

2次元開放端セルオートマトン交通流モデル における渋滞クラスタの形成

佐賀大学理工学部 只木進一*

2次元セルオートマトン交通流モデルは、都市などの交通網の最も簡単なモデルである。Biham らによって最初に提案されたモデル [1] は、車両密度によって、低密度の自由走行相から全ての車両の停止する高密度の渋滞相への相転移、さらに渋滞相の中でも自己組織化された渋滞から乱雑な渋滞への相転移を示す [2]。全ての車両の停止した渋滞という現象の発生は、系に周期境界条件を与えていることと系の決定論的運動規則が大きく起因している。そこで、今回は、開放端を有する系での渋滞形成について議論したい。

まず、モデルについて簡単に述べる [3]。 $L \times L$ の正方格子上に上向きと右向きの二種類の車両が排他的に分布している。車両は進行方向の隣接格子が空いていれば、一格子前進することが出来る。系には交通信号があり、上向きと右向きが交互に同期的移動を繰り返す。つまり、系内の運動は決定論的である。

系の下端と左端からは車両が確率的に流入する。例えば、右向きの車両の流入については、左端の格子点が空であるときに、確率 p で右向きの車を流入させる。系の上端と右端に到達した車両は自由に系外に流出する。 $p < p_c$ ($p_c \simeq 0.25$) では、系内に渋滞は発生せず、系から流出する格子当たり、単位信号周期当たりの車両の数 $\bar{p}_{\text{out}}$ や平均速度 (単位信号周期当たりの平均移動格子数) $\bar{v}$ は「渋滞無し」近似でよく説明出来る。

$$\bar{p}_{\text{out}} = \frac{p}{1 + 2p}$$

$$\bar{v} = 1 - \frac{1}{2} \frac{p}{1 + 2p}$$

$p > p_c$ では渋滞が発生して、流出量や平均速度の時系列に flicker 雑音が現れる。平均速度は、 $p = p_c$ で急激に減少する。しかし、 $p = p_c$ で平均速度が 0 になるのではなく、また渋滞発生後も p の上昇とともに平均速度も上昇するため、平均速度で相転移を定義することには困難がある。このことは、周期境界条件を課した系で、平均速度が自由走行相から渋滞相への相転移を記述する秩序パラメタであることと、対照的である。

*〒 840 佐賀市本庄町 1

E-mail: tadaki@ai.is.saga-u.ac.jp

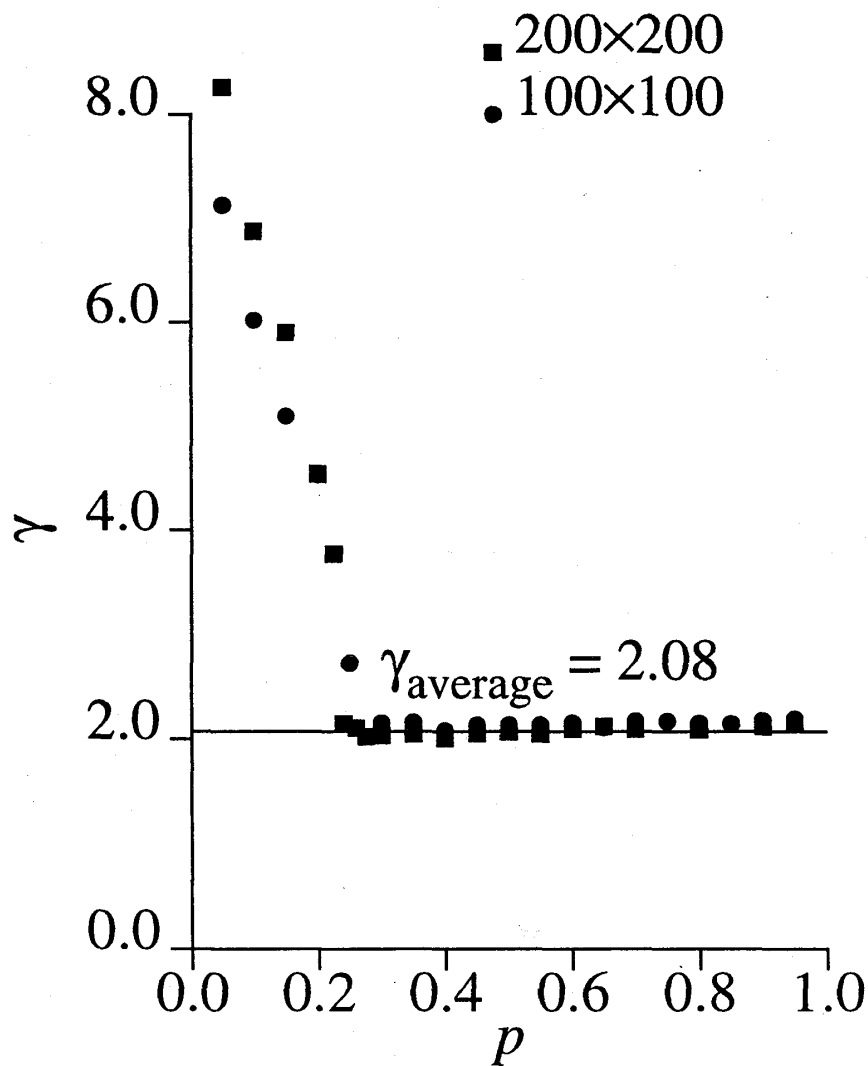


図 1: クラスタ分布の指数

時系列に flicker 雑音が現れることの原因として、系内の渋滞クラスタの分布が特徴的長さを失い、巾則に従っていることが考えられる。シミュレーションの結果、渋滞相で、 s 個の車両から構成される渋滞クラスタの数 $N(s)$ の分布が巾則に従うことが分かった。

$$N(s) \sim s^{-\gamma}$$

またその分布の指数 p にほぼ依存せず、

$$\gamma \simeq 2$$

であることが分かる (図 1)。渋滞無し相でも、少数の車両の一時的衝突があり、ごく少数の車両からなる渋滞クラスタ (一時的停止車両のクラスタ) が存在するが、その分布は、 s の小さい領域に限定されている。

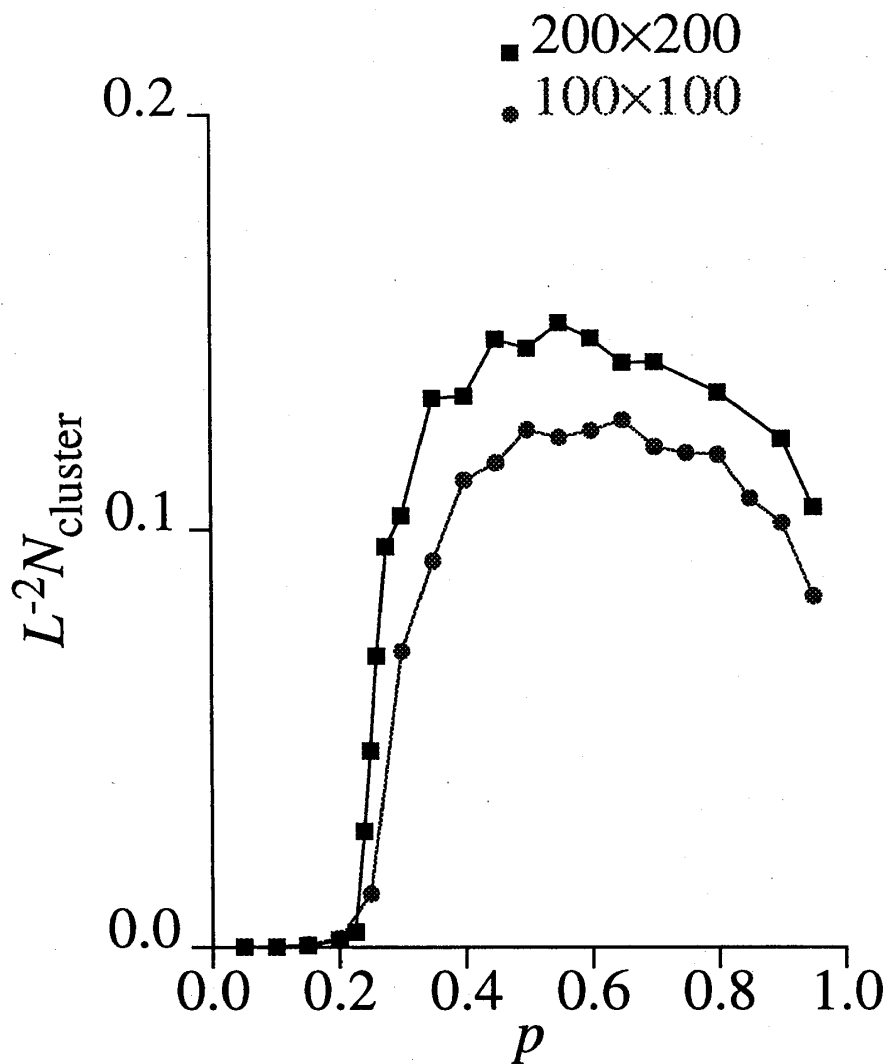


図 2: 渋滞クラスタに含まれる車両の数

停止している車両の総数 N_{total} は

$$N_{\text{total}} = \sum_{s \geq 1} sN(s)$$

で与えられる。この量は p の増大とともに増加し、 $p \simeq 0.25$ で急激に増大する。この量の中には、渋滞の中で停止している車両と、一時的に停止している車両が含まれている。そこで、後者の寄与を除くために

$$N_{\text{cluster}} = \sum_{s \geq 3} sN(s)$$

をプロットしたものが図 2 である。 $p \simeq 0.25$ で 0 から急激に値が立ち上がるのが分かる。つまり、渋滞クラスタに含まれる車両の数が、このモデ

ルの相転移を記述する秩序パラメタで、 $p \simeq 0.25$ で相転移が起こり、渋滞が形成されることが分かる。

停止している車両の総数 N_{total} 及び渋滞クラスタ中の車両の総数 N_{cluster} が、渋滞相の中で p とともに単調に増加せず、ほぼ一定あるいはやや減少するのは興味深い。渋滞相にあっても、流出量 p_{out} は単調に増大しているので、 p の増加とともに流入する車両の総数も増えている。一方で、 N_{total} や N_{cluster} が増大しないとは、流入する車両の数が増えても、渋滞のひどさ(系内を渋滞が被う面積、系内を通過するのに要する時間)に限界があることを示していると考えられる。

参考文献

- [1] O. Biham, A. A. Middleton and D. Levine, Phys. Rev. A **46**, 6124 (1992).
- [2] S. Tadaki and M. Kikuchi, Phys. Rev. E **50**, 4564 (1994); J. Phys. Soc. Japan **64**, 4504 (1995).
- [3] S. Tadaki, Phys. Rev. E **54**, 2409 (1996).