

アリの渋滞

香取研究室

高谷純悟

アリの道しるべフェロモン

アリの一行で進行させているフェロモンが道しるべフェロモンと呼ばれるもので、アリはこのフェロモンを地面に分泌することで巣から採餌や帰巣に利用する。

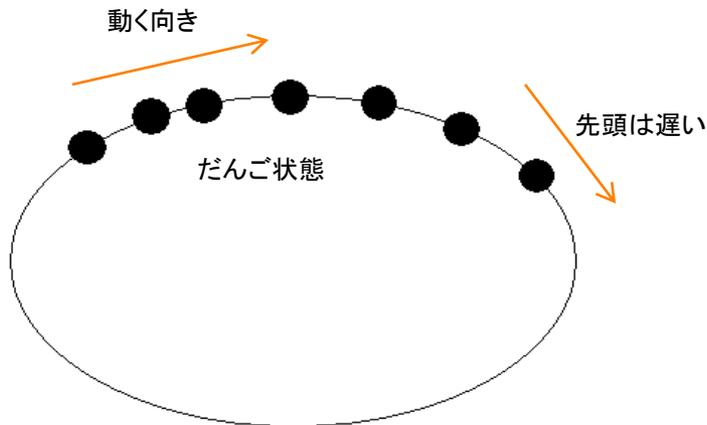
一行で動くのは、車と同じである。そこでアリと車の動きを比較してみる。

車はドライバーの視覚から入ってくる情報をもとに動く、車間距離が小さくなれば遅くなり、逆に車間距離が大きくなれば速くなる。

それに対し、アリは嗅覚でフェロモンを感じ行動している。つまりアリは自ら動けるといっても、フェロモンの助けがあったほうがより速く動けるため、自己駆動粒子でありながら他のアリにも大いに手助けされている。

これを考えると、アリは単純に混んでくると遅くなるとはいえない。なぜならばフェロモンは揮発性だからである。前にいるアリがフェロモンは時間がたつと蒸発してしまう。したがってアリ間距離が小さいほうがフェロモンは蒸発せずに地面に残っている確率が高くなり、そしてフェロモンが残っていればアリは迷わずに進めるので速く動ける。

サーキットのような周回運動をするアリの動き



アリはその数が少ない場合、なるべく固まりになって動かそうとする。

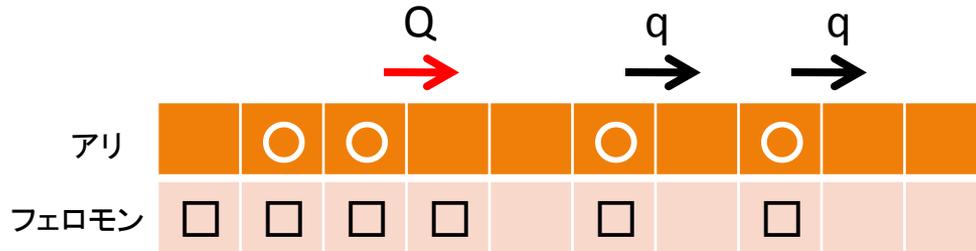
低密度でもクラスターを形成しているのは、車の場合とまったく異なる。低密度の自由流でもこのように集まってしまう理由は、やはりフェロモンの性質である。

左の図で考えよう。この場合クラスターの先頭のアリの前を歩いているアリはそのクラスターの一番最後のアリである。

この場合先頭のアリだけは前のアリとの距離が長いので、フェロモンが既に蒸発している可能性が高くなり、遅い速度で動く。するとクラスター全体の速さは先頭のアリの速さが決めてしまうので、全体がその遅い速度で動かざるを得ない。

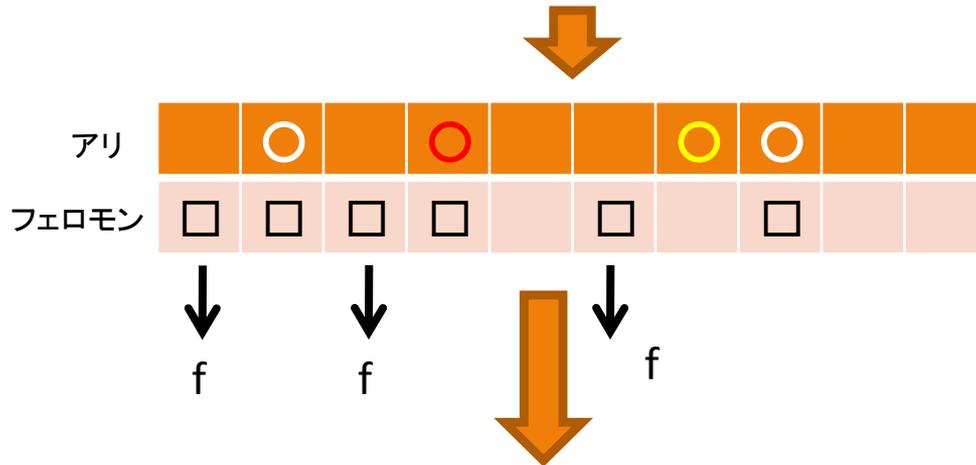
しかし、この状態でアリの数が増えてくれば、サーキット全体の長さが変わらないので、次第にクラスターの先頭と末尾のアリの距離が短くなる。そのため、末尾のアリが落としたフェロモンを先頭のアリが見つけることができる。したがって、今まで遅かった先頭のアリが速く動けるのでクラスター全体も速く動ける。これが「混んでくると速くなる」原因である。

アリのセルオートマトンモデルについて



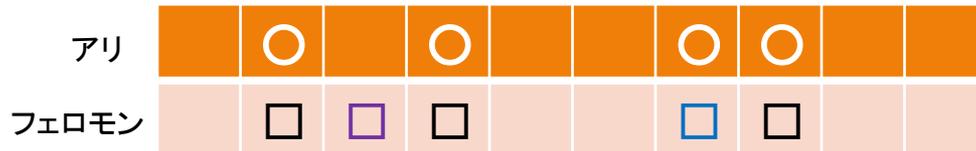
ステージ1

前にアリがいるときはそのアリは動けない。
前にアリがいないときは前に進もうとするが、その前セルのフェロモンのあるなしによって進む確率が変わる。左図のように前にフェロモンがある場合は Q 、もしフェロモンがない場合は q の確率で進む。
 $Q > q$ とする



ステージ2

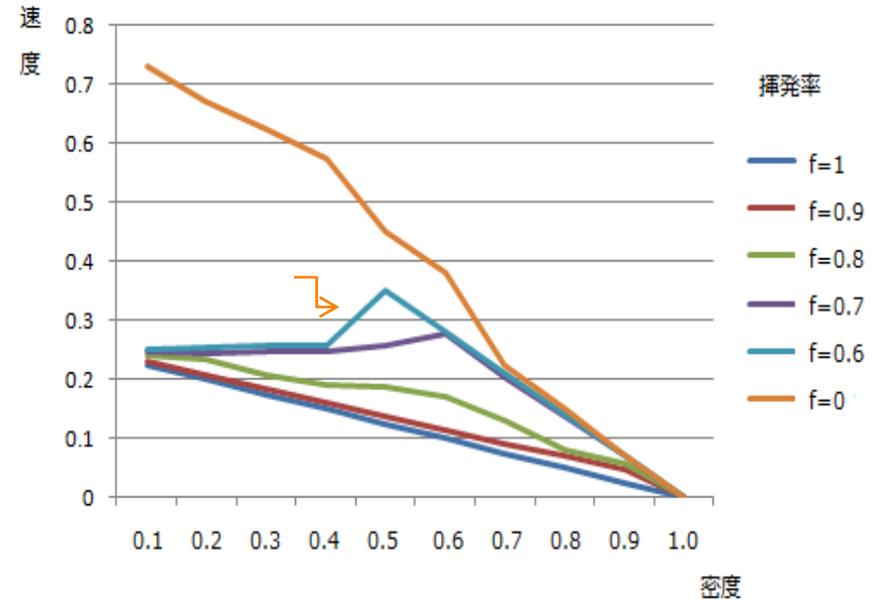
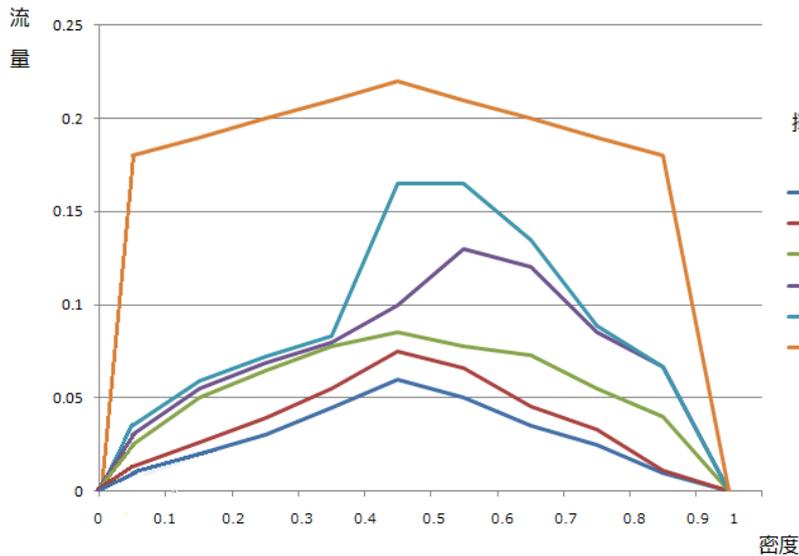
ステップ1が終了した時点でアリがいないフェロモンは確率 f で蒸発する。
また、アリがいるセルはすべてフェロモンが生成する。



以上の二つのステージを繰り返すのがアリのセルオートマトンモデルである。
以降のページではこの二つのステージを一回行うことを1ステップと呼ぶ。
フェロモンの揮発率 f を0とすればフェロモンは蒸発しないので、ASEPとまったく同じになる。

シミュレーション結果

Q=0.75 q=0.25

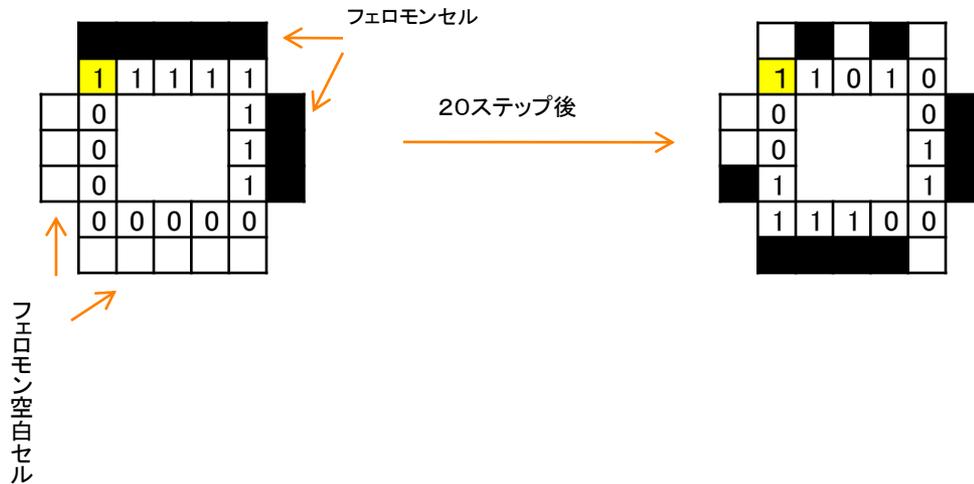


これは実際にプログラムを作り、流量と密度の関係、速度と密度の関係を調べたものである。
右図の速度と密度の関係では、確かに密度が上がると速度が上がっている。(図矢印部)
密度が上がると全体の速度が上がるとい現象は、普通車などの単純なASEPモデルでは得ることができない。この点がASEPモデルのデータとの最大の違いと言えるだろう。
もちろん、さらに密度が高くなり全体を覆い隠してしまうと、再びアリの堆積排除効果により車と同じく渋滞する。

ここで流量という言葉の説明をしよう。(左図の縦軸)
流量とは、ある1点を通る粒子の数をステップ数で割ったもの。(例ステップ数5、通過した粒子1なら流量は0. 2)
流量を調べることは渋滞学を学ぶ上で大変重要な意味がある

手動での実験

何を思ったのか、アリの移動及び揮発率をさいころの目で決める実験をしたのでその実験結果とシミュレーションの速度を比較してみようと思う。



図の説明

1や0と書いてあるセルはアリが動き回るセルである。

1がアリがいるセル、0は空白のセルを示す。

周りのセルはフェロモンが存在するか否かのセルで、塗りつぶしがフェロモンあり、空白はフェロモンが存在しないセルである。

アリは前のセルに移動する際、前のフェロモンセルが黒の場合 $Q=0.66$ 、白の場合 $q=0.33$ の確率で前に進む。

なお、この実験ではアリは右回りのみの方向に進む。

結果 密度0.5 サンプル数500ステップ
速度0.24 流量1.25

同じように密度0.125の場合もやってみた
結果
速度0.302 流量0.035

流量は図の黄色セルを通過した粒子÷ステップ数である

サイコロ実験では密度が低いほうが速い
どこで間違えたのかを検証してみる

初期の配置が悪かったのではないかな？



最初の配置で大渋滞を起こしている位置からのスタートでは正しく速度を測定できない可能性がある。
故にこの位置から250ステップ後から速度を計算してみる。

密度0.5
結果
速度0.246 流量1.36

やはり密度が低いときのほうが早いという結果になった。
流量を計算する時に密度0.125の場合250ステップの間に黄色部分
を通過した粒子は12個
このことから明らかにサンプル数が足りていないことが分かる。

密度0.125の場合
結果
速度0.302 流量0.044

つまりサイコロを使った実験は失敗、コンピュータでのシミュレーション
がいかに素晴らしい(楽で、正確)であるか身をもって実感する結果と
なった。

まとめ

アリのセルオートマトンのシミュレーションでは、確かに密度が高くなることで全体の速度が上がる事が確認できた。

しかし、ステップ数が不十分な場合は確率が収束しないので正しい結果は得られなかった。