

# 細長粒子群対向流における渋滞発生と崩壊

三枝達彦、長谷 隆、伊藤 悟  
静岡大学工学部機械工学科

## 概要

チャンネル内での細長粒子群の対向流に関するモデリングとシミュレーションを行う。細長粒子を数サイトで構成した多粒子バイアスランダムウォークモデルを用いる。高密度で発生する渋滞の発生と崩壊について研究を行う。渋滞のパターンの時間変化と粒子速度の時系列との関連を調べる。

## Occurrence and disappearance of jam in counter flow of slender particles

Tatsuhiko Saegusa, Takashi Nagatani, Satoru Ito  
Department of Mechanical Engineering, Shizuoka University

## Abstract

We present the modeling and simulation for the counter flow of slender particles in the channel. We use the biased-random walk model in which a particle is constituted by a few sites. We study the occurrence and disappearance of a jam by varying the density of slender particles. The time series of the velocity is connected to the variation of a jam pattern.

### 1. 緒言

交通流は連続体モデルと微視的(粒子)モデルによって研究が進められており、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。通勤ラッシュや交通渋滞問題についても多くの関心が持たれている。同様にロボットやフォークリフト等の移動機械群に関する渋滞の回避が重要な問題となっている。このような移動体同士の混雑の回避は通路形状や建造物設計の最適化においても必要不可欠な問題である。

本研究ではこのような移動機械群を細長い物体として一般化し、チャンネル内での細長粒子群の対向流に関するモデリングとシミュレーションを行う。高密度での細長粒子群の渋滞の発生と

崩壊について研究を行う。渋滞崩壊に伴う速度の時系列と渋滞パターンとの関連を調べる。

### 2. 細長粒子モデル

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。図1に細長粒子のモデルを示す。細長い粒子をシミュレーションで再現するために2~4サイトで1粒子であると定義し、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。ただし左右の移動は平行移動とし、さらに出口に向かって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、対向流とするためにこれと反対向きの粒子も定義するが、これは条件によっ

て長さを 1 サイトから 4 サイトまで変化させることとする。

### 3. シミュレーション方法

まず、図 2 のような長さ  $L$  ( $=300$  sites)、幅  $W$  ( $=50$  sites) のチャンネル内に、初期配置として右に進む細長粒子 (4 sites) をチャンネルの左半分、左に進む細長粒子をチャンネルの右半分に配置し、移動規則に従って出口方向にそれぞれ移動させる。細長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、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させるものとする。これによって細長粒子群の平均速度・流量等を求めることとする。

### 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. パターン図

4 対 3 サイトでのシミュレーションから得られたパターン図を図 3 に示す。初期条件 ( $t=0$ ) では図 3(a) のようになり、しばらく時間が経過した後 ( $t=5000$ ) では図 3(b) のように右へ移動する細長粒子群と左へ移動する細長粒子群の衝突による渋滞 (以下、「渋滞クラスタ」と呼ぶ) が発生する。さらにこの渋滞クラスタは時間経過とともに左側へと移動して行く。これは長さの短い粒子のほうが左右へと移動しやすいため、隙間を縫うようにして前方へと移動して行き、長い移動体は左右へ隙間が存在しても長さが影響するために移動が難しく、結果バックステップを繰り返すためではないかと考えられる。

#### 4.2. 平均速度

4 対 3 サイトの細長粒子の場合に関して、密度を  $0 \sim 0.90$  まで  $0.01$  ずつ変化させた場合の平均速度を計算しプロットしたものを図 4 に示す。ただしドリフト係数を  $D=0.3, 0.5, 0.8$  の 3 パターンとする。

図より、ドリフト係数により微妙な差異はあるものの、この場合は密度が約  $0.4$  前後で急激に平均速度が変化する転移点となっていることがわかる。更に、転移点を超える高密度域においては、長い粒子の平均速度が短い粒子の平均速度を若干ながら上回ることも確認できる。

#### 4.3. 流量

同様に、4 対 3 サイトの細長粒子群に関して、密度を  $0 \sim 0.90$  まで  $0.01$  ずつ変化させた場合の流量を計算しプロットしたものを図 5 に示す。ただし、ドリフト係数を  $D=0.3, 0.5, 0.8$  の 3 パターンとする。これより、流量は転移点に達するまではドリフト係数が大きいものの方が大きく、転移点直前で最も流量は大きくなるが、転移点付近で流量は急激に減少し、転移点を過ぎるとドリフト係数の違いによる差異はほとんど見られなくなることがわかる。

#### 4.4. 渋滞クラスタ崩壊の発生周期の測定

シミュレーションを繰り返すうち、ある時間で渋滞クラスタが解消され、右へ移動する細長粒子群と左へ移動する細長粒子群が混在する一様流のような状況になることが確認された。更に時間が経過すると、再び渋滞クラスタが形成されることが確認された。図 6 に、時間の経過によって渋滞クラスタが解消される状況を図示しておく。

ここで、図 6(a) ( $t=280000$ ) では渋滞クラスタがはっきりと確認できるが、図 6(b) つまり  $t=282000$  では渋滞クラスタが崩壊し始め、図 6(d)、 $t=286000$  では渋滞クラスタがほぼ完全に崩壊し一様流に近い状態になっていることが確認できる。

この渋滞クラスタの解消は、ある条件の下では周期的に起こる現象なのではないかと予測し、タイムステップを  $t=10000000$  まで計算させ、平均速度の時間変化をプロットした。この結果を図 7(a)-(c) に示す。ただしシミュレーション条件は渋滞クラスタの解消現象がもっともよく現れた 4

対3 サイトで、密度は順に  $\rho=0.38$  ,  $\rho=0.40$  ,  $\rho=0.43$  , ドリフト係数  $D=0.5$  である。なお、シミュレーション条件に利用した密度については、平均速度のプロットより計測された、ドリフト係数  $D=0.5$  での平均速度の転移点と考えられる密度  $\rho=0.40$  前後を利用した。

また図 7(d)は図 7(b)の  $t=7000000-8000000$  の部分を拡大したものである。これより、渋滞クラスタの解消は約数万タイムステップ毎に発生し、200000 タイムステップほど持続し、それが周期的に繰り返されていることがわかる。また渋滞クラスタの崩壊・再構成の境界における平均速度は、シミュレーション条件に利用したドリフト係数における転移点での平均速度の値をとることがわかる。

## 5. 結言

細長粒子群のチャンネル対向流のシミュレーションを行い、以下の結論を得た。

- ・移動体長さの違う対向流パターンでは、渋滞クラスタが移動することを示した。

- ・細長粒子群対向流についていくつかのドリフト係数での平均速度、流量を導出した。

- ・平均移動速度は、どのドリフト係数を用いても密度  $\rho=0.40$  付近で急激に低下することを明らかにした。

- ・流量についても、どのドリフト係数を用いても密度  $\rho=0.40$  付近が最大値になり、その後は低下することを明らかにした。

- ・長時間のシミュレーションの場合、ある時間で渋滞クラスタが崩壊し、再び再構成されることを示した。

- ・渋滞クラスタの崩壊・再構成は、周期性を持つ可能性があることを示した。

- ・渋滞クラスタの崩壊・再構成の境界での平均速度の値は、そのドリフト係数における転移点での平均速度の値に一致することを示した。

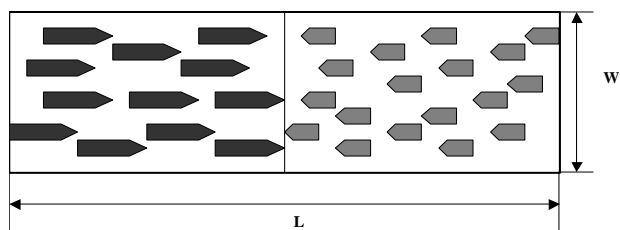


Fig.1

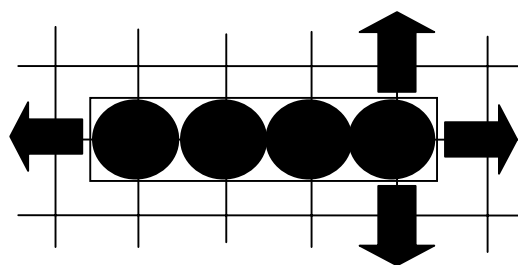


Fig.2

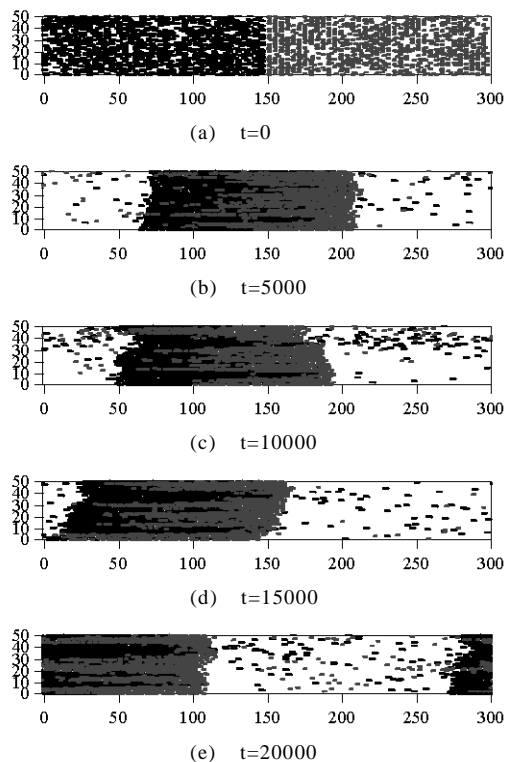


Fig.3

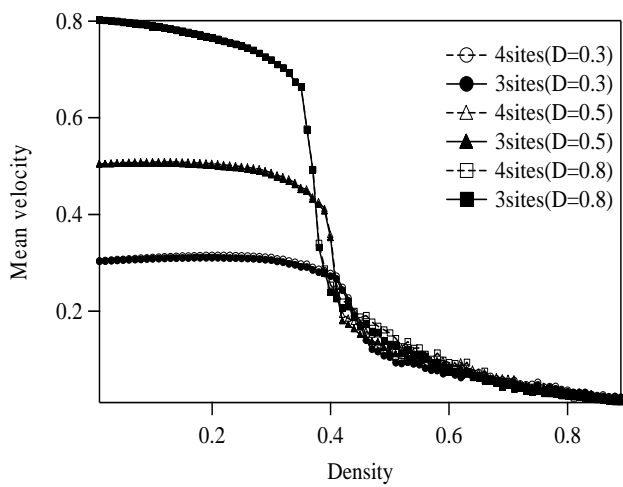


Fig.4

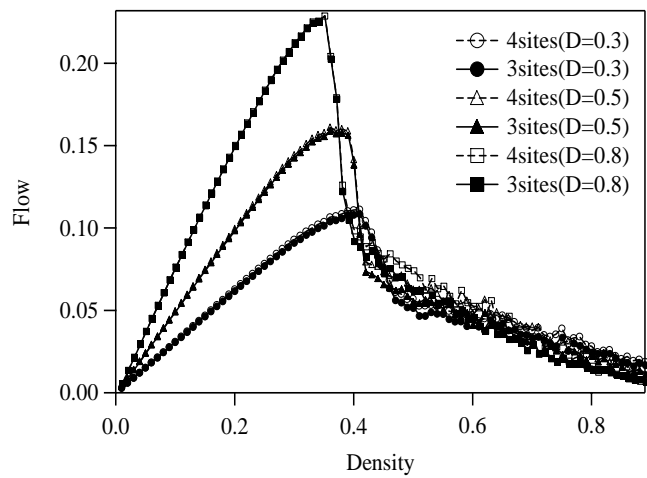


Fig.5

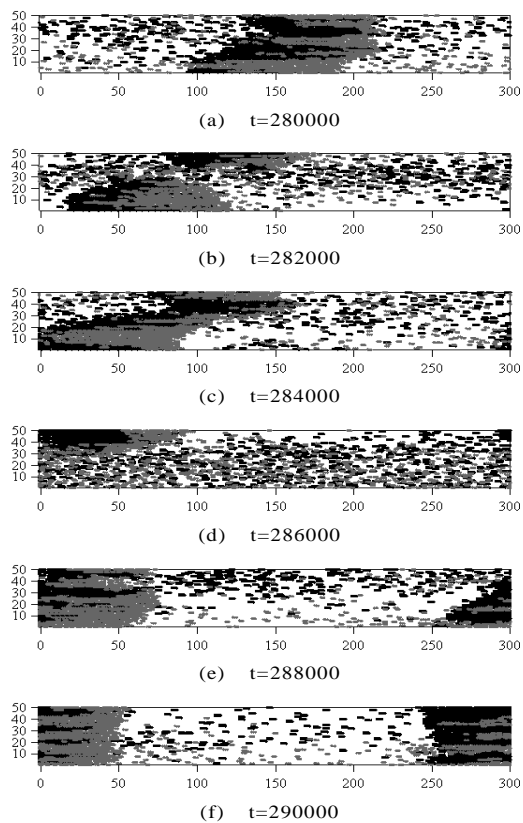


Fig.6

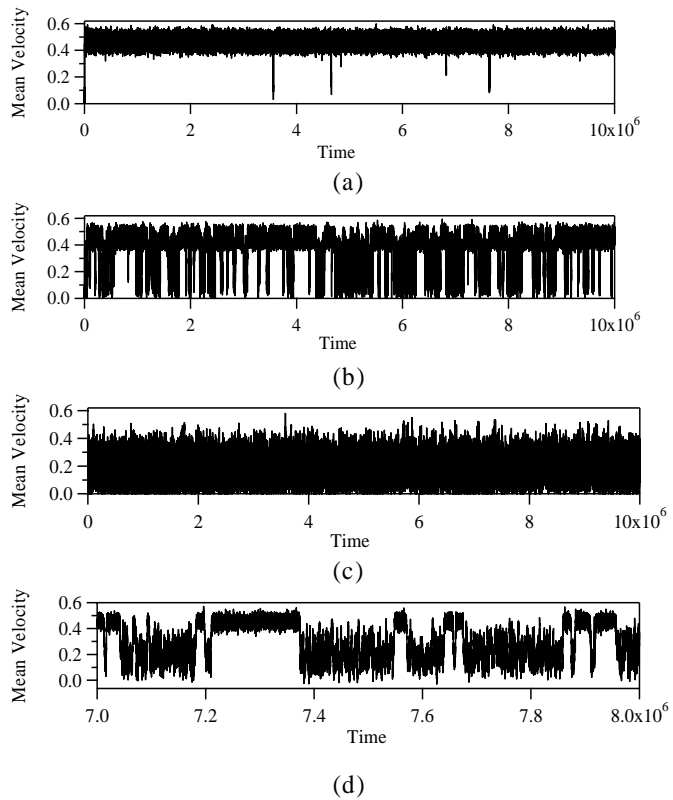


Fig.7