件を課することにする。

1. 左から右への一方通行のみのモデル。
これを TASEP(Totally ASEP) という。
2. ひとつの要素に対してひとつの粒子しか入れない。
3. 右隣の要素にすでに粒子が入っているとは動けない。
4. 右隣が空だった場合、確率 t で隣の要素に移動。
本研究では 1.0 とする。
5. 左端が空だった場合、確率 α で粒子が入る。
本研究では 0.1 とする。
6. 右端が空だった場合、確率 β で粒子が出る。
本研究では 0.5 とする。
7. 1回のステップでは、1つ隣の要素にしか動けない。

3 提案モデル

3.1 3レーン ASEP モデル

ここでは上の、ASEP モデルを3レーンに拡張したモデルを考える。これにより、走行車線、追い越し車線

の想定するモデルが可能となり、実際の道路に応用できると考えられる。

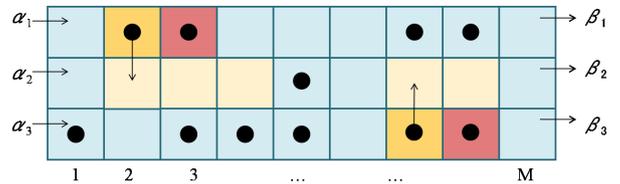
下図において、上段を第1レーン、中段を第2レーン、下段を第3レーンとする。本研究では、次のような条件で車線変更をおこなうこととする。

走行車線から追い越し車線へ車線変更

自分の前に粒子があり、自分の右隣とその前2つが空いている \Rightarrow 確率 $p_{(1\rightarrow 2)}$, $p_{(2\rightarrow 3)}$ で1つ右の車線に車線変更

追い越し車線から走行車線へ車線変更

自分の前に粒子があり、自分の右隣とその前が空いている \Rightarrow 確率 $p_{(2\rightarrow 1)}$, $p_{(3\rightarrow 2)}$ で1つ左の車線に車線変更



3.2 提案モデルのシミュレーション手順

初期条件

N_1, N_2, N_3 :

第1レーン, 第2レーン, 第3レーンの最初の粒子の出現確率. 本研究では 0.01 とする。

ここでは、要素数 10000, 総ステップ数 20000 で計算する。また、1~1000番目の要素を観測対象とし、以下のように定義する。

流量 Q :

左から500番目の要素を100ステップの間に通過させた粒子の数

密度 ρ :

100ステップごとに、要素1~1000で粒子が留まった数

ただし、1ステップとは、要素をランダムに10000回選択し、選択された要素を確率規則に従って、移動させるものとする。この時、ランダムに選択する際の重複は許すものとする。

4 実験

レーン i からレーン j へ移動する確率を $p_{(i\rightarrow j)}$ とし、以下のように定義する。

$$\begin{aligned} p_{(1\rightarrow 2)} &= 0.2, p_{(2\rightarrow 3)} = 0.8 \\ p_{(2\rightarrow 1)} &= 0.8, p_{(3\rightarrow 2)} = 0.8 \end{aligned}$$

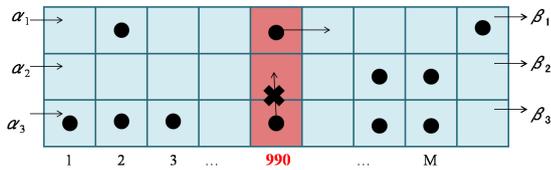
実験 1

3.1 で提案したモデルを用いて実験を行う。

実験 2

実験 1 で用いたモデルを拡張し、左から 990 番目の要素を関所とする。

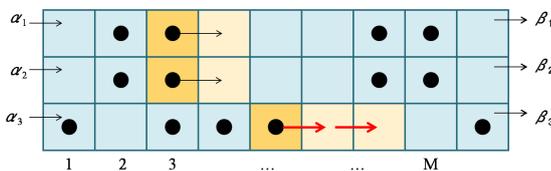
関所では、車線変更は不可。1 つ前が空いているときに、確率 0.05 で 1 つ前へ進む。



実験 3

実験 1 で用いたモデルを拡張。

レーン 3 では、自分の前が 2 つ空いている場合は、確率 $t = 1.0$ で前に 2 つ進む。前が 1 つしか空いていない場合でも、確率 $t = 1.0$ で前に 1 つ進む。



実験 4

実験 3 で用いたモデルに、実験 2 と同様に関所を設置。

5 実験結果

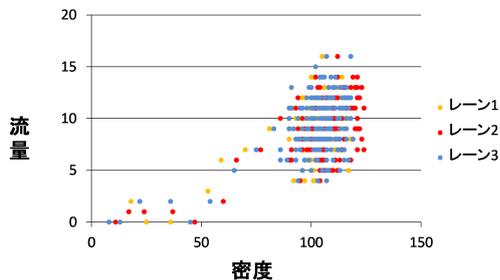


図 1: 実験 1 における流量と密度の散布図

実験 1 では順調に密度・流量ともに増加し、最終的には密度・流量共に定常となった。実験 1 では渋滞は発生せず、スムーズに流れていることが分かる。

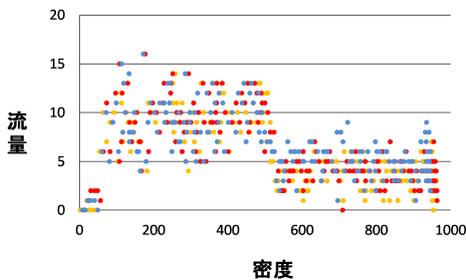


図 2: 実験 2 における流量と密度の散布図

実験 2 では、最初は流量は順調に増加しているが、時間が経つにつれ密度は 1000 に近づき、時刻 80 頃から流量が下がっていく。渋滞が起きていると考えられる。

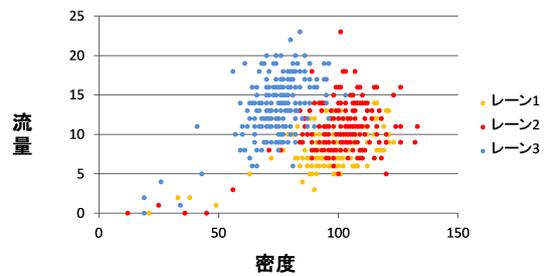


図 3: 実験 3 における流量と密度の散布図

実験 3 では、レーン 3 はレーン 1, 2 と比べ、流量は大きく密度は小さくなっている。このことから、レーン 3 はレーン 1, 2 と比べ速く流れていることがわかる。

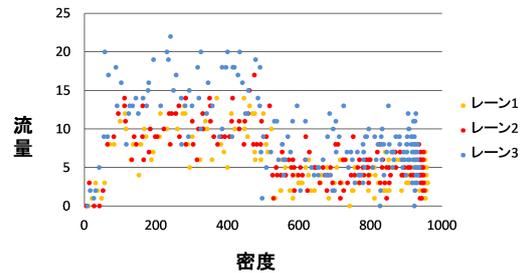


図 4: 実験 4 における流量と密度の散布図

実験 4 では、最初は流量は順調に増加しているが、時間が経つにつれ密度は 1000 に近づき、時刻 60 頃から流量が下がっていく。これは渋滞が発生しているためと考えられる。

また、レーン 3 はレーン 1, 2 と比べ、流量は大きく密度は小さくなっている。このことから、レーン 3 はレーン 1, 2 と比べ速く流れていることがわかる。

6 考察

関所を設定し流れを止めると、当然であるが渋滞が発生することが再現された。シミュレーションにおいて渋滞が発生していることは、流量と密度の散布図から読み取ることが可能である。

また、実験 2 でも実験 4 でも渋滞が発生したが、実験 2 よりも実験 4 のほうが 3 レーン全てで早い時間に渋滞が始まった。実験 4 では実験 2 と比べ、効率よく車が進んだためと考えられる。よって、追い越し車線の速度が大きくなることにより、高速道路はスムーズに流れると考えられる。

7 今後の課題

様々なパラメータで実験を行い、今回の実験との比較・検討をおこなってきたい。実際の 3 車線の高速道路で渋滞が発生する時の状況をシミュレーションし、渋滞を回避し効率よく車が進む方法を考えたい。

参考文献

- [1] 西成, 活裕, 渋滞学, 新潮選書 (2006)
- [2] 市川, 史織, 2 レーン ASEP モデルのシミュレーション (2012)