

# 格子気体交差流における渋滞の準安定性

三枝 達彦、益子 岳史、長谷 隆  
静岡大学工学部機械工学科

## 概要

チャンネル内での粒子群の交差流に関するモデリングとシミュレーションを行う。格子気体モデルを変形した多粒子バイアスランダムウォークモデルを用いて、転移点近くで発生する渋滞の特徴と準安定性について研究を行う。渋滞パターンの時間変化と粒子数時系列との関連を調べる。

## Metastability in crossing flow of lattice gas

Tatsuhiko Saegusa, Takashi Mashiko, Takashi Nagatani  
Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

## Abstract

We present the model and simulation for the counter flow of particles in the channel. We study the characteristics of the jam that occurs in a high density and the metastability in crossing flow by using the biased-random walk model. We study the time evolution of the flow pattern and the time series of the number of particles.

### 1. 緒言

近年、通勤ラッシュや交通渋滞問題について多くの関心が持たれ、最近では歩行者や群集の挙動を数値シミュレーションする研究も行われている。交通流の追従モデルによるシミュレーションでは、渋滞へ遷移する直前に準安定状態が現れることが知られている。しかしそのような準安定現象は格子気体モデルを用いた歩行者流の研究ではほとんど知られていない。

本研究ではチャンネル内における粒子群の交差流に関するモデリングとシミュレーションによって、交差流における渋滞の特徴と準安定性についての研究を行う。また、多孔質体やブラウン運動を行う粒子群を通路に設置した際の、一方向流れに関する研究も行い、それらとの比較をする。

### 2. 拡張格子気体モデル

本研究では格子気体モデルを変形した多粒子バイアスランダムウォークモデルを用いる。粒子は前方、左右およびバックステップを考慮した、前後左右の4方向に移動することが可能とする。ただし出口に向かって優先的に移動するように、前方にドリフトを与えることとする(ドリフト係数  $D$  とする)。また、交差流とするために、ドリフトの方向を90度回転させた粒子を導入する。

### 3. シミュレーション方法

まず、図1のような長さ  $L$  ( $=200$  sites)、幅  $W$  ( $=40$  sites)のチャンネル内に、黒い四角で示した東に進む粒子を密度  $\rho_x$  で、灰色の四角で示した

北に進む粒子を密度  $\rho_y$  で配置し、移動規則に従って出口方向にそれぞれ移動させる。粒子がチャンネル出口まで到達した場合は入り口に再配置し、東に進む粒子は a と b の点線で、北に進む粒子は c と d の点線で反射する。これをある一定時間に到達するまでシミュレーションを繰り返し、平均速度・流量等を求めることとする。さらに図 2(a), 図 2 (b) のような長さ  $L (=200 \text{ sites})$ , 幅  $W (=40 \text{ sites})$  のチャンネル内に、黒い四角で示した東に進む粒子を密度  $\rho_x$  で、灰色の四角で示した静止粒子あるいはブラウン運動粒子を密度  $\rho_s$  あるいは密度  $\rho_y$  で配置し、同様のシミュレーションを行う。

#### 4. シミュレーション結果

上で定義したモデルを使って得られた数値シミュレーション結果を以下に示す。

##### 4.1. 交差点を含む通路における格子気体流

まず図 1 の通路を用いたシミュレーションを行った。東に進む粒子群の平均速度を、単位タイムステップ当たりの（前方に進んだ粒子数－後方に戻った粒子数）/全粒子数、東に進む粒子群の流量を、単位タイムステップ当たりの（前方に進んだ構成粒子数－後方に戻った構成粒子数）/通路面積（ $L \times W$ ）と定義する。このとき得られた平均速度を密度  $\rho_x$  に対してプロットすると、低密度域では粒子がスムーズに流れるために高い値を取る。その後平均速度はなだらかに減少し、転移点密度において渋滞が発生し始め平均速度は密度の増加に伴って減少していく。また、密度  $\rho_x$  を 0～0.80 まで 0.01 ずつ変化させた場合の東に進む粒子群の流量を計算しプロットしたものを図 3 に示す。それぞれ  $\rho_y = 0.02, 0.06, 0.1, 0.2$  での結果である。低密度域において流量は密度の増加とともに上昇し、転移点密度において急激に減少後、飽和状態に達することがわかる。低密度域では東に進む粒子は自由に流れており、飽和状態では流

れが妨げられ、渋滞が発生している。しかし流量が急激に減少する転移点密度付近では、交差点内において小さな渋滞が発生と消滅を繰り返すことがわかった。

次に流量が最大値となる  $\rho_x = 0.16, \rho_y = 0.1$  のときの、東側の通路（ $120 < x \leq 200$ ）に存在する粒子の個数を時間に対してプロットしたものを図 4 に示す。粒子個数は時間とともに大きく不規則的に変動しており、これは交差点内の渋滞の準安定性に依っているものと考えられる。さらにこの粒子個数の RMS 値をとり、 $\rho_x$  に対してプロットしたものが図 5 である。それぞれ  $\rho_y = 0.1, 0.2$  のときの結果を示している。 $\rho_y = 0.1$  のとき、RMS 値は転移点密度付近で突出した値をとるが、 $\rho_y = 0.2$  のときは突出した値は見られない。図 4 と比較すると、流量が急激に減少する密度において RMS 値は上昇し、渋滞が準安定状態になっていると言える。

##### 4.2. 静止粒子群を設置した通路における格子気体流

次に図 2(a) のように  $80 < x \leq 120$  の範囲に静止粒子をランダムに配置した通路を用いたシミュレーションを行った。図 6 に密度  $\rho_x$  を 0～0.80 まで 0.01 ずつ変化させた場合の東に進む粒子群の流量を計算しプロットしたものを示す。それぞれ  $\rho_s = 0.1, 0.2, 0.3$  での結果である。低密度域において流量は密度の増加とともに上昇し、中密度域で飽和状態となる。渋滞転移にともなって流量が急激に減少することはなく、RMS 値も突出した値をとることはない。よって、このような歩行者流では準安定状態の渋滞は発生しないと言える。

##### 4.3. ブラウン運動粒子群を設置した通路における格子気体流

次に図 2(b) のように  $80 < x \leq 120$  の範囲にブラウン運動をする粒子をランダムに配置した通

路を用いたシミュレーションを行った。密度  $\rho_x$  を 0~0.80 まで 0.01 ずつ変化させた場合の東に進む粒子群の流量を計算しプロットしたものを図 7 に示す。それぞれ  $\rho_y=0.1, 0.2, 0.3$  の結果である。低密度域において流量は密度の増加とともに上昇し、転移点密度において急激に減少後、飽和状態に達する。次に  $\rho_y=0.2$  のとき、東側の通路 ( $120 < x \leq 200$ ) に存在する粒子の個数の RMS 値を  $\rho_x$  に対してプロットしたものを図 8 に示す。RMS 値は転移点密度付近で突出した値をとり、このとき渋滞は準安定状態になっていると考えられる。図 9 に RMS 値が突出する密度、すなわち  $\rho_x=0.13, \rho_y=0.2$  におけるパターンの時

間変化を示す。黒い点は東に進む粒子、灰色の点はブラウン運動粒子を表している。渋滞クラスタは時間と共に生成と消滅を繰り返し、準安定状態となっていることがわかる。

### 5. 結言

格子気体交差流のシミュレーションを行い、以下の結論を得た。

- ・周期境界条件下の格子気体交差流では、流量が急激に減少する密度が存在し、その付近では準安定性をもつ渋滞が発生することがわかった。
- ・静止粒子群のある通路における一方向流れでは渋滞の準安定性は見られないが、ブラウン運動する粒子のある通路では準安定性をもつ渋滞が発生しうることを明らかにした。

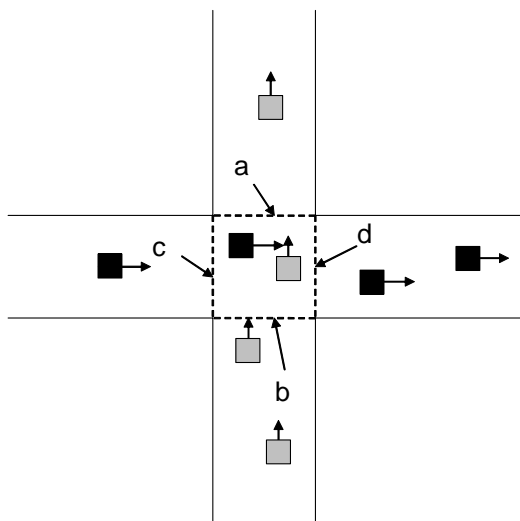


Fig.1

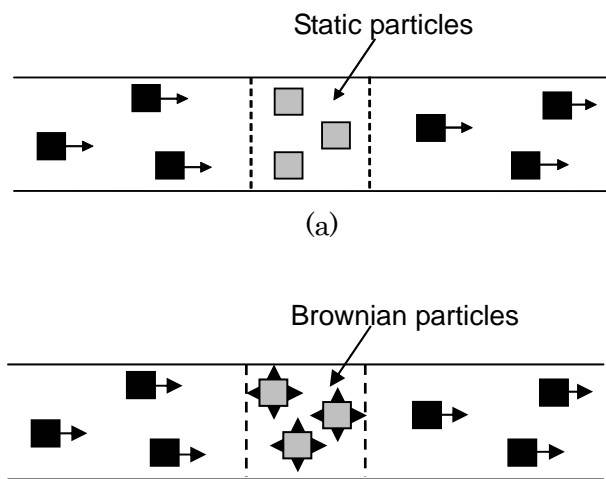


Fig.2

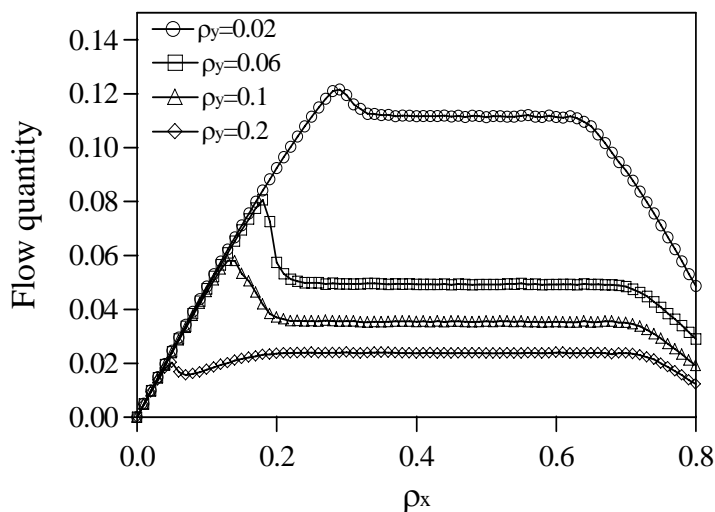


Fig.3

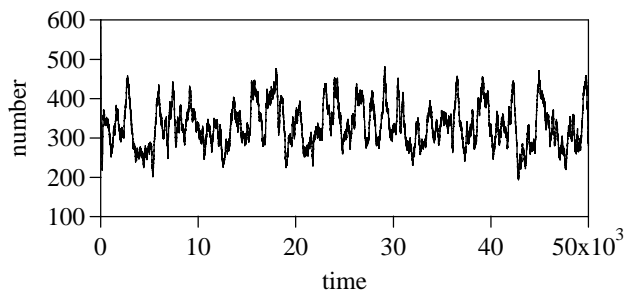


Fig.4

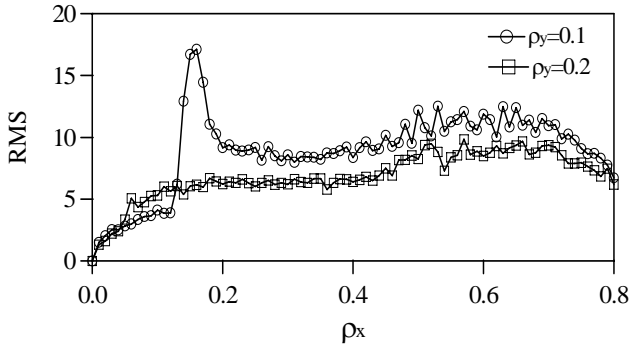


Fig.5

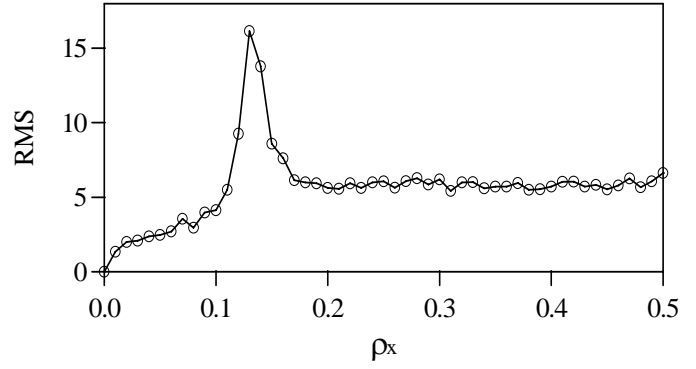


Fig.8

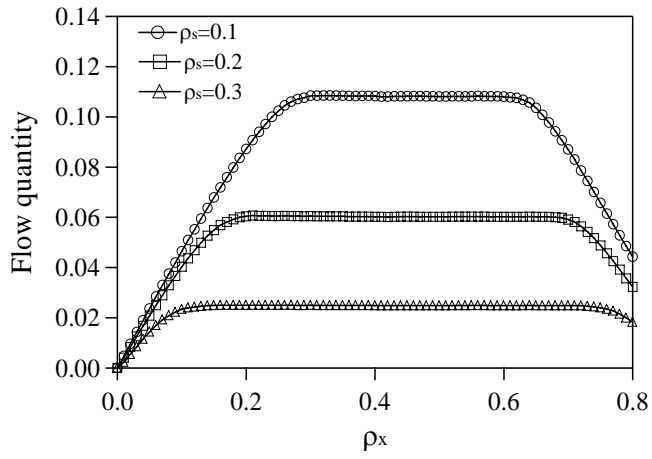


Fig.6

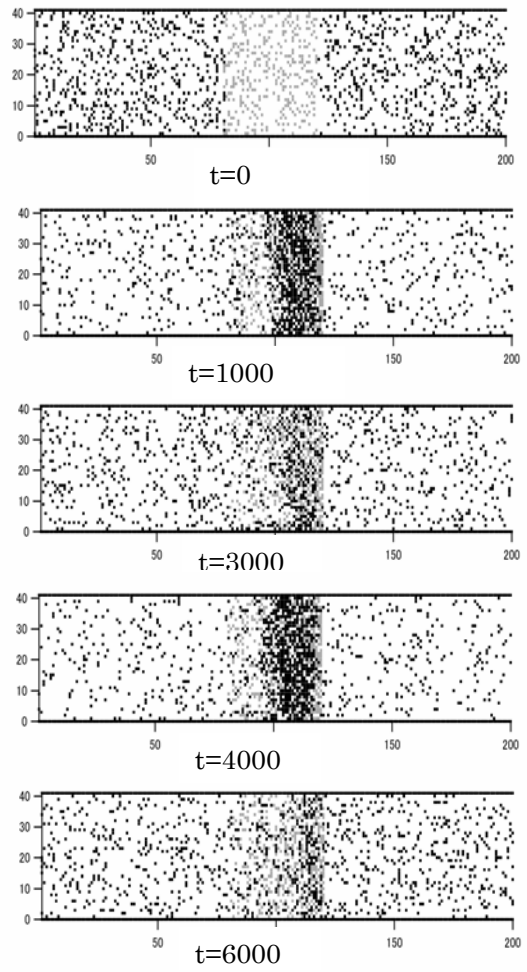


Fig.9

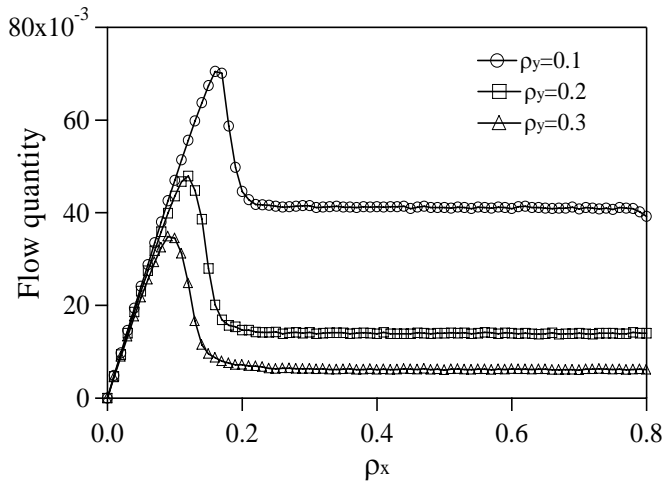


Fig.7