

カーバンチングと渋滞形成

静岡大学工学部 長谷 隆

要旨

高速道路における車の流れを一次元セルオートマトンモデルによって計算機シミュレーションを行う。セルオートマトン184（パラレルアップデートによる一次元非対称排除モデル）を拡張した二つのモデルを提案し、以下の問題を取り扱う。

- (1) 2車線道路におけるカーバンチングとスケーリング。
- (2) 交通渋滞形成に及ぼす車の加速度の影響と平均場理論。

(1) 2車線道路におけるカーバンチングとデバンチング

車密度が低い場合でも車が群がってくる現象 (car bunching) がある。このようなカーバンチングのモデル化を考える。2車線道路を各車はその固有速度で走行するとする。もし車が隣の車線にシフトしないならば、高い固有速度をもつ車は低い固有速度をもつ車によってブロックされ、車は走行するに従ってクラスタリング(car bunching)を起こす。隣の車線へのシフトを許すと、高い固有速度をもつ車は低い固有速度をもつ車に前方をブロックされたとき、高い速度の車は隣の車線にシフトする。こうゆう車線のシフトによってカーバンチングは緩和される。カーバンチングとデバンチングによるフローパターンを図1 (a)、(b) に示す。(a) は隣の車線へのシフトが禁止されている場合の時空間パターンである。(b) はブロックされた車がシフティング確率 0.3 で隣の車線へシフトする場合のパターンである。

図2は車間距離の時間変化を、シフティング確率をパラメータとしてプロットしたものである。シフティング確率がゼロのとき、車間距離は以下のようにスケールされる。

$$\langle s \rangle \sim t^{0.48 \pm 0.03} \quad (1)$$

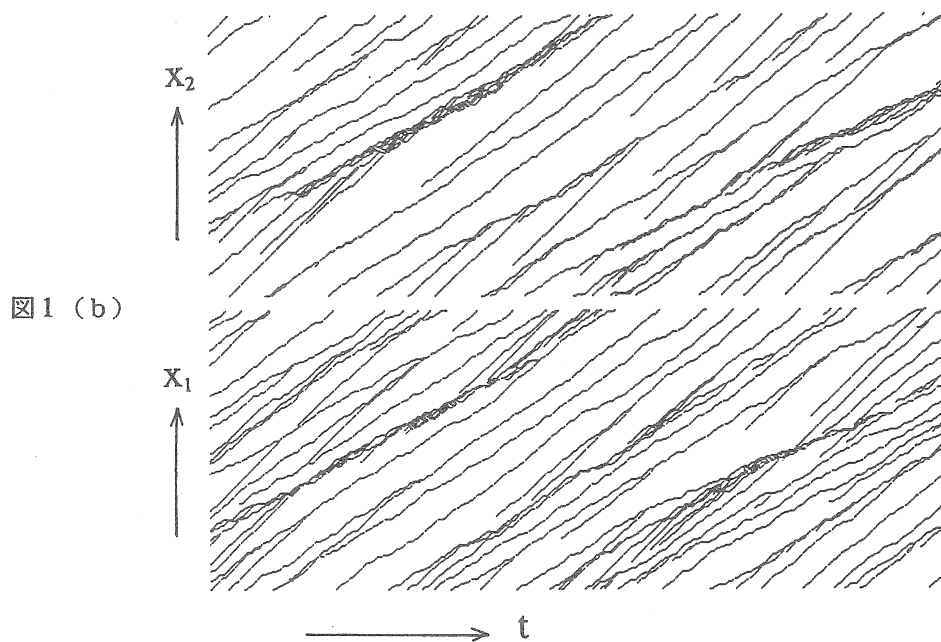
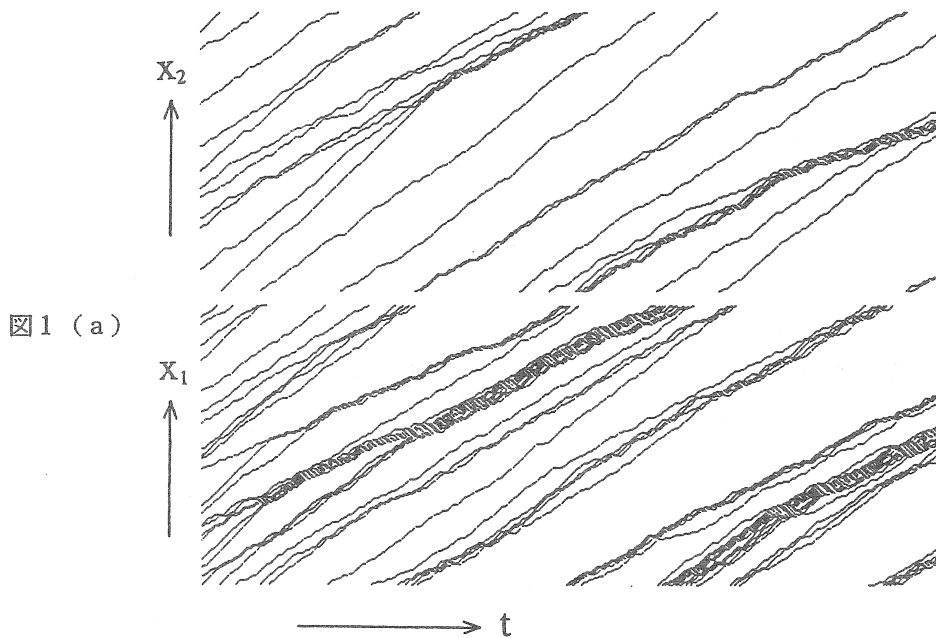
有限のシフティング確率の場合、車間距離はデバンチング効果によって一定値に漸近する。漸近値はシフティング確率によって以下のようにスケールされる。

$$\langle s \rangle_{\text{sat}} \sim p_{\text{exc}}^{-0.48 \pm 0.03} \quad (2)$$

また車間距離は以下のスケーリング則を示す。

$$\langle s \rangle \sim p_{exc}^{-0.48} f(tp_{exc}), \quad (3)$$

ここで $f(x)$ はスケーリング関数で、 $x \ll 1$ に対して $f(x) \sim x^{0.48}$ 、 $x \gg 1$ に対して $f(x) \sim \text{const.}$



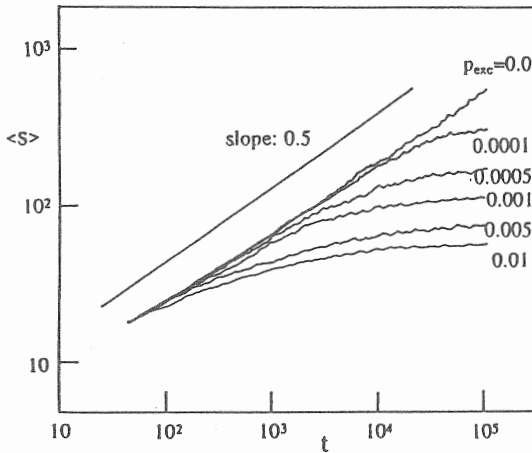


図 2

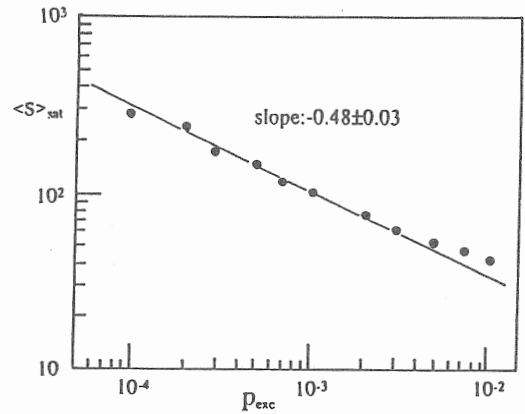


図 3

(2) 交通渋滞形成に及ぼす車の加速度の影響と平均場理論

車の加速度と速度を考慮に入れたセルオートマトンモデルを提案する。セルオートマトンあるいは particle hopping model において各粒子(車)に速度並びに加速度を割り当てる。ホッピング確率を速度とする。車のダイミックスは以下の運動方程式によって与える。

$$\frac{d^2 x_n(t)}{dt^2} = \begin{cases} a & \Delta x_n(t) \geq x_c \\ -a & \Delta x_n(t) < x_c \end{cases} \quad (4)$$

ここで x_c は安全距離、 Δx_n は車間距離、 $a > 0$ 。車間距離が安全距離より大きい場合には加速度 a で加速され、車間距離が安全距離より小さい場合 a で減速される。また速度は加速度の積分によって与えられる。速度はゼロ以下にならないものとする。さらに最大速度は一以下とする。各車はセルオートマトン 184 と同様に平行にアップデートする。

図 4 は時空パターンを示す。パターン (a) は密度 0.15、初期速度 0.3、安全距離 7、加速度 0.05 の場合である。パターン (b) は加速度 0.2 の場合であり、その他のパラメーターは (a) と同じ値である。加速度の増加と共に交通渋滞は早く後方に伝播する。図 5 は渋滞の伝播速度を加速度に対してプロットしたものである。黒丸はシミュレーションの結果を示し、実線は平均場理論の結果を示す。図 6 は流量と密度の関係を示したものである。図 7 は代表的な一つの車の速度と車間距離のプロットを示したものである。実線がシミュレーションの結果であり、破線が平均場理論の結果である。

このモデルは平均場理論を構築するのが簡単である。またこのモデルは particle hopping model と car following model を関係づける一つの方法としても考えられる。

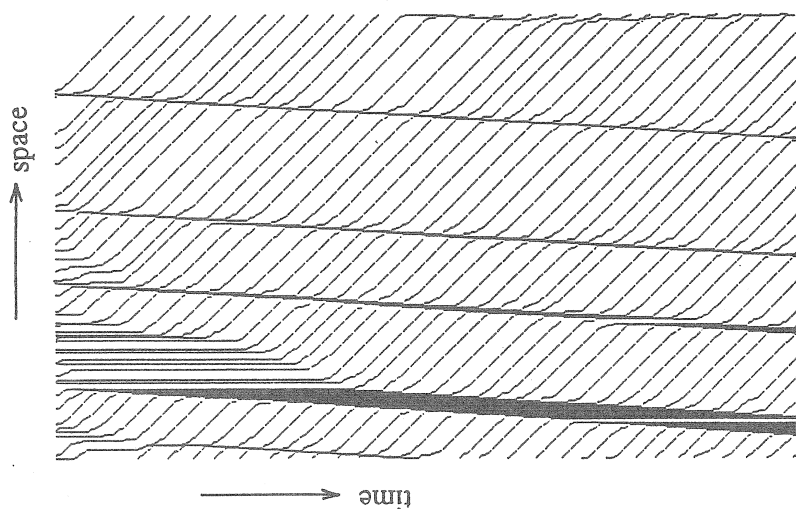


図4 (a)

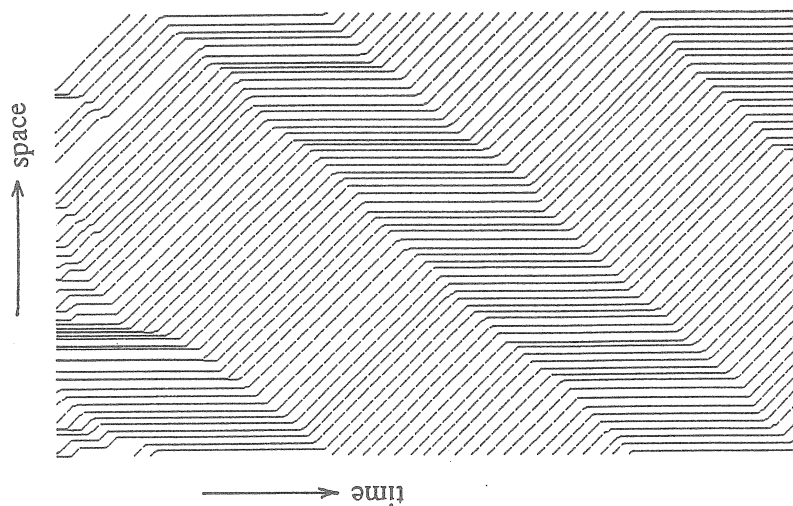


図4 (b)

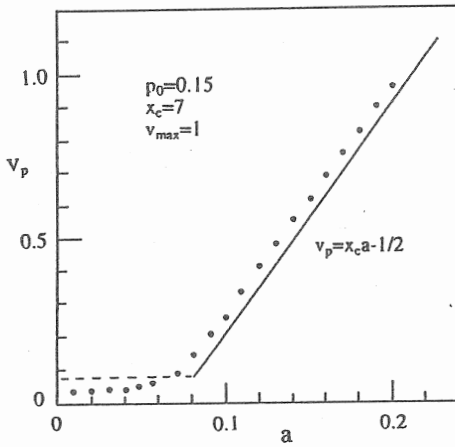


图 5

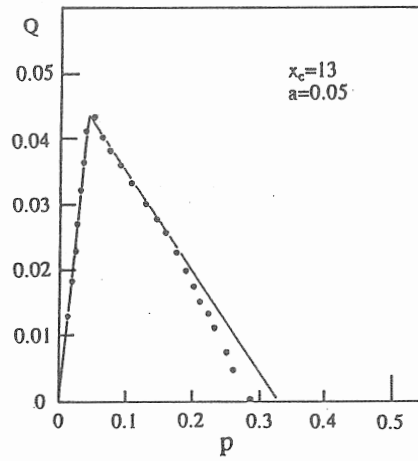


图 6

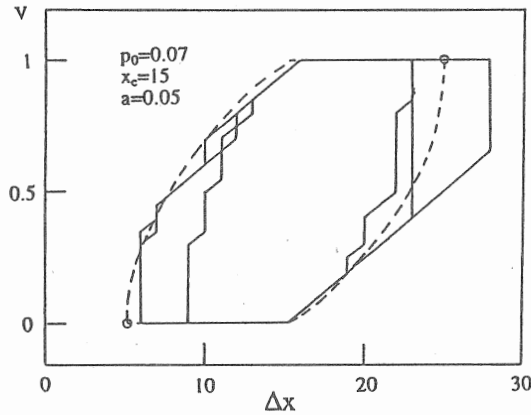


图 7

References

- [1] K. Nagel and M. Schreckenberg, *J. Physique* 12 (1992) 2221.
- [2] M. Schreckenberg, A. Schadschneider, K. Nagel and N. Ito, *Phys. Rev. E* 51 (1995) 2329.
- [3] T. Nagatani, *Phys. Rev. E* 51 (1995) 922.
- [4] M. Bando, K. Hasebe, A. Nakayama, A. Shibata and Y. Sugiyama, *Phys. Rev. E* 51 (1995) 1035.
- [5] S. Yukawa and M. Kikuchi, *J. Phys. Soc. Jpn.* 64 (1995) 35.
- [6] H. Spohn, *Large Scale Dynamics of Interacting Particles* (Springer, Berlin, 1991).
- [7] T. Nagatani, *J. Phys. A* 28 (1995) L119.
- [8] O. Biham, A.A. Middleton and D. Levine, *Phys. Rev. A* 46 (1992) R6124.
- [9] B.S. Kerner and P. Konhauser, *Phys. Rev. E* 48 (1993) 2335.
- [10] E. Ben-Naim, P.L. Krapivsky and S. Redner, *Phys. Rev. E* 50 (1994) 822.
- [11] T. Nagatani, *Phys. Rev. E* 48 (1993) 3290.
- [12] J.A. Cuesta, F.C. Martinez, J.M. Molera and A. Sanchez, *Phys. Rev. E* 48 (1993) R4175.
- [13] M. Fukui and Y. Ishibashi, *J. Phys. Soc. Jpn.* 62 (1993) 3841.
- [14] S. Tadaki and M. Kikuchi, *Phys. Rev. E* 50 (1994) 4564.
- [15] T. Nagatani, *J. Phys. Soc. Jpn.* 62 (1993) 2656.
- [16] K.H. Chung, P.M. Hui and G.Q. Gu, *Phys. Rev. E* 51 (1995) 772.