交通流のセルオートマトンモデルによるカーブのシミュレーション

平成 11 年 2 月 23 日

情報電子工学科
友廣 健介

目 次

1 はじめに **1**

2 流体モデル **1**

2.1 流体モデルとは 1

2.2 3 つの基本量 1

2.3 3 つの基本量の関係 3

2.4 車両数の保存 4

2.5 速度と密度の関係と交通量と密度の関係 6

3 セルオートマトンモデル **7**

3.1 セルオートマトンモデルとは 7

3.2 セルオートマトンモデルでの基本量 7

3.3 ルール 184 について 9

3.4 境界条件 11

3.5 ルール 184 のシミュレーション 11

3.6 Nagel-Schreckenberg モデルについて 12

3.7 Nagel-Schreckenberg モデルのシュミレーション 15

4 過去の研究と本研究の目的 **17**

4.1 確率 p の変化の影響 17

4.2 区間での最高速度変更による影響 17

5 カーブの実現とそのシミュレーション **19**

5.1 カーブの実現方法について 19

5.2 Nagel-Schreckenberg モデルに従ったシミュレーション 20

5.3 考察 20

6 まとめ **21**

参考文献 **25**

概要

交通流とは、交通の流れを意味し、主に高速道路などでの車の流れをさしていて、渋滞や理想的な交通速度を解析するために利用されている。セルオートマトンモデルとは、道路をセルで分割し、交通流を離散的な状態で表現し、それがあるルールに従って離散時間で変化する数理モデルである。過去の卒研[1)]で登り坂の実装を試みていた。その方法は、区間によって最高速度を変えるというものであった。平坦な道の最高速度よりも登り坂の区間の最高速度を低くするのである。そのことで、登り坂に入ることにより速度が低下するということを得るものである。今回は、その登り坂の影響と似たような影響を及ぼすと思われるカーブの実装を試みた。登り坂と違い、カーブでは、カーブにさしかかる際の減速する区間とカーブ区間の最高速度の低下が考えられる。そこで、最高速度を変えた区間だけでなく、ランダムブレーキを行う確率を変えた区間も作ることで、カーブにさしかかる際の減速とカーブ区間の最高速度の低下が得られるのではないかと考えた。以上を踏まえて、セルオートマトンモデルの一つである Nagel-Schreckenberg モデルのルールに従い、条件を与えてシミュレートを行なってみた。その結果、平均密度 0.5 以下でカーブらしい結果を得られた。しかし、急ブレーキを行っているため、実際の交通とはかけ離れたものとなってしまった。

1　はじめに

交通流の解析に用いられているモデルは、追従モデル、流体モデル、セルオートマトンモデルなどがある。交通流とは交通の流れを意味し、主に高速道路などでの車の流れを示していて、渋滞や理想的な流通速度を解析するために利用されている。

追従モデルは、一つ一つの車が運動方程式を持っており、前にいる車との関係を考えて速度、加速度を決めるモデルである。流体モデルは、交通流を連続なものに近似して考えるモデルである。セルオートマトンモデルは、無限のセルで構成され、その中の一つのセルにいる車を考えるモデルである。

過去の研究[1)]でセルオートマトンモデルの一つである Nagel-Schreckenberg モデルで登り坂の実装を試みた。そこで、その結果を踏まえて Nagel-Schreckenberg モデルでカーブの実装を試みることを目的とした。

2 章で流体モデルについて述べ、3 章でセルオートマトンモデルについて述べ、2 つのモデルの相違点をあげる。4 章では過去の研究にふれ、本研究の目的について述べる。5 章でカーブの実装方法とそのシミュレーション結果、問題点について示す。

2　流体モデル

2.1　流体モデルとは

流体力学モデルは、交通流を連続的な流体として考え、密度、速度、交通量などの関係式に基づくものである。1956 年に Lighthill と Whitham によって考え出され、また、同年に Richards も考え出していた。現在では渋滞時の交通流の挙動の解析などに利用されている。

2.2　3 つの基本量

交通流解析を行う上で、3 つの基本量が必要になる。速度、密度、交通量である。この 3 つの基本量はお互いに関係を持っている。以下にこの 3 つの基本量の説明をする。

速度　速度とは単位時間当たりの変動を表す量である。着目している現象が時間的に変化している場合に、その現象の時間に対する変化の割合を速度という。単に速度と言う場合には、単位時間あたりの物体の位置の変化をさす場合が多い。

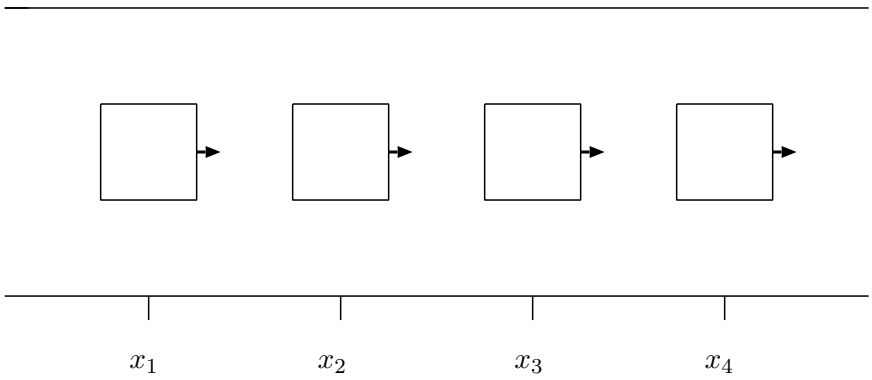


Fig. 1 位置の図

道路上を走っている車両を考える。車両の位置が $x_0(t)$ ならば、速度は $dx_0(t)/dt_0(t)$ で、加速度 d^2x_0/dt^2 となる。車の流れを考えるときの速度の測定方法は主に 2 つある。各車の速度 $v_i = dx_i(t)/dt(t = 1, 2, 3, ..\ )$ を測るものと、空間の各点各時刻に対してただ一つの速度を求めるものがある。

この 2 つの測定方法のうち、後者を速度場という。速度場は、$v(x, t)$ と表し、x は観測者の位置、t は時刻である。位置 x、時刻 t で測定された速度はその位置 x の車の速度を表すのである。

密度 一般的に密度とは、単位体積あたりの質量のことをいう。ある量が分布していたとき、ある一部分に存在する量と、それぞれに対応する体積、面積、長さに対する比のこと。交通流測定での密度は、ある時刻に一定の範囲 (2 点間) に車が何台いるのか、というもの。その範囲に収まらない端の車は決まった方法で処理する。

ここで、車の密度を ρ、範囲を Mkm、台数を N 台とおくと、$\rho = N/M$ と表せる。者間距離 d を、車両の長さを L とおくと、ρ は、

$$\rho = \frac{M}{L + d}$$

となる。図 2 は車の密度を表す図である。

交通量 ある位置にいる観測者が一定時間の間、観測者の前を通る車の台数を測定するとある量が測れる。この量を交通量という。交通量は q で表し、$q(x, t)$ と表せる。

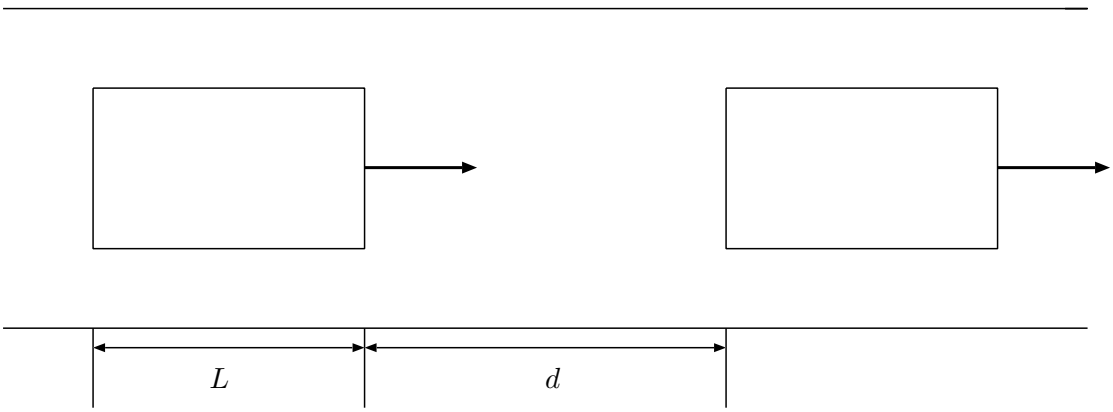


Fig. 2 車の密度の図

2.3 3 つの基本量の関係

基本量の 3 変数には密接な関係がある。道路上で全ての車両が定速度 v_0、定密度 ρ_0 で運動している場合、車間距離は一定で密度変化無し。時間 t で各車は v_0t だけ動くので観測者の前を通過する車の数は、距離 v_0t にいる車の数に等しい。よって、時間 t で観測者の前を通過する車の数は $\rho_0 v_0 t$ となる。したがって、単位時間あたりの交通量は、

$$q = \rho_0 v_0$$

となる。3 変数は位置 x、時間 t に依存しているので、

$$q(x,t) = \rho(x,t)v(x,t) \tag{1}$$

と表すことが出来る。

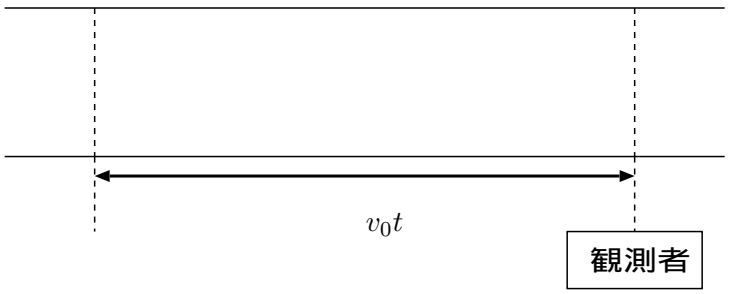


Fig. 3 v_0 で進む車両が t で進む距離

2.4 車両数の保存

図 4 の示すような道路上の $x = a$ と $x = b$ の区間における車の数 N は、交通密度の積分であるから、

$$N = \int_a^b \rho(x,t)dx \tag{2}$$

と表せる。$x = a$ と $x = b$ の間の車の数は変化していく。その数は車が $x = b$ で領域から去っていくことで減少していき、$x = a$ で領域に入ってくることで増加していく。$x = a$ と $x = b$ の間で車が発生したり消滅したりしないと仮定すると、車の数は $x = a$ と $x = b$ を横切る車の数で決まる。車の数の変化率は単位時間に $x = a$ を横切る車の数から $x = b$ を横切る車の数を引いたものに等しくなる。単位時間あたりの車の数は交通量 $q(x,t)$ に等しいから、

$$\frac{dN}{dt} = q(a,t) - q(b,t) \tag{3}$$

と表せる。ここで、式 (2)、(3) より、積分保存則と呼ばれる

$$\frac{d}{dt}\int_a^b \rho(x,t)dx = q(a,t) - q(b,t) \tag{4}$$

という式が得られる。この式 (4) は、車の数の変化は境界を通過する交通量のみに依存するという事実を示しており、車の発生も消滅もしないことから、車の数は保存されるということを表している。この積分保存則は有限の長さを持つ道路 $a \leq x \leq b$ 上の性質を表している。

式 (4) は $x = a$、$x = b$ が時間に付いて固定されているものとして得られたものなので、b を動かして考えると、式 (4) における時間に関する導関数は偏導関数で置き換える必要がある。置き換えると、

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_a^b \rho(x,t)dx = q(a,t) - q(b,t) \tag{5}$$

となる。

この式 (5) を b について偏微分すると、

$$\frac{\partial}{\partial t}\rho(b,t) = -\frac{\partial}{\partial b}q(b,t) \tag{6}$$

となり、b は任意の位置を示すので x に置き換える。式 (1) より、

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho v) = 0 \tag{7}$$

と書け、車両の保存則は密度と速度に関する偏微分方程式で表されることを示している。

Fig. 4 道路区間における車の出入りの図

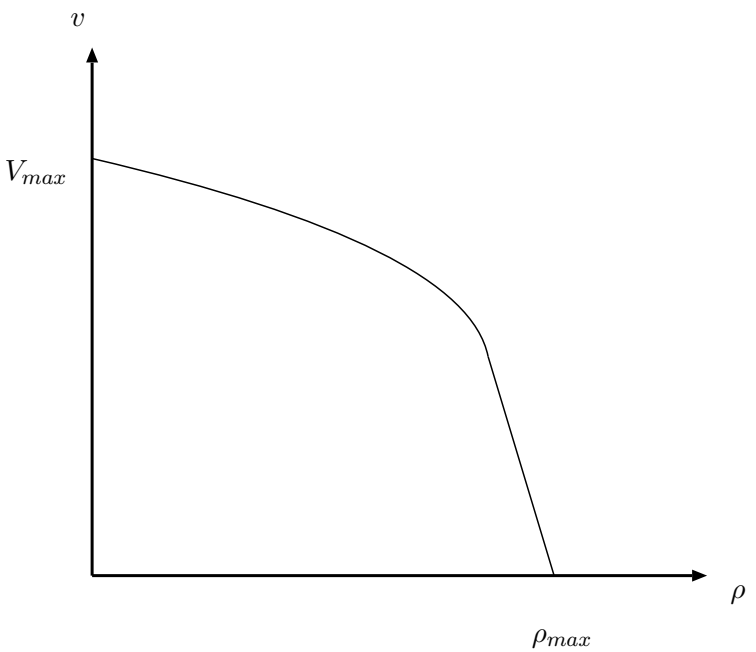


Fig. 5 速度と密度の関係図

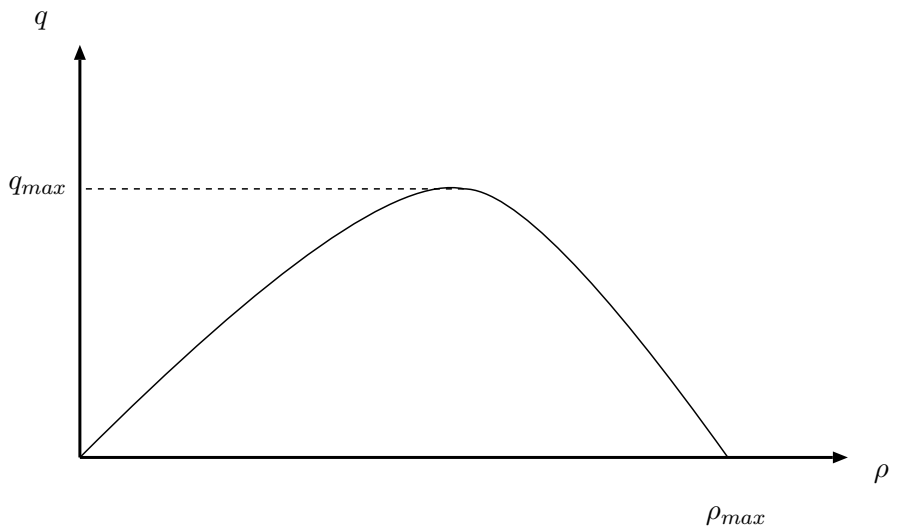


Fig. 6 交通量と密度の関係図

2.5 速度と密度の関係と交通量と密度の関係

速度と密度の関係 速度と密度の関係は式 (7) で表される。Lighthill と Whitham の 2 人が提唱したモデルは、速度が密度のみに依存するというもので、

$$v = v(\rho)$$

と定義される。道路上に他の車両が存在しなければ、その車両は v_{max} で走行できるが、密度増加によって速度が減少していき、最大密度 ρ_{max} で停止してしまう。それは

$$v(\rho_{max}) = 0$$

と表せる。図 5 は速度と密度の関係をグラフに表したものである。

交通量と密度の関係 交通量は $q = \rho v(\rho)$ で表せるので、交通量も密度に依存することがわかる。$\rho = 0$ のときは交通がない場合で、$v = 0$ つまり $\rho = \rho_{max}$ のとき、交通が動かないときである。図 6 は、交通量の密度への依存のグラフにしたものである。

3　セルオートマトンモデル

3.1　セルオートマトンモデルとは

セルオートマトンモデルとは、ノイマンによって考案されたモデルである。無限に広がる格子状のセルで構成されていて、各セルは有限である数の内部状態で、時関経過とともに内部状態は変化していく。

ここでの時関経過は離散的なものであって、ある時刻における一つのセルの内部状態は、一つ前のセルにおける、そのセルか隣接のセルの内部状態によって決定される。

全てのセルに等しく規則が適用され、時刻経過によって新たなものになると考える。セルオートマトンは時間的な規則を決めることで、いろいろなモデルを構成することが出来る。セルオートマトンの中でも、1 直線上にセルを配置したものを 1 次元セルオートマトンといい、あるセルに隣接するセルは 2 個である。

3.2　セルオートマトンモデルでの基本量

速度 流体モデルと違い、時間の流れが離散的であるため、車の移動距離 $y(t)$ の時刻 t に関する微分

$$y(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{y(t + \Delta t) - y(t)}{\Delta t} \tag{8}$$

で速度を決定することはできない。また、時間ステップによる更新で移動したセル数が速度となる。平均速度は、時間幅をとり、その中でどれだけ車が動いたのかをみることで求めることができる。

密度 交通密度は、前述の通りに、ある時刻に一定の範囲 $(2$ 点間$)$ に車が何台いるのかで求められる。渋滞しているところや空いているところを見て行く場合には、狭い領域を見て行く必要がある。

しかし、セルオートマトンモデルにおいてはセルで考えるため、一つのセルに注目したのでは居るか居ないかのどちらかになってしまうし、幅を広げて考えると渋滞しているのか空いているのかの判断ができなくなってしまう。そのため、図 7 のように「 N 個のセルの中で i 番目のセル付近の密度 」で考える必要がある。

交通量 交通量は前述の通りに、ある位置を通過する通る車の台数で求めることができる。セルオートマトンにモデルにおいては、時間更新である点を通過すると 1、通過しなければ 0 という 2 つの値しかとらない。平均交通量を求めるには、図 8 のように時間更新幅の中である一つのセルを通過する車の数を調べることで求められる。

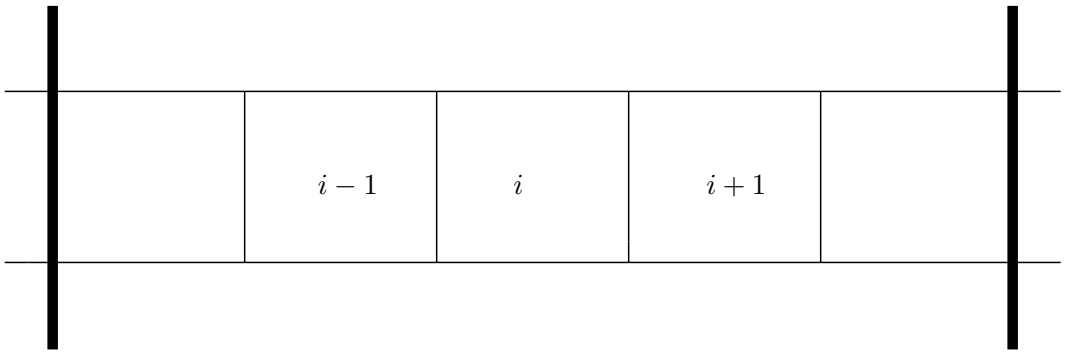


Fig. 7 セルオートマトンにおける密度の考え方

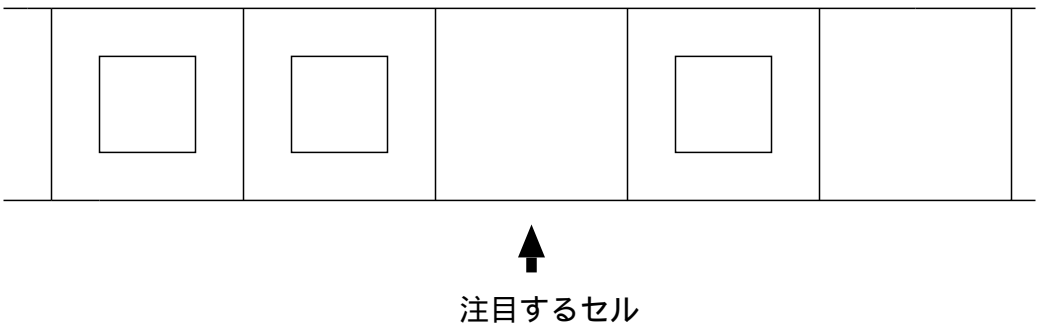


Fig. 8 セルオートマトンにおける交通量の考え方

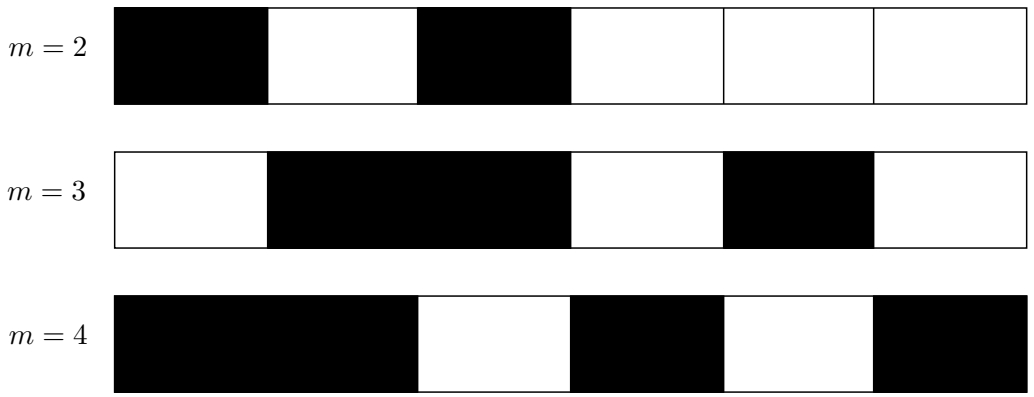


Fig. 9 車の配置による交通量の変化

基本量の考え方 N 個からなる区間に M 台の車両が存在するとき、時間更新時に m 台の車が進めるとすると、

$$\text{平均速度 :} \overline{v} = \frac{M}{N} \tag{9}$$

$$\text{平均密度 :} \overline{\rho} = \frac{m}{M} \tag{10}$$

$$\text{平均交通量 :} \overline{q} = \frac{m}{N} \tag{11}$$

と表すことができる。以上の 3 式より、

$$\overline{q} = \overline{\rho v} \tag{12}$$

が成り立っていることがわかる。

しかし、図 9 のようにセルオートマトンモデルで交通量は車の配置の状態により m の値が変わってくるため、$\overline{\rho}$ の値だけで決めることはできなくなる。なので、1 点で考えても $\overline{\rho}$ の値だけで決めることはできないことになる。流体モデルにおける「速度および交通量は密度のみに依存する」という定義は、セルオートマトンモデルにおいても定義されるのか、という点を考える必要がある。

3.3 ルール 184 について

一次元のセルオートマトンのモデルの 1 つにルール 184 がある。このルール 184 は以下の時間発展ルールが決められている。

- 1 つのセルに位置できる車両は最大で 1 台

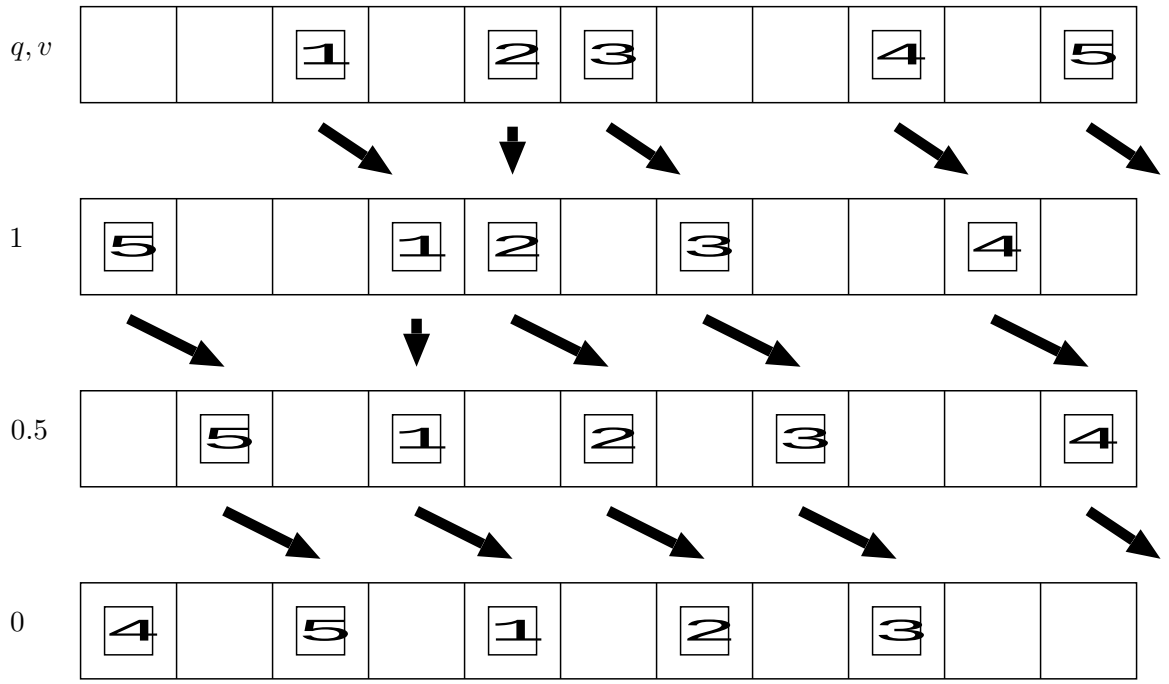


Fig. 10 セルオートマトンモデルの基本図

- 進行方向は x 軸の正方向で、一回の時間ステップで 1 セルだけ移動可能
- 1 つ前のセルに車両が存在している場合、次の時間ステップ時に前進できない
- 一つ前のセルに車両が存在していない場合、次の時間ステップ時に前進できる

この規則を元に全てのセルで時間更新が行なわれる。この更新を繰り返して行くことで解析を進めて行くのである。

このルール 184 は速度が 1 で等速で動くものにしか適用できず、加速を導入して考える場合はセルの数が非常に多くなってしまい解析が困難になってしまうことが難点である。ルール 184 の規則で、ある 2 点間を考えるときに両端が次の時間ステップ時に車両の存在の有無がわからず、時間ステップを考えられなくなってしまう。

左側のセルには、それより左に車両が存在していて、次の時間ステップ時に車両の移動があるのかないのか、右側のセルには車両が存在しているのかわからずに進めない、という問題である。この問題を解決するために、境界条件というものを定義することで解決できる。

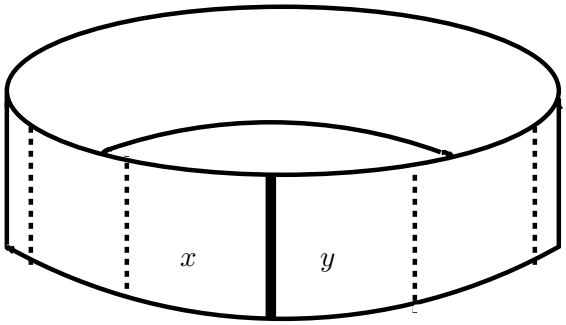


Fig. 11 周期境界条件の概念図

3.4 境界条件

境界条件はいくつかあるが、そのうち周期境界条件、開放境界条件、島状境界条件というものを挙げる。

周期境界条件 この境界条件は、セルの両端を繋がっているものと考えることによって両端のセルの状態を決めるものである。図 11 のように輪で考えるとわかりやすく、図の中のセル x、y のように、左端のセルと右端のセルでそれぞれ欠如しているセルをお互いで補いあっていると考えればよい。

開放境界条件 この境界条件は、最初から空間内に存在する車両の数を決めておき、時間ステップにより出ていった車両分だけ、また車両が入ってくるというものである。つまり、右端から車両が 1 つ出て行くとすると、1 つ少なくなった車両を補うために左端に新たに車両を発生させるものである。つまり、右端に車が存在して、時間ステップで出て行く確率と左端に車が存在せず、時間ステップで発生する確率を与えることによって、実際の交通流に近い形をシミュレーションができるわけである。

島状境界条件 この境界条件は、その決められた区間のセルのことしか考えず、つまり、右端と左端のセルの外側には車両が存在しないものと考え、その空間内の車両だけで時間ステップを行なうものである。つまり、右端から車両が出て行ったとしても、左端から車両は入ってくることは無く、時間ステップを行なっていくことにより、最終的に車両の存在が 0 となる。

3.5 ルール 184 のシミュレーション

ルール 184 を周期境界条件で 100 セルで 100 ステップの元でシミュレーションを行った。その結果が図 15 である。平均密度は左が 0.3、右が 0.8 である。

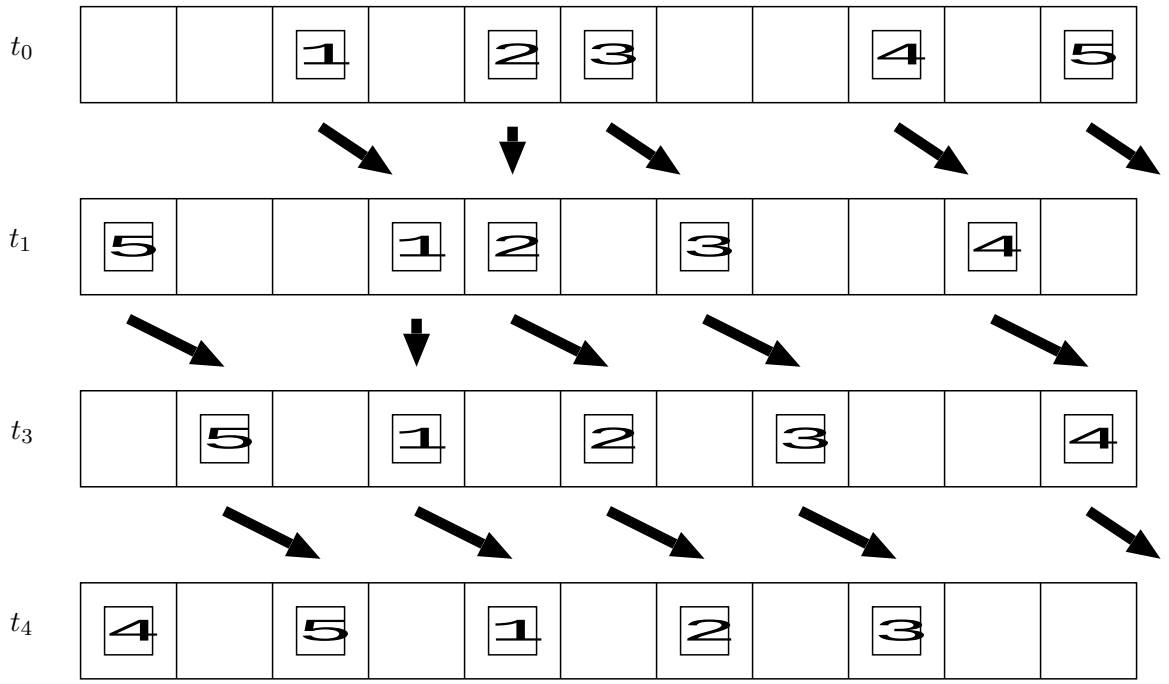


Fig. 12 周期境界条件の状態遷移図

左の結果をみると、密度が 0.5 以下のときは時間更新が行われるに連れて渋滞の場所がなくなって行き、安定した交通の流れになっている。

右の結果を見てみると、密度が 0.5 以上の時は、渋滞が起こるとその起こった渋滞が後ろへと伝わっている。このときの渋滞の形は安定していると言える。

次に、先程の条件の元で島状境界条件でのシミュレーションを行った。その結果が図 16 である。この結果をみると、平均密度は関係なく、ただ車が通過して行くだけで、また、新たな車の発生もないので、実際の交通流に適用するのは困難であると思われる。

3.6 Nagel-Schreckenberg モデルについて

ルール 184 では単純すぎるので実際の交通流とはかけ離れており、実際の交通流にあてはめるのが難しい。

この Nagel-Schreckenberg モデルは交通の流れを解析するためのモデルであり、1 つ 1 つの車の運動を追っていくものである。要するに、各車に今自分のいる位置と速度と前の車の間隔を判断させて、その車両の次の位置や速度を決めるものである。加速や減速の過程に着目して数式にしたモデルの一つ。

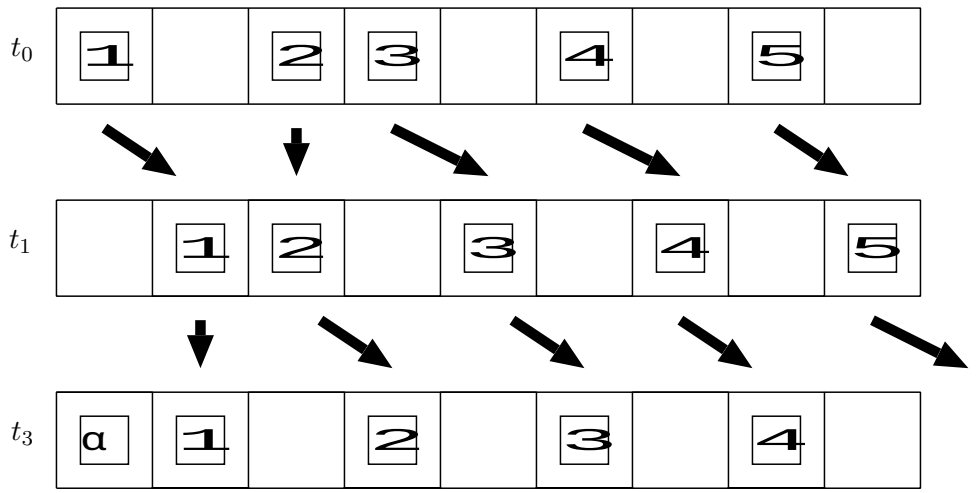


Fig. 13 開放境界条件の状態遷移図

1 つ 1 つの車の速度を 0 から v_{max} までの整数として考え、セルオートマトンモデルのアップデイトは 4 つの規則によって行なわれるものとしている。

- 加速：もし車の速度 v が最大速度 v_{max} より小さいとき、かつ現在の速度 v で進む距離に 1 セル分を加えた先の距離に他の車がいなければ速度を $(v+1)$ とする。
- 減速：車がセル i にいてその前の車がセル $(i+j)$ にいるときは、もし $j \leq v$ ならセル i にいる車の速度を $(j-1)$ とする。
- ランダムブレーキ：確率 p で車の速度が 0 でなければ速度を 1 小さくする。
- 車の運動：速度 v の車はその位置から v だけ進める。

ランダムブレーキは、「確率 p で車の速度が 0 でなければ速度を 1 小さくする」の捉え方によってルールが変わってくる。このランダムブレーキの適用が、速度変化したときの更新される前なのか更新された後なのかということである。

更新前の速度に適用する場合は、速度 0 から 1 に更新されたとしても更新前が 0 なので条件に合わない。また、更新後の速度に適用されるのであれば、0 から 1 に更新された車にも確率 p による減速が適用されて、確率 p に当てはまれば、この車の速度が 0 となり、次のステップで動かないこととなる。

例えば、更新が行なわれる前の速度 v_1 が 0 であり、その一つ前のセルが空いているならば、加速のルールによって速度が 0 から 1 に更新されるわけであるが、この時に「車の速度が 0 でなければ」という条件が、更新前の v_1 なのか更新後の速度に適用されるのかということであり、更新前であれば更新前は速度が 0 なので、確率 p は適用されずに前に

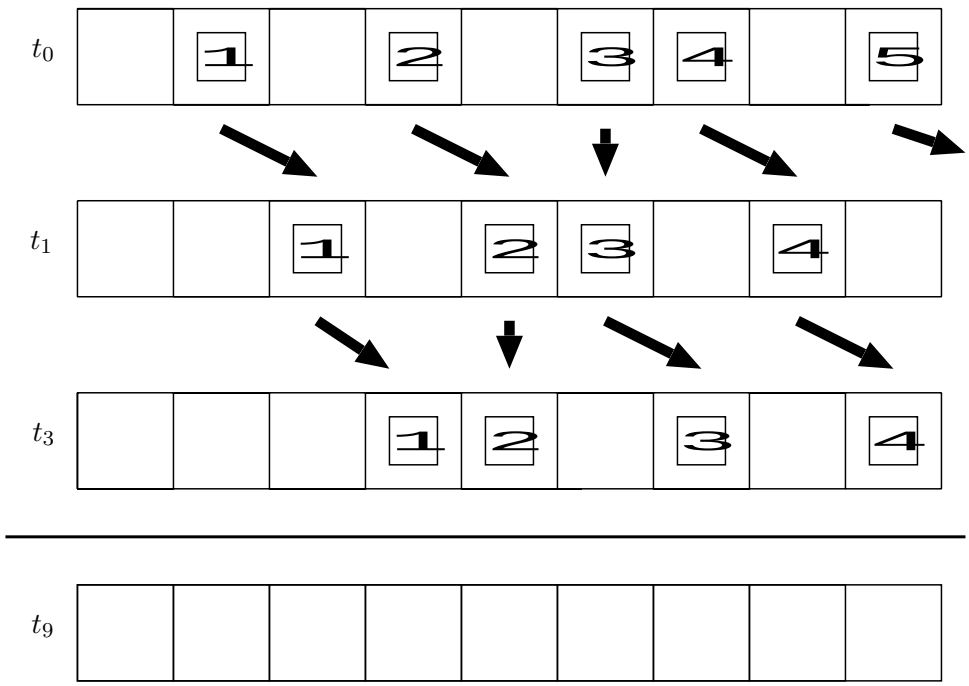


Fig. 14 島状境界条件の状態遷移図

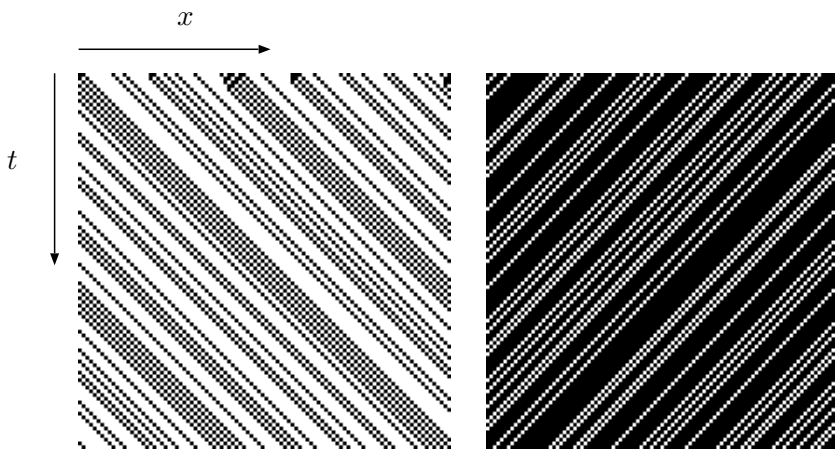


Fig. 15 左:平均密度 0.3 右:平均密度 0.8

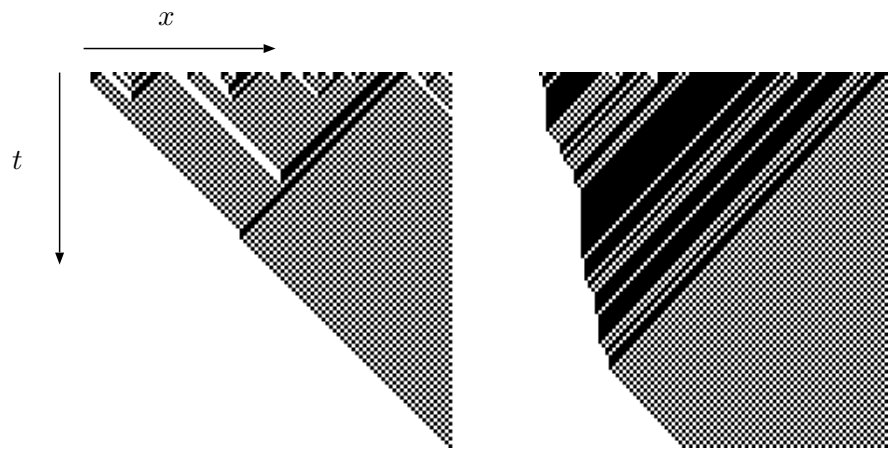


Fig. 16　左:平均密度 0.3 右:平均密度 0.8

進むこととなる。更新後では、速度 v_1 が 0 から 1 に更新された車にも確率による減速が適用され速度が 0 となってしまい、次のステップ時に動かなくなるということである。

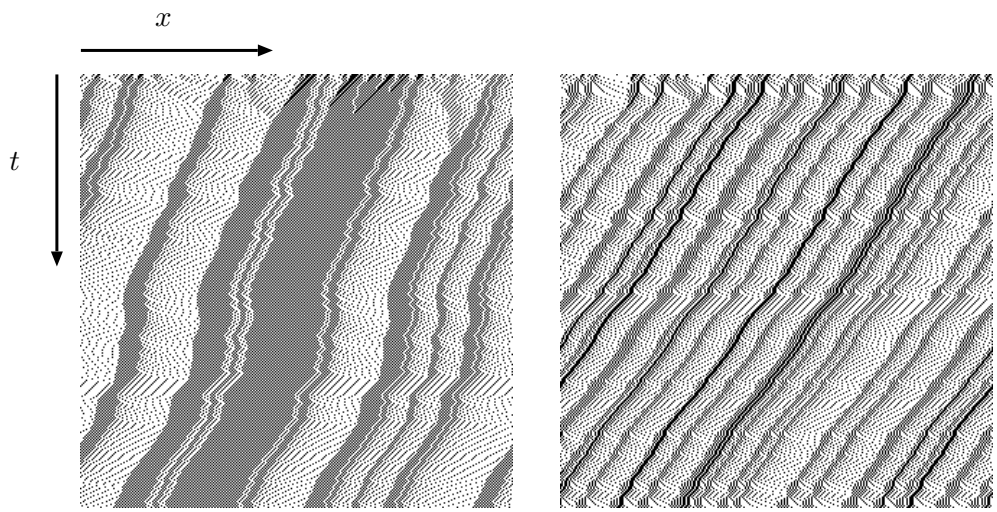
車の運動についても同様で、次のステップへ更新後の速度で進むのか、更新前の速度で進んでから速度が更新されるのかがわからないのである。

このモデルでの車の位置の問題だが、このルールには初期の車の配置を決めることがない。この場合、初期の配置がどのような場合でもよいことになるのだが、配置の決定は 2 種類ある。セルに適当に配置して時間ステップを行なっていくものと、全ての車を隣接させた状態から時間ステップを行なっていくものである。

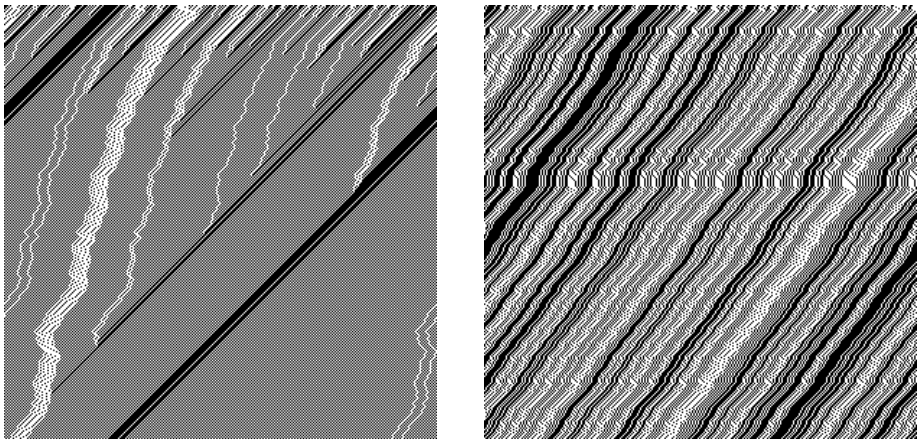
3.7　Nagel-Schreckenberg モデルのシュミレーション

ランダムブレーキを行なうタイミングによる違いを見るためにシミュレーションを行なった。シミュレーションを行なうにあたって、境界条件を周期境界条件、300 セルで 300 ステップ、最高速度 $v_{max} = 8$、初期速度をランダム、ランダムブレーキの確率 p を 0.3 とした。図 17 の左側がランダムブレーキを更新前に行なった結果で、右側がランダムブレーキを更新後に行なったものである。上から順に、平均密度が 0.3、0.5、0.7 である。

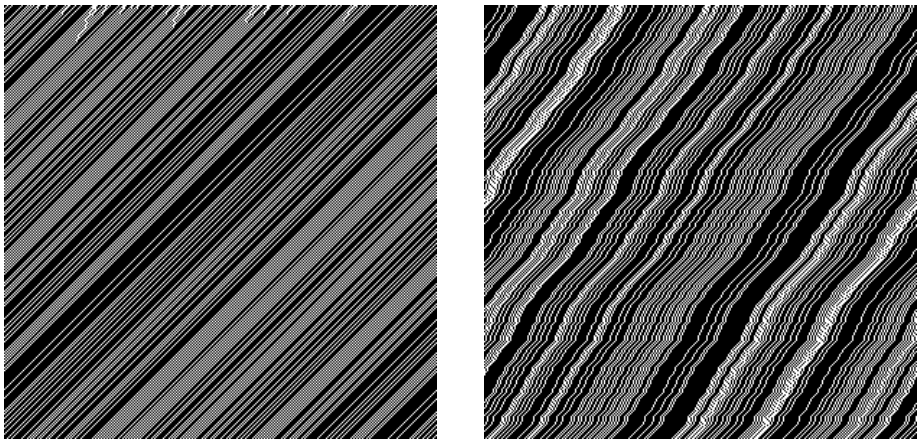
左右を比較してみると、右の方がより不規則な動きをしていることがわかる。このことより、更新前にランダムブレーキをが起こるよりも更新後にランダムブレーキが起こる方がより実際の交通流らしいのではないか。



$\rho = 0.3$ $\rho = 0.3$



$\rho = 0.5$ $\rho = 0.5$



$\rho = 0.7$ $\rho = 0.7$

Fig. 17 左:更新前にランダムブレーキ 右:更新後にランダムブレーキ

4　過去の研究と本研究の目的

4.1　確率 p の変化の影響

木原氏の研究 [1)] では、登り坂による影響に焦点をあてて、確率 p の変化による影響をみるシミュレーションと、最高速度制限を区間によって変化さて登り坂の実装を試みるシュミレーションを行っていた。このときの境界条件は、周期境界条件としていた。

確率 p での影響は、実際の交通で、カーブや登り坂などによる減速、信号や一時停止などによる、その後ろの交通渋滞という状況を「確率による減速」のルールより、確率を上げた場合の速度の減速で近づけるのではないか、というものであった。その考察として、結果とこのモデルのルールをみると、確率を上げても車が加速条件を満たしている場合、一旦動き出すと加速条件を満たさなくなるまで速度が 0 にならなく、平均速度は落ちるが止まったままの確率が上がってしまうために実際の交通流への適用は難しいと言っている。

実際にシミュレーションを行なってみた。確率を上から順に $p = 0$、$p = 0.4$、$p = 0.7$ で行ない、300 セルで 300 ステップ、最高速度 $v_{max} = 8$、平均密度を 0.4 としてシミュレーションを行なってみた。その結果を図 18 に示す。

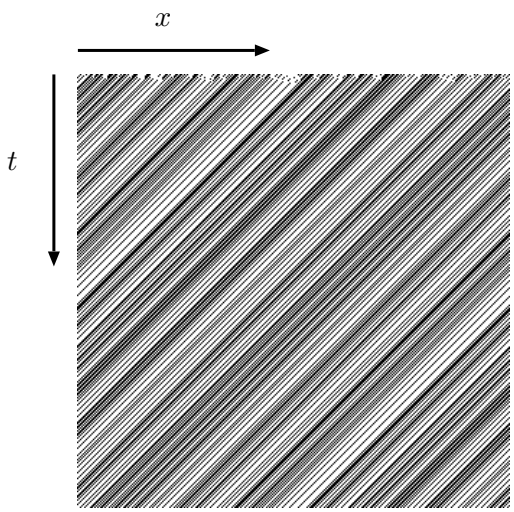
ランダムブレーキの確率 $p = 0$、つまり加速と減速のルールだけの時の結果をみてみるとスムーズに交通が流れている。確率 $p = 0.4$ の結果をみてみると、所々で急ブレーキをかける車がみられ、その影響により、渋滞が起こり、それが後方へ伝播していっている。確率 $p = 0.7$ の結果をみてみると急ブレーキをかける車が多く見られ、その影響が後方へ伝播していっているのがわかる。

4.2　区間での最高速度変更による影響

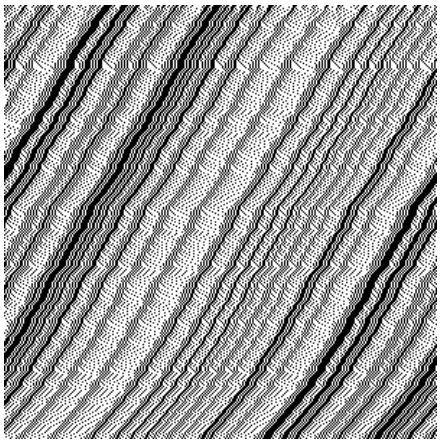
道路状況や斜線の数、坂やカーブ等の様々な条件を考えると、その場所によって最高速度が変わると思われる。このことをセルオートマトンに実装して、どのような影響がでるのかを考察する、例として、最高速度の平坦な道から、途中で坂道を登ることによりその速度以下とする。この方法でシミュレーションを行なった。

まずの状況で行なった結果から木原氏 [1)] が考察したことは、最高速度制限の変化が起こっても全体には影響がなく、渋滞も変化には関係なかったので、もう少し幅を広げて行なう必要がある、というものであった。

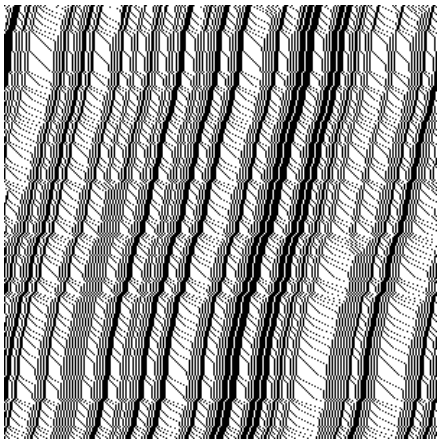
次に、木原氏は 300 セル 300 ステップの状況でシミュレーションを行なった。その結果の考察は、中密度から高密度の領域では、区間によって最高速度を制限してもあまり意味が無く、車の密度がある程度大きくなると加速しても最高速度の前に減速が起こるため、



$p = 0$



$p = 0.4$



$p = 0.7$

Fig. 18 上:確率 $p = 0$ 中:確率 $p = 0.4$ 下:確率 $p = 0.7$

最高速度の意味が無くなるので、このシミュレーションも坂を表しているのかがわからないというものであった。

この 2 つのシミュレーションは、速度の速い領域から速度の遅い領域に向かうことになるから、速度の遅い領域は平均速度が遅くなるので、この 2 つの領域の堺目で渋滞が起こることが予想できる。木原氏の行ったシミュレーションでは、左右 2 つの最高速度制限区間の元で周期境界条件で行われている。坂の左と右は道の状況が違うので、それを周期でつなぐのは問題があると思われる。

このように、木原氏は坂についての研究を行った。今回の研究ではカーブの実装を試みる。坂はその区間で速度の減少や速度の増加が起こるだけだが、カーブは入る前の徐々に減速する区間とカーブをしている間の速度の遅い区間、さらにブレーキを踏むということを考慮しなくてはいけなくなる。

5　カーブの実現とそのシミュレーション

5.1　カーブの実現方法について

登り坂と同じような影響の出ると予想されるカーブの実装を考えてみる。カーブの場合は、カーブを抜けた後はカーブの手前と道の状況が同じとみることができるので、境界条件は周期境界条件でつないで行ってもよいと考えられる。しかし、これには問題点もあり、カーブによる渋滞の影響は後へと伝わって行くので、周期境界条件だとそれが最終的には前方に現われることになり、ステップを進めていくと再びカーブ内にその影響が入ってしまうことになる。しかし、これはカーブの前後を十分長く取って、カーブの影響が前方からカーブに再入する前にステップをやめることで回避でき、また、影響が再入したとしても、カーブが周期的に存在するような道のシミュレーションにもなるという見方もできる。

現実での場合、少し手前から徐々に減速していきカーブに入るのが普通である。カーブにさしかかった際に急ブレーキで速度を落とすということは通常ありえない。Nagel-Schreckenberg モデルでシミュレーションを行うということは、どの場所でも減速の際に急ブレーキを可としていることとなる。ということは、カーブの手前の減速の際に、急ブレーキで車の速度を落とすことになる。ということは、このモデルでカーブの実装は難しいのではないか。

このことから、このモデルでカーブのシミュレーションを行う方法として 2 通り考えられる。一つは、このモデルのルールに従ってどこでも急ブレーキを可としてシミュレーションを行う、というものである。もう一つは、減速のルールを改良して、大きな速度を持つ車でもどこのセルであろうとも徐々に減速をして、前の車の状況に合わせて加速する

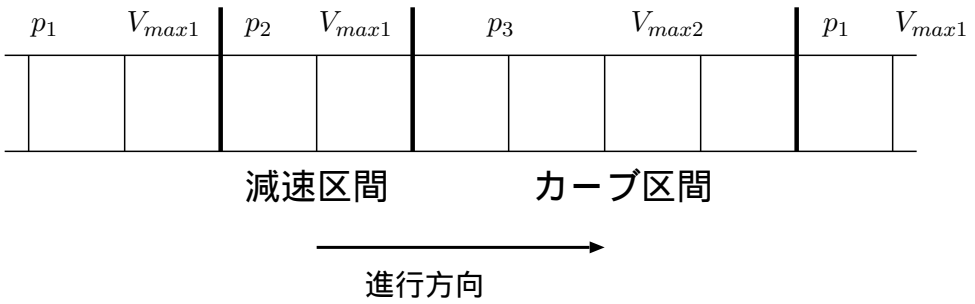


Fig. 19 カーブの実装方法

ようにする、というものである。今回は Nagel-Schreckenberg モデルのルールに従ってシミュレーションを行うこととする。

カーブの実現方法として、図 19 のように最高速度を変えた 2 つの区間と 3 つのランダムブレーキの確率を変えた区間をつくる。カーブの直前で減速するので、その部分のランダムブレーキの確率を高くし、その前と後の区間を低くして、まっすぐな道とすることで、確率を高くした区間の右端の先からカーブになるのではないかと考えて実験した。

5.2 Nagel-Schreckenberg モデルに従ったシミュレーション

まず、モデルのルールにしたがった上でカーブの実現を試みる。

ランダムに初期速度を与え、500 セルで 500 ステップ、境界条件を周期境界条件、最高速度 8 とし速度 2 以上の車両がランダムブレーキを行い、区間の制限速度とランダムブレーキの確率の区間による違いは図 5.2 のような条件の元でシミュレーションを行った。

その結果を図 21 と図 22 に示す。図 21 の上が平均密度 0.2 で下が 0.4、図 22 の上が平均密度 0.6 で下が 0.8 となっている。

5.3 考察

シミュレーションを行った結果を見てみると、低密度である場合は、カーブにささかることで起こる減速によって渋滞が発生し、カーブの最中で少し密度が高くなるものの、カーブを抜けると同時に加速することでスムーズな交通の流れとなっている。

しかし、高密度になるにつれて、前のカーブの影響を受けたものがカーブを抜けた車に伝播してしまっている。

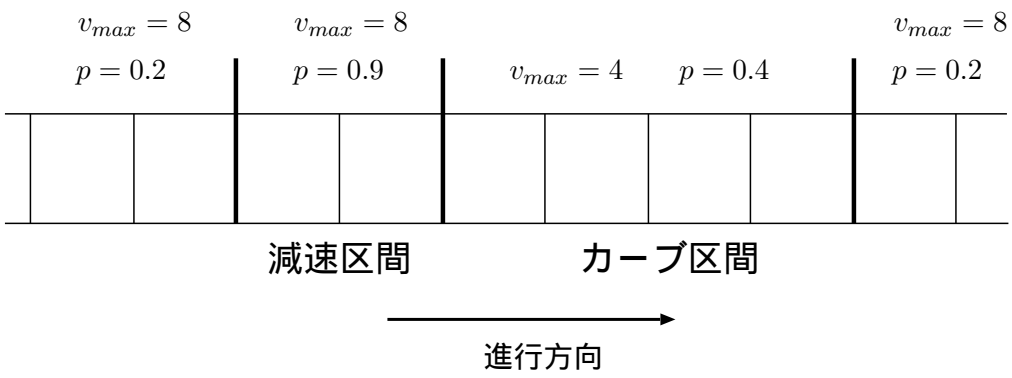


Fig. 20 カーブのシミュレーションの条件

高密度の所ではランダムブレーキの影響にあまり関係なく渋滞列が多く発生してしまい、後方の渋滞がカーブの影響によるものなのかが判断しずらく、ただ混んでいるだけになってしまっている。平均密度 0.5 以下で実験結果を見てみると、実際の交通流に似たような動きをしていた。このことから、周期境界条件の元で実験を行い、交通流に当てはめて判断をするには平均密度 0.5 以下で広範囲で行うのがよいのではないか。

また、急ブレーキを可としていることにより、やはり減速区間において急に止まる車が多く、その影響により減速区間の後方でかなりの渋滞が発生してしまっている。また、このことから、このモデルでの実装は当初の予想通りに困難であると思われる。

6 まとめ

過去に行なわれた研究 [1] で、Nagel-Schreckenberg モデルのルールで登り坂の実装をしたらどうなるのか、というものがあった。その研究の発展として、登り坂と同じような影響がでると思われるカーブの実装を試みた。今回は Nagel-Schreckenberg モデルのルールに従ってシミュレーションを行ったところ、カーブらしい動きはしていたものの、急ブレーキをする車が多く、実際の交通流の動きとは言いがたい結果となった。また、登り坂による交通流への影響とカーブによる交通流への影響を比べてみたら、100 セルで 100 ステップでは両方ともそれによる影響なのかの判断が難しく大きな範囲で見る必要があった。そこで、500 セルで 500 ステップで実験を行ったところ、平均密度 0.5 以下で実験を行った結果で、登り坂であるかのような動きを見せ、また、カーブによる影響のような動きもみせていた。このことから、境界条件が周期境界条件である場合、広範囲で低密度の元で実験を行うことが好ましい。

Nagel-Schreckenberg モデルのルールでカーブのシミュレーションを行うと、減速のルールにより、常に急ブレーキを起こしてしまう。そのため、現実の交通には当てはまらない

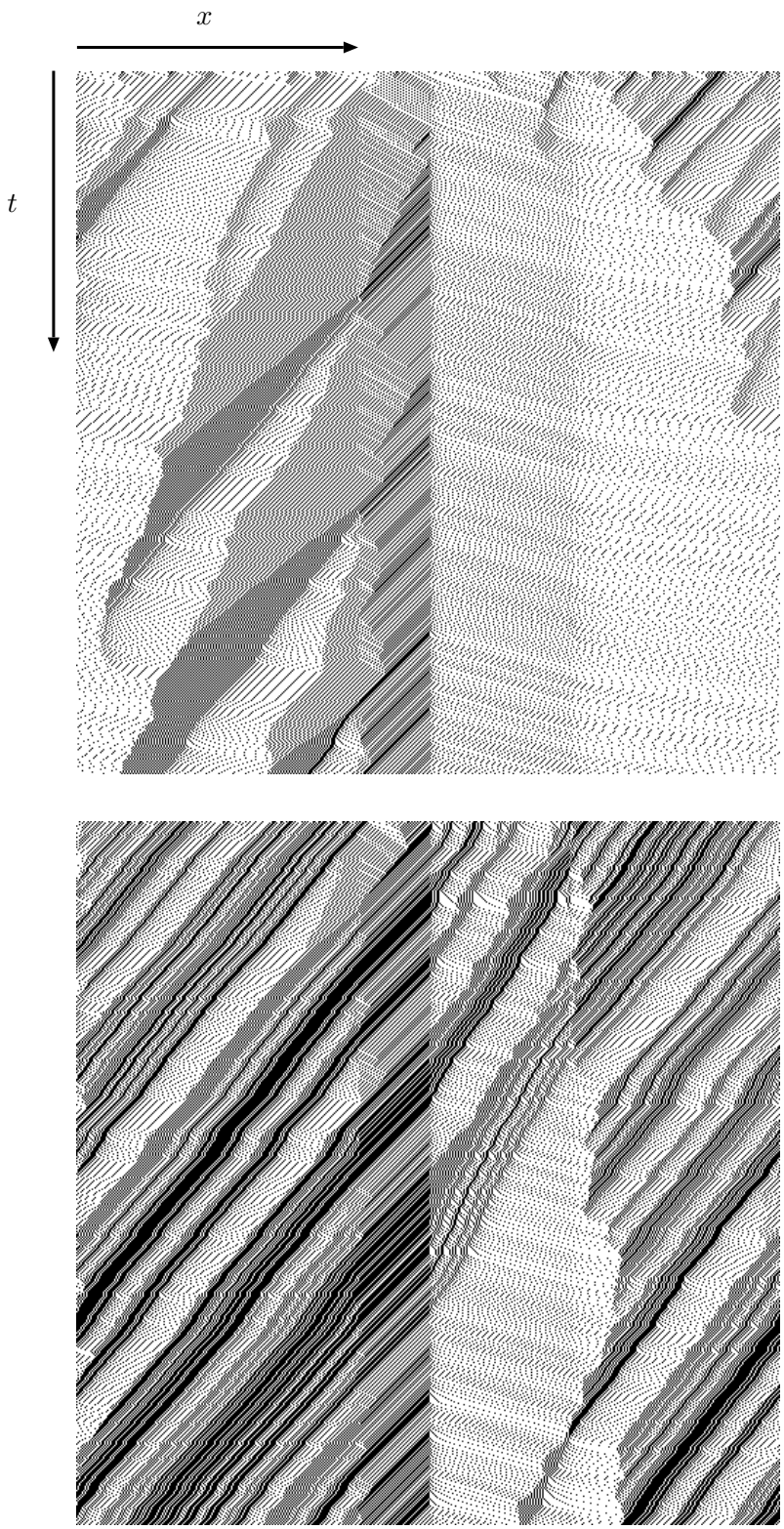


Fig. 21 上:平均密度 0.2 下:平均密度 0.4

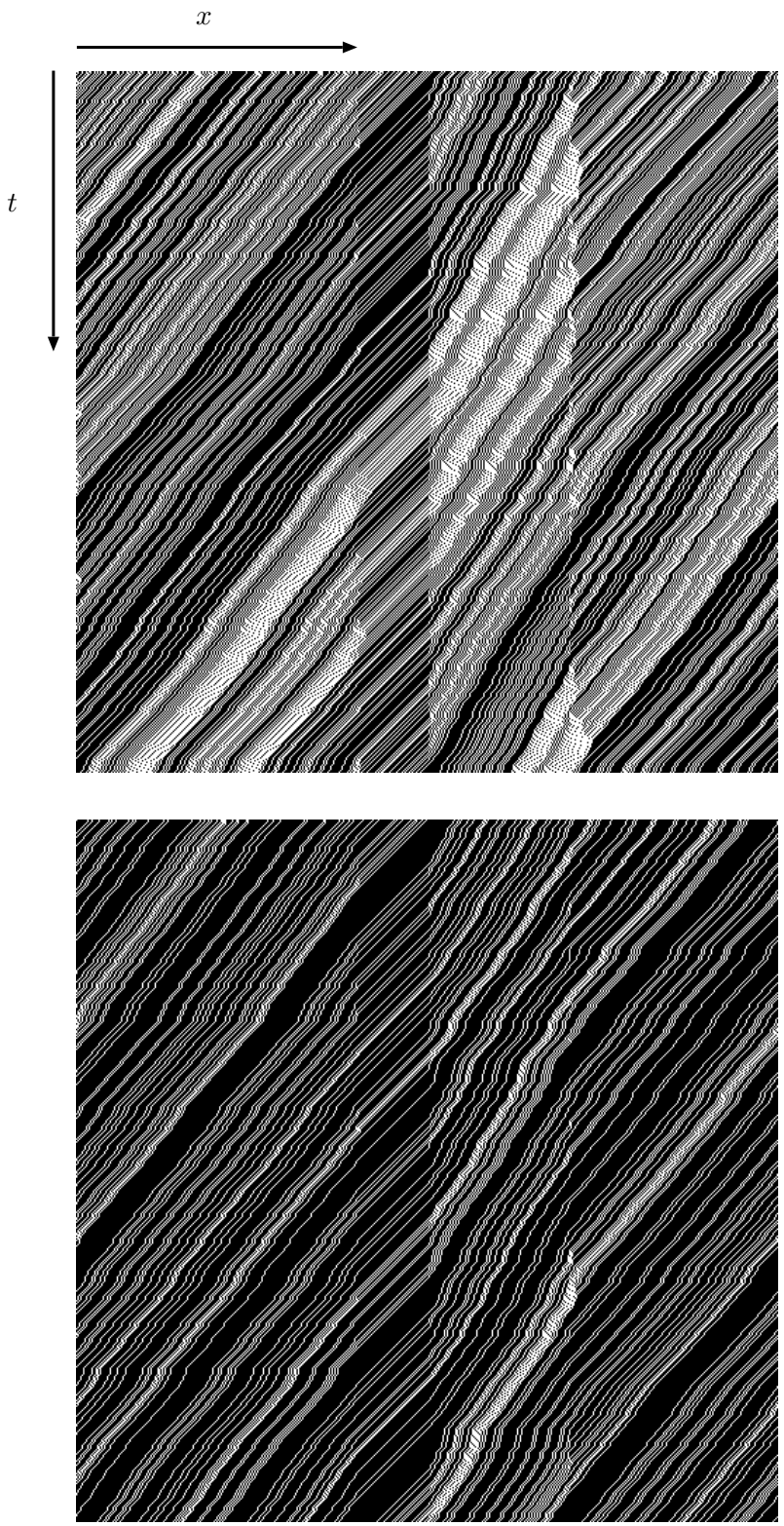


Fig. 22　上:平均密度 0.6 下:平均密度 0.8

動きになることから、この減速のルールを改良して、どの場所に置いても常に徐々に減速をして、急ブレーキを起こさないようにすることが今後の課題である。

参考文献

[1] 木原 修：” セルオートマトンモデルによる交通流解析”，(2000)

[2] 東海林 隼人：” 交通流の流体モデルにおけるカーブの考察とその数値解析”，新潟工科大学情報電子工学科卒業論文，(2002)

[3] 宮入 洋介：” 交通流解析における流体モデルとセルオートマトンモデルの比較”，新潟工科大学情報電子工学科卒業論文，(2003)

[4] 松村 智尋：” セルオートマトンによる交通流モデルの基本図について”，新潟工科大学情報電子工学科卒業論文，(2005)

[5] R. ハーバマン：交通流の数学モデル，(現代数学社，1980)

[6] 林 晴比古：改訂 新 C 言語入門 ビギナー編，(SOFT BANK，1991)

[7] 林 晴比古：改訂 新 C 言語入門 応用編，(SOFT BANK，1981)