

信号機を置いたASEPモデルにおける 渋滞について

中央大学 理工学部 物理学科 香取研究室
村田 暢彦

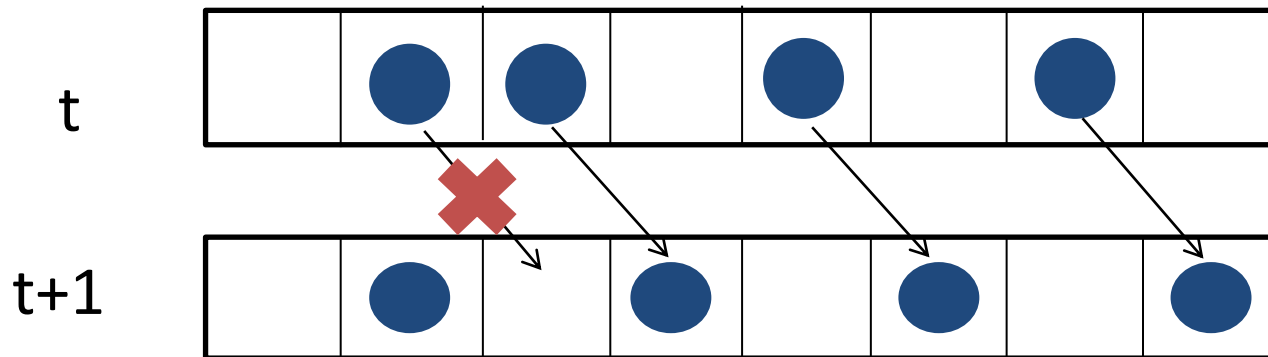
・目次

1. TASEPとは
2. 一般道路の渋滞
3. 結果(時空図)
4. 流量と密度の関係
5. 速度と密度の関係
6. まとめ

1. TASEPとは

人や車などの集まりである「自己駆動粒子系」とその渋滞を考える上で、性質の良い理論モデルの一つである。

日本語では完全非対称単純排除過程(Totally Asymmetric Simple Exclusion Process)といい、英語の頭文字をとって**TASEP**と呼ぶ。



TASEPでの玉の動き。前の箱が空いてない場合は次の時刻で動けない。

2. 一般道路の渋滞

都市部では信号のない部分は長く続かず、信号が数多く設置されている。十分な交通容量があっても、その次の信号によってその道路の交通容量は変化する。

信号の管轄は警察であり、信号機の赤や青のタイミングはここで決められている。

そこで、信号機で止まっている時間の変化によって交通の流れがどのように違うのかを調べた。

信号機が赤の時間を T_0 、青の時間を T_1 として

① $T_0 \approx T_1$

② $T_0 \gg T_1$

③ $T_0 \ll T_1$

この三つの状態を調べてみる。

共通の条件として

信号機を50番目のサイトに設置

ホップ確率 0.5

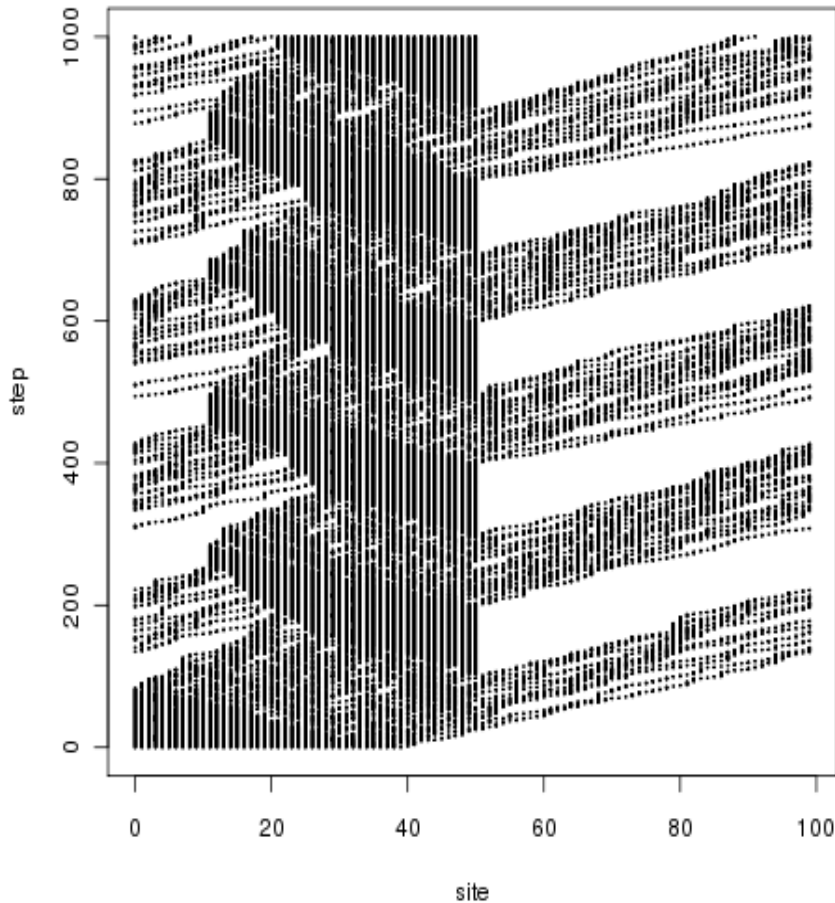
サイト数 100

粒子数 40(左詰め)

ステップ数 1000

としてシミュレーションを行った。

① $T_0 \approx T_1$ の時空図



T_0 を

100~200

300~400

500~600

700~800

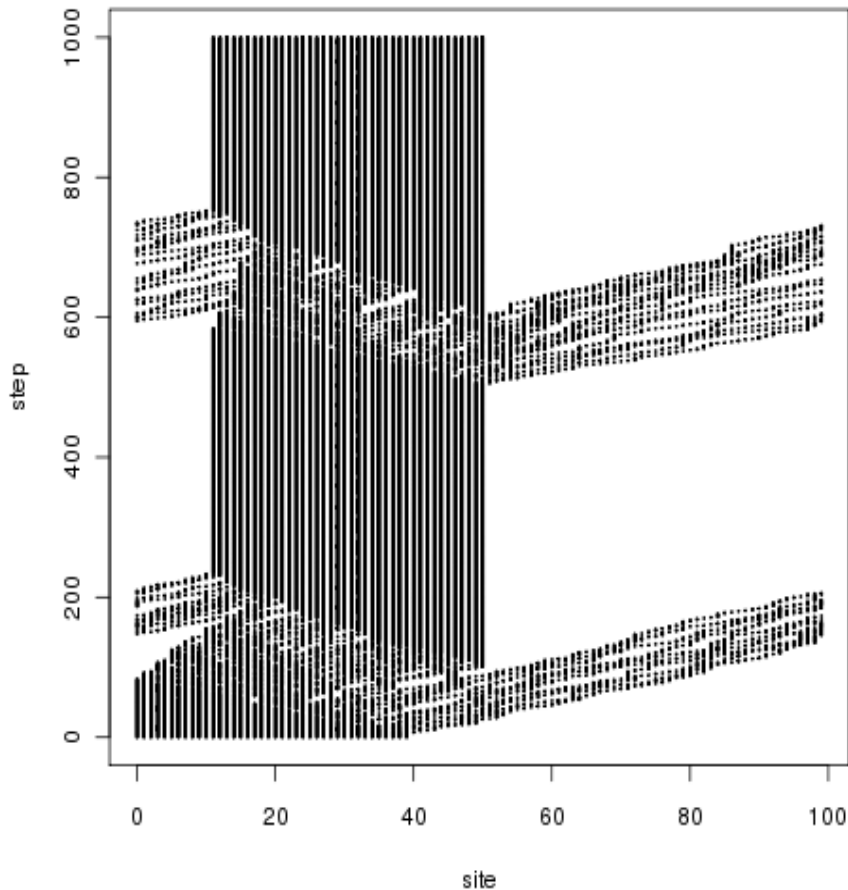
900~1000

の場合にした時空間図である。

渋滞が等間隔に起こっていることがわかる。

信号が青になる直前のクラスターの大きさは平均 29.6 サイト分となった。

② $T_0 \gg T_1$ の時空図



T_0 を

100~500

600~1000

の場合にした時空間図である。

止まっている時間が長いので渋滞が大きいことがわかる。

信号が青になる直前のクラスタの大きさは平均39サイト分となった。

③ $T_0 \ll T_1$ の時空図

T_0 を

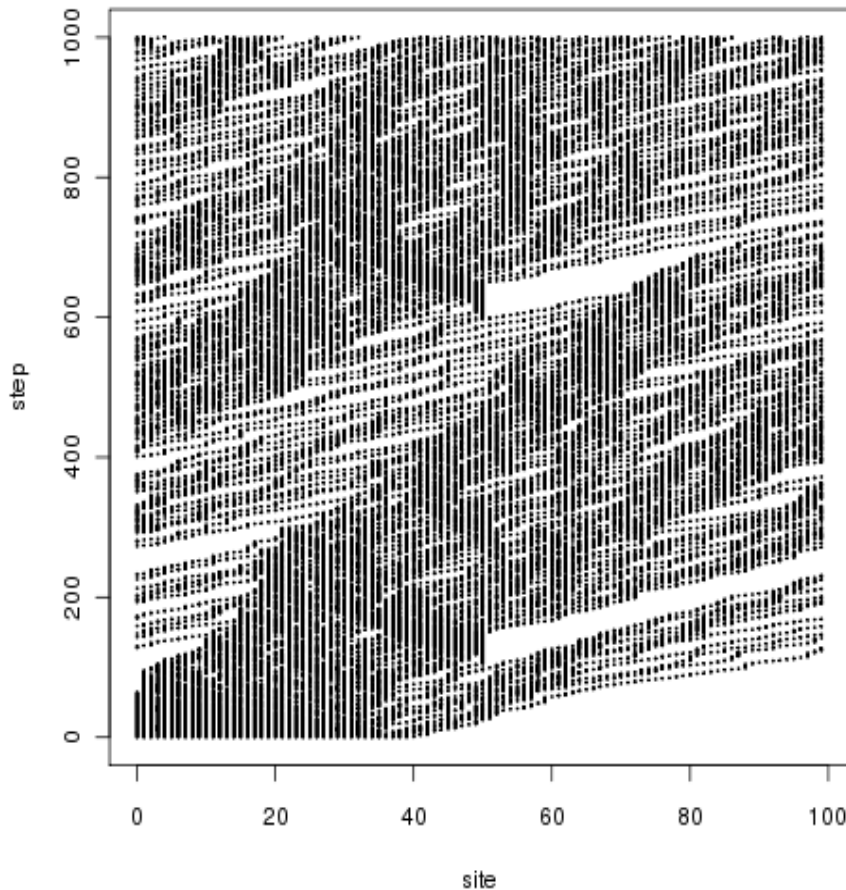
100~150

600~650

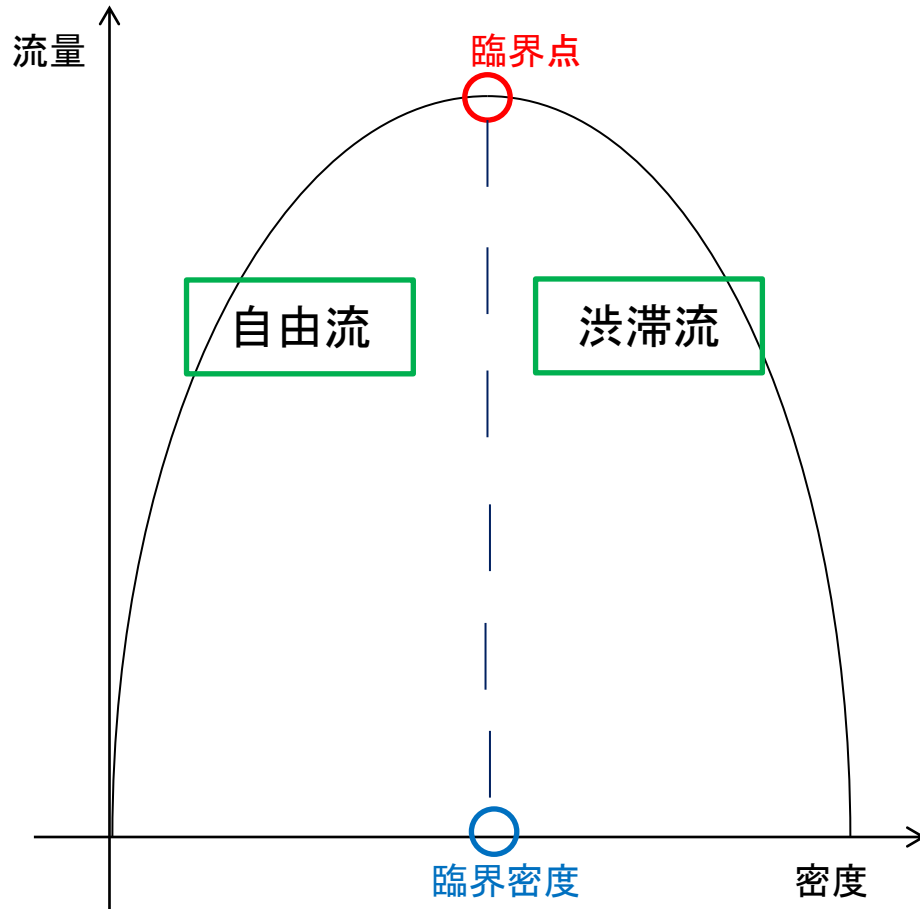
の場合にした時空間図である。

止まっている時間が短いので
渋滞はほぼ無く、車がよく走っ
ているのがわかる。

信号が青になる直前のクラス
ターの大きさは平均12サイト分
となった。



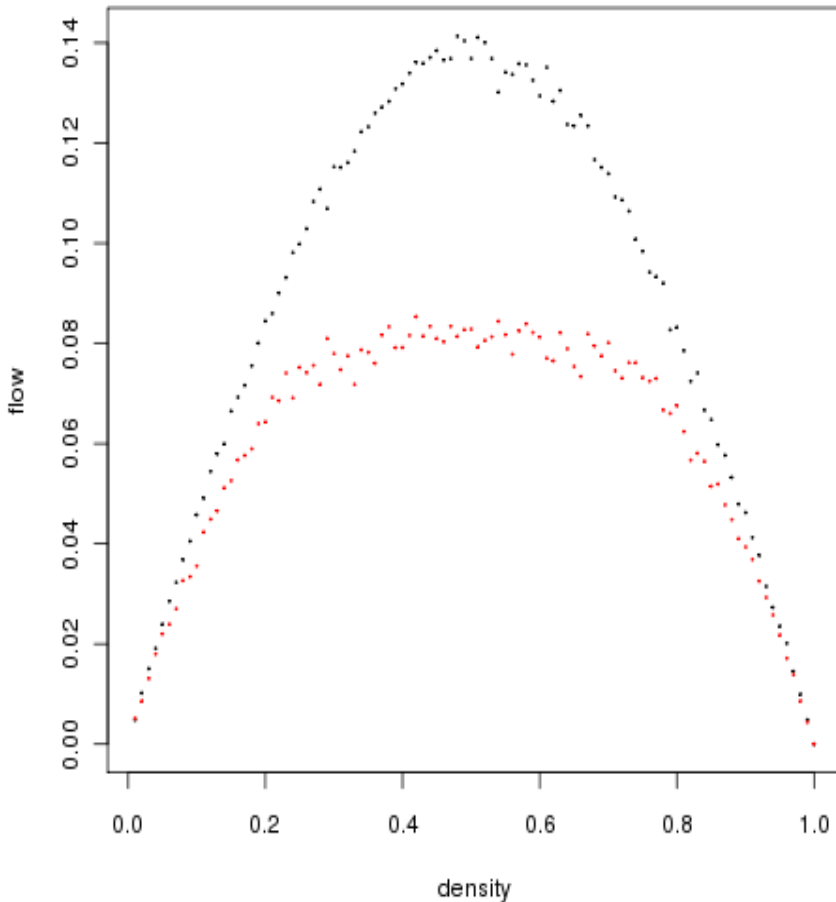
・流量と密度の関係



渋滞が発生するまでの流量が少ない間(自由流)は、流量の増加とともに密度も増加する。

やがて流量が道路の容量に達すると渋滞が発生する。この最大の流量を与える点を**臨界点**と呼び、このときの密度を**臨界密度**という。

① $T_0 \approx T_1$ の流量と密度



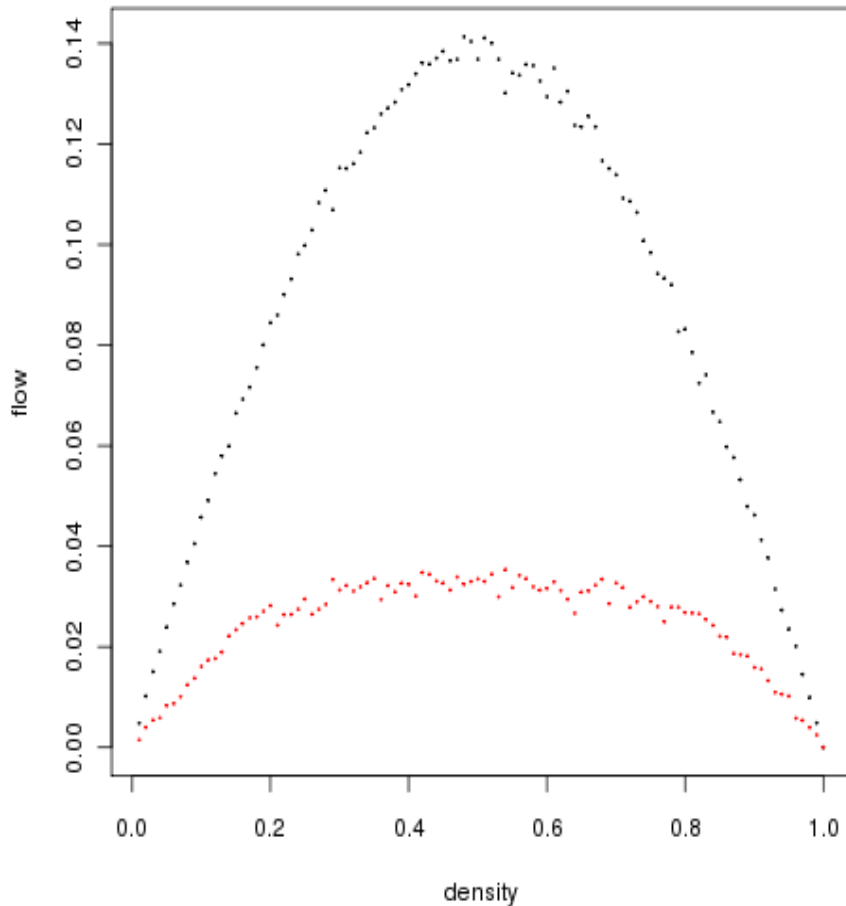
このような台形型は流れを妨げるようなものがあるときには必ず現れ、「**ボトルネック型**」と呼ばれる。

臨界点 0.088120

臨界密度 0.47

黒点・・・何もない道路でのシミュレーション
赤点・・・シミュレーション

② $T_0 \gg T_1$ の流量と密度



$T_0 \approx T_1$ のときと同様にメタ安定部分が削り取られ、「ボトルネック型」になっている。

止まっている時間が長いと流量はとても少なくなる。

臨界点 0.036300

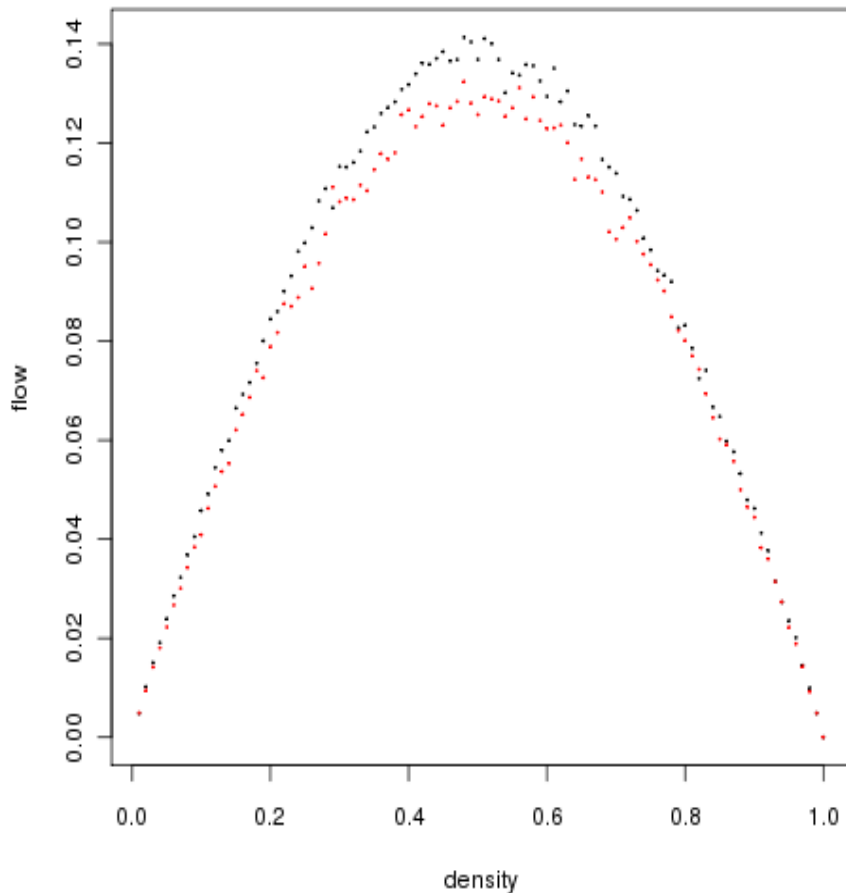
臨界密度 0.46

黒点・・・何もない道路でのシミュレーション

赤点・・・シミュレーション

③ $T_0 \ll T_1$ の流量と密度

止まっている時間が少ないと、厳密解と同じようなグラフを描いていることがわかる。



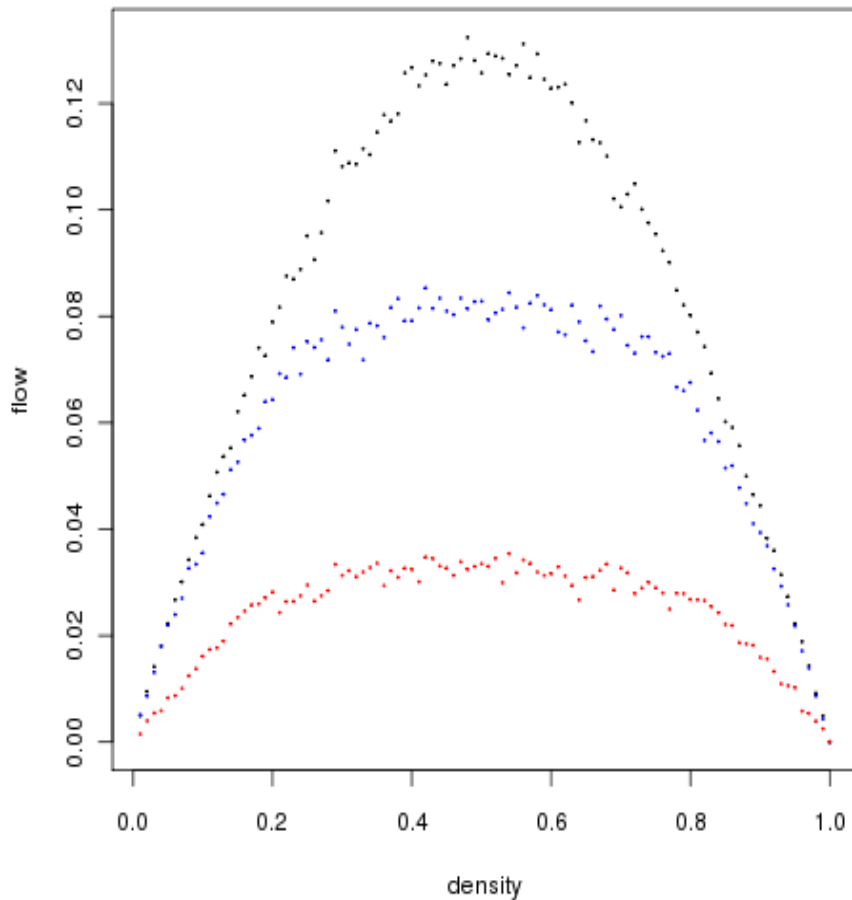
臨界点 0.132400

臨界密度 0.48

黒点・・・何もない道路でのシミュレーション

赤点・・・シミュレーション

比較1(流量と密度)

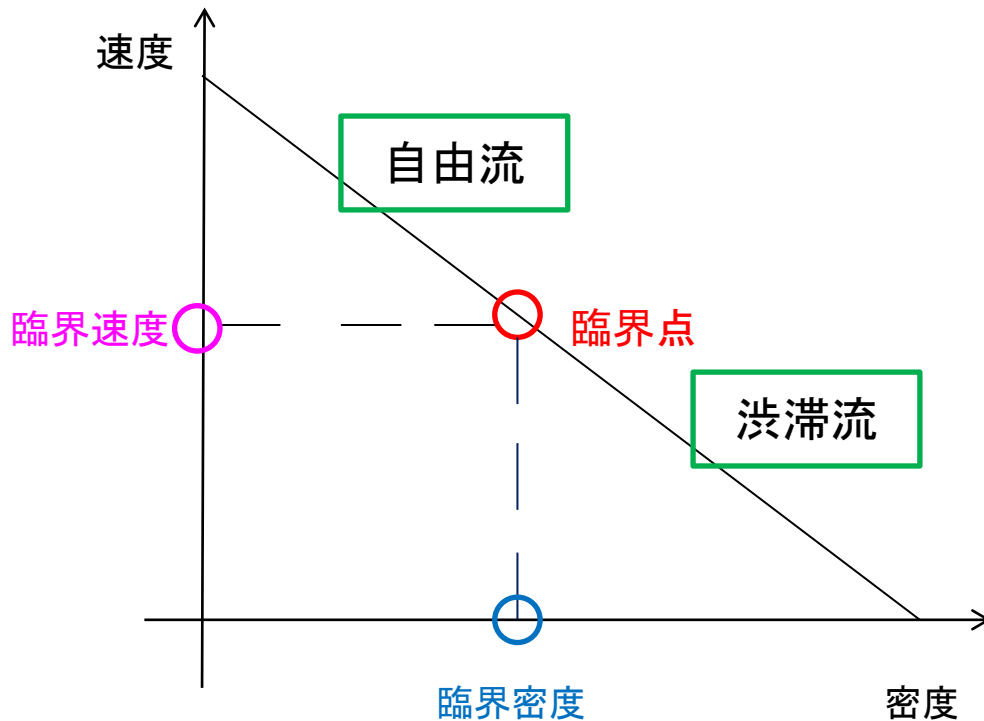


それぞれの臨界点は
 $T_0 \ll T_1$ 0.132400
 $T_0 \approx T_1$ 0.088120
 $T_0 \gg T_1$ 0.036300
となった。

止まっている時間が長くなれば流量は低くなっている。

黒点 $\cdots T_0 \ll T_1$ 、赤点 $\cdots T_0 \gg T_1$ 、青点 $\cdots T_0 \approx T_1$

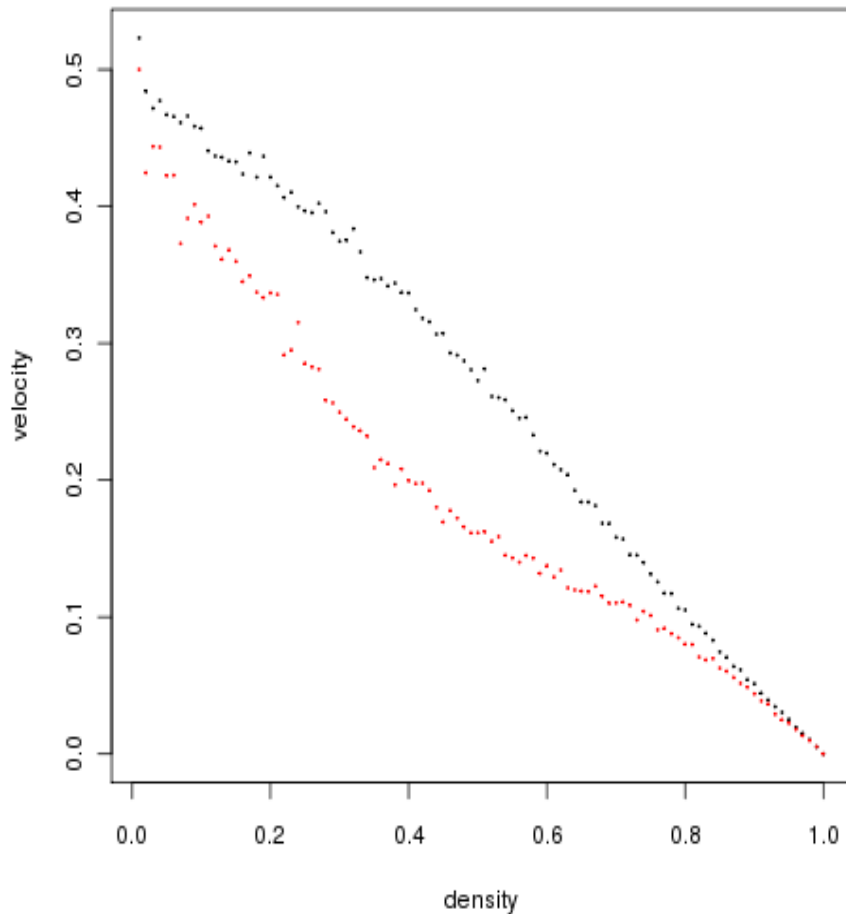
速度と密度の関係



速度が高いときには密度は小さく、密度が大きくなるにつれ速度は低下する。

臨界点での密度を臨界密度、速度を臨界速度という。

① $T_0 \approx T_1$ の速度と密度

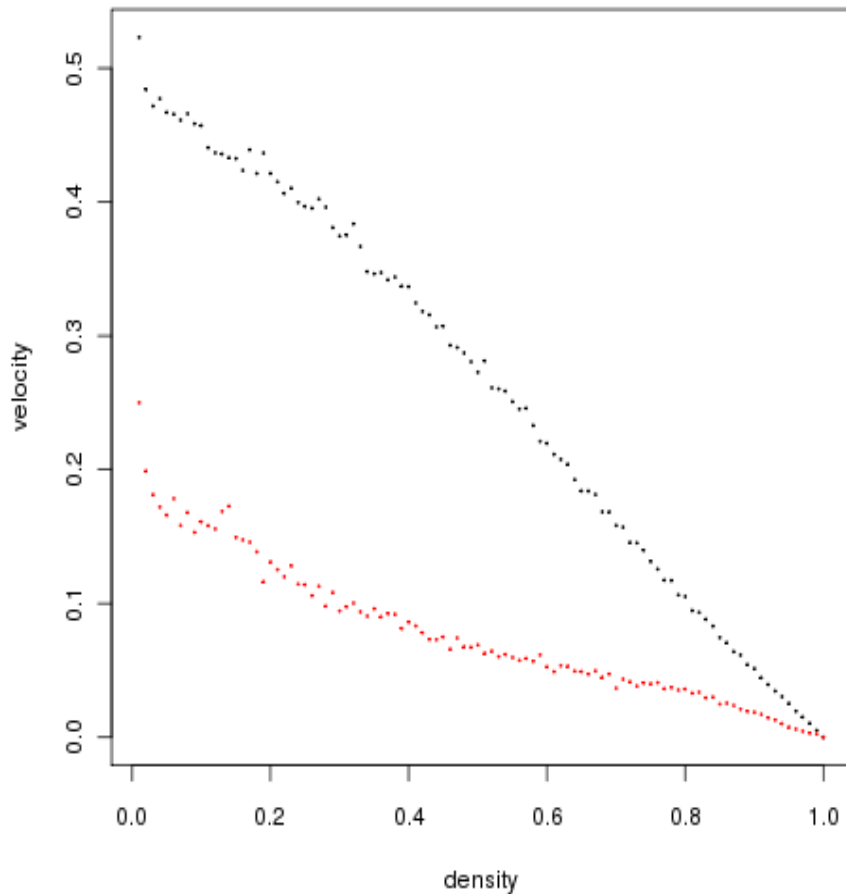


厳密解に比べて、密度が増えると速度が大きく減少していることがわかる。

臨界速度 0.172213

黒点・・・何もない道路でのシミュレーション
赤点・・・シミュレーション

② $T_0 \gg T_1$ の速度と密度



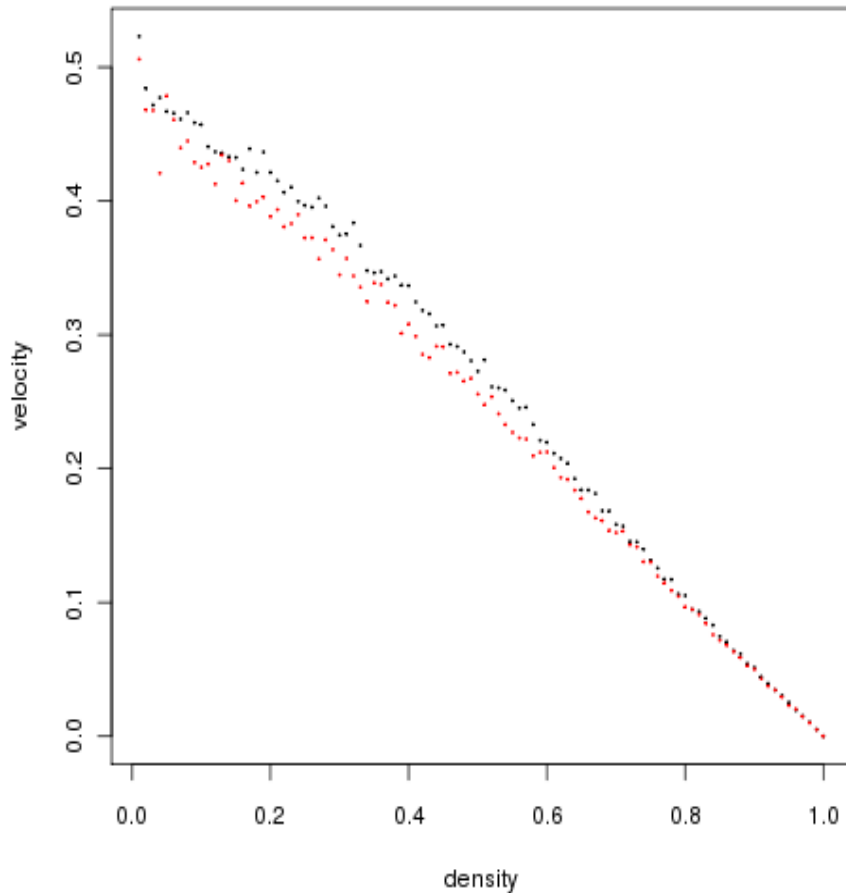
速度の最大値がとても低く、全体的にも低い値をとっている。

臨界速度 0.065870

黒点・・・何もない道路でのシミュレーション

赤点・・・シミュレーション

③ $T_0 \ll T_1$ の速度と密度

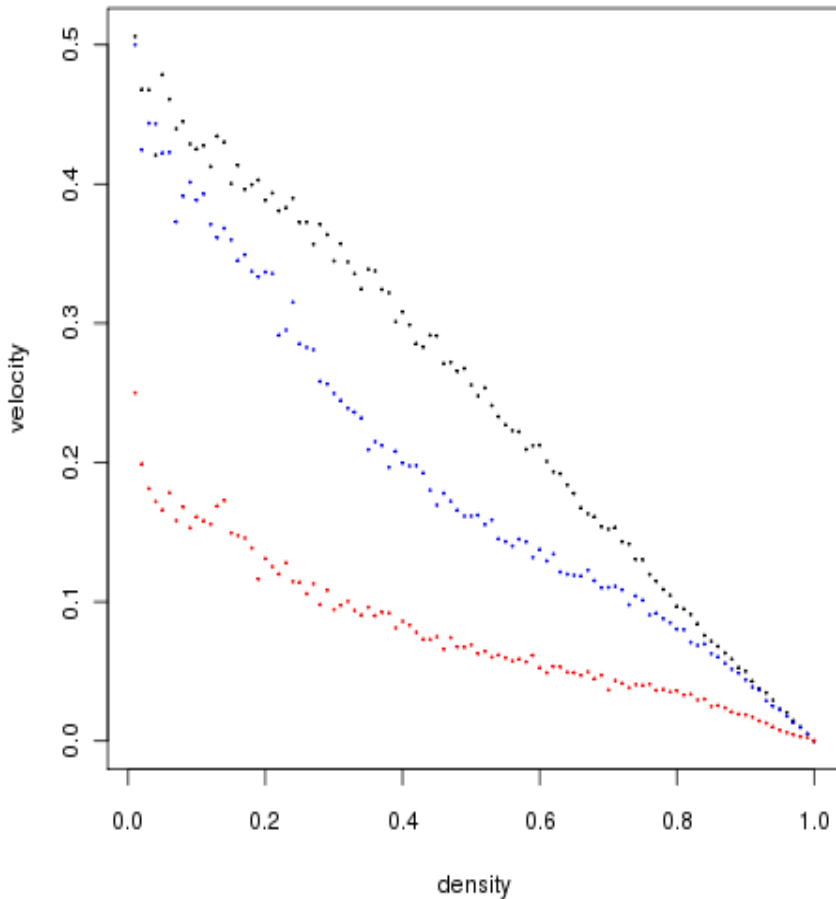


厳密解と同じようなグラフになったので、信号で止まっている時間が少ないと、渋滞による影響はほぼないことがわかる。

臨界速度 0.265479

黒点・・・何もない道路でのシミュレーション
赤点・・・シミュレーション

比較2(速度と密度)



それぞれの臨界速度は

$$T_0 \ll T_1 \quad 0.265479$$

$$T_0 \approx T_1 \quad 0.197762$$

$$T_0 \gg T_1 \quad 0.061815$$

となった。

臨界速度が低い $T_0 \gg T_1$ の状態が早く渋滞が起きやすいといえる。

黒点・・・ $T_0 \ll T_1$ 、赤点・・・ $T_0 \gg T_1$ 、青点・・・ $T_0 \approx T_1$

・まとめ

信号機によって止まっている時間が長い



クラスターが大きくなる
臨界点が低くなる



渋滞が起きやすい

止まっている時間が長くても、臨界密度はほとんど変わらない



流量の最大値がボトルネックにより抑えられ高い流量の部分が
なくなって小さくなっている

信号での渋滞を減らすには??

1. 青信号の時間を長くする
2. 他の信号機を効率よく制御する → スルーバンド

「今後の課題」

- さらにステップ数を増やすことによって精度を高める。
- 今回のシミュレーションでは黄色信号を考えなかったもので、それを含んだプログラムを作ればより現実的になる。