ラッシュ時の歩行者の流れの中の逆行歩行者の歩行と渋滞

中日本自動車短大　福井　稔
名大・工　石橋　善弘

高速道路などの渋滞を対象として、車の走行については従来から、多くの研究がされてきた。歩行者の流れや行動は、広場、通路、建物の設計の観点から関心を持たれているが、人間の行動自身にも、外的条件、心理的要因が行動に及ぼす影響に興味をもたれている。そしてそれらの条件をどのようにモデル化するかも興味ある。ガスや流体との類似点に注目して、Hendersonら[1]は、流体力学的取扱いを試みた。Helbingら[2,3]は、心理的作用を力学的な力にモデル化したミクロなモデルを提案し、若干の成果を得た。ここでは、車の交通流のミクロモデルに使われたセルオートマトン（ＣＡ）モデル[4]を人間の歩行流のシミュレーションに適用してみて、歩行者の行動の説明を試みたい。ＣＡモデルでは，道路と人は，簡素化され，それぞれ格子点とそれを占有する点として，デジタル化されている。また相互作用は排除体積効果だけであるが，その本質をときには正確に捉えていると思われる。また整数論的興味も生まれている。ここでは，１人の歩行者が、多数の人が歩いてくる方向と逆方向に、道路を歩いていく場合に、歩行者自身の歩行状況とその歩行者が多数の歩行者の歩行に及ぼす影響を問題とした。

2.Sidestepping 歩行モデル

歩行者が道路の同一レーン上で対行者と遭遇したとき、すれちがうための退避行動として、横のレーンの真横の位置へ避けるモデルを扱った。レーンの移動は対行者と遭遇したときのみとする。それぞれの歩行者は、運命論的wolframのrule-184モデル（１単位時間に１格子前進）に従って進むとする。道路としては、道幅がL_w（L_wレーン）で、長さＬ（Ｌ格子点）からなるリング状の道路で、路肩に壁がある（a：Tape-ring道路）場合と道路幅方向にも周期境界条件を取り入れた（b：Tube-ring道路）場合を考えた。

シミュレーションでは多数の歩行者の人数が増加するにつれて、逆に進む１人の歩行者の歩行状況とその歩行者が多数の歩行者の歩行に及ぼす影響を調べた。初期状態として道路の各レーンに同数の人をランダムに配置した。時間の奇数stepに多数の通行人が右へ前進し、偶数stepに１人の歩行者が左へ前進する過程を繰り返す。前進しようとするときに前に逆行者がいるときに、確率P_t（ここでは全て$P_t = 1$とする）でレーン変更する。前進者とレーン変更者が、同時にいるときは、前進優先とする。

(a)　Tape-ring　道路

道路は両路肩に壁がある。通行人（Ｎ人）の関数として、逆行歩行者の速度Ｖ（＝前進格子点数／time）を求めた。Ｎが小さいときは、推測通り、逆行歩行者は通行人に妨げられないで、Ｖ＝１である（自由歩行状態）。しかしＮがある濃度を越えると全く前進できなくなる。ただひたすらレーン変更を繰り返す（Sideling state：Ｖ＝０）。このとき、逆行歩行者は通行人の流れには、shock waveを伴った渋滞を発生させる。自由歩行状態とSideling stateの歩行者のsnapshotをFig.１、２に示す。このような流れの転移は、道路幅L_wが広くても起こる。

転移濃度は　$P_c=(L_w-1)/2L_w$　・・・（1）　で表される。

（b）　Tube-ring　道路

数学的に取扱いやすくするために、道路の両路肩がつながっている（周期境界条件）場合もシミュレートした。この場合も流れの転移が起こる（Fig.3）。　転移濃度も式（1）で表される。

3.Diagonal　stepping　歩行モデル

ここでは、歩行者が道路の同一レーン上で対行者と遭遇したとき、すれちがうための退避行動として、横のレーンの斜め前の位置へ避けながら前進し、横には移動しないモデルを扱った。レーンの移動は対行者と遭遇したときのみとする。ここでも、レーン変更より前進を優先する。

（a）　Tape-ring　道路

両路肩に壁があるTape-ring道路モデルでは、式（1）の転移濃度P_cまで自由歩行状態にある。P_cを越えて濃度が多くなると、渋滞状態が起こり前進しにくくなる。速度は時間的にゆらいでいる。さらに転移濃度P_{c2}を越えると、いくつか（L_w-1個）の決まった速度をもった決まった歩行パターンに落ち込む。いくつかの歩行パターンは、濃度によって、形成できなくなり、最もパッキングの高いパターンに収束する。濃度Pがほとんど1まで、歩行者が前進できるパターンが存在する。（Fig.　4）

（b）　Tube-ring　道路

周期境界条件の下でも、自由歩行状態-混沌状態転移は、同じP_c（式（1））で起こる。しかし（L_w-2）個の決まった歩行パターンのどれかになる。

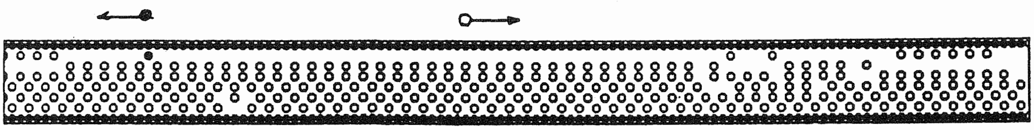

Fig.1　　$p=0.4$

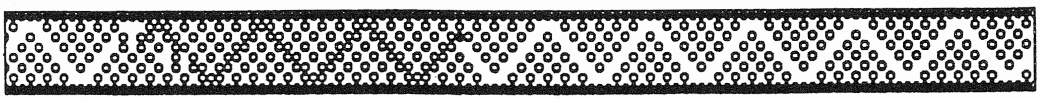

Fig.2　　$p=0.467$

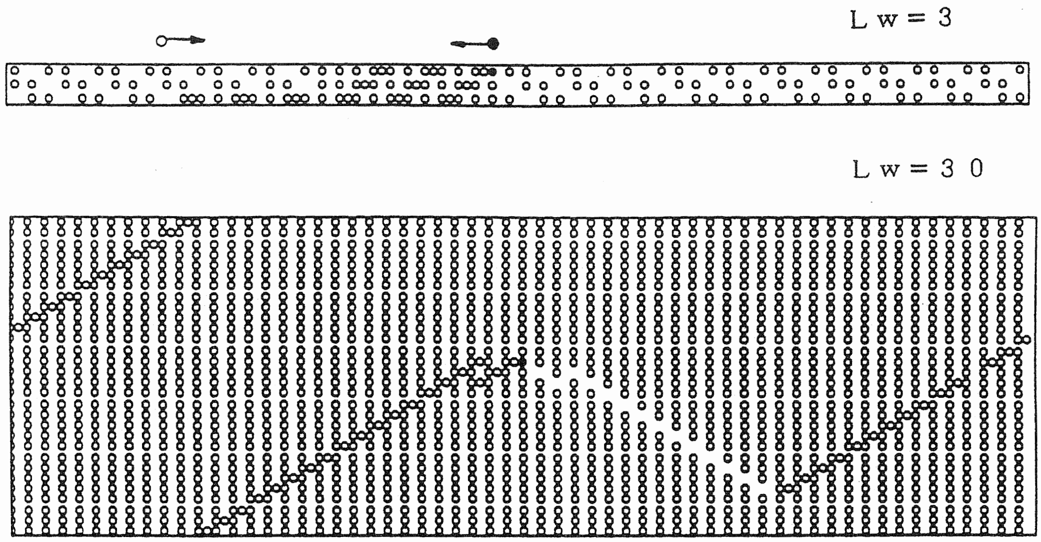

Fig. 3

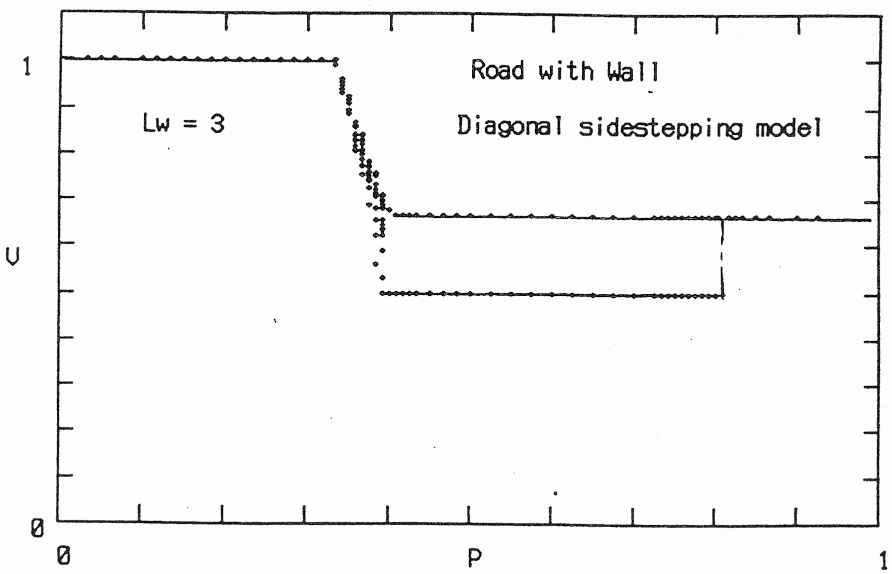

Fig. 4

[1]L.F.Henderson: Nature 229(1971)381;Transp.Res. 8(1974)509
[2]D.Helbing: Complex Syst. 6(1992)391
[3]D.Helbing: Behav. Sci. 36(1991)298; Phy.Rev. E51(1995)4282
[4]K.Nagel and M.Schreckenberg: J.Phys. I 2(1992)2221