

# 自己駆動粒子による渋滞シュミレーション (第2版)

SHIMURA Masato  
*jcd02773@nifty.ne.jp*

2008年11月6日

## 目次

1	セルオートマンと自己駆動粒子	2
2	シュミレーションの例	4
3	サーキット・アルゴリズム	10
4	ビッグタイトル	11
5	エピローグ	12
6	Reference	13
付録 A	アルゴリズムの解説	14
付録 B	J と Script の入手	18

## 概要

セル・オートマンの駆動方式として自己駆動粒子の組み込みが始まっている。自己駆動粒子を組み込むことで、集団の行進のシミュレーションができ、渋滞現象の解析に応用できる。

# 1 セルオートマンと自己駆動粒子

セル・オートマンはフォン・ノイマン (1903-1957) が提唱した。早期の有名な活用例はコンウェイによるライフゲーム (1970) である。<sup>\*1\*2</sup>かの *Mathematica* を創ったブオルフラムはセル・オートマンの研究でも知られセル・オートマンと微分方程式の関係の解明と残された課題を示している。

## 1.1 セル

人や動物の行進には複雑系の挙動が入るが、セル・オートマンに自己駆動粒子 (Self-driven particles) を組み込んで簡易シミュレーションを行うことが最近注目されている。自己駆動粒子の駆動アルゴリズムとして ASEP と ZRP をエンジンとして用いて、交通流シミュレーションを行ってみる。

属性 個々の固体に属性を設定しないで、全てが ASEP と ZRP の単純なルールで行進する。

セルサイズ 行進の距離と時間からセルサイズは割り出せるが特に大きさを設定したりはしない。

行動ルール 次の ASEP と ZRP の 2 による。d

## 1.2 ASEP

最近非平衡系の可解モデルとして注目されている非対象単純排他過程・ASEP (Asymmetric Simple Exclusion Process) はセル・オートマンを用いたモデルである。これの交通流と渋滞モデルへの応用が進んでいる。

ASEP は、生物学で細胞内のたんぱく質生成過程を研究していたマクドナルドとギブスによって 1968 年に考案されたモデルでタンパク質の伝送での渋滞の有無を検討したものが最初であると言われる。

1 車線 (2 次元) のモデルを考える。ここでの ASEP のルールは非常に単純である。

### 1. できること

- (a) 前が空いていれば進む
- (b) 前が詰まっていれば進めない

### 2. できないこと

- (a) 追い越し、上乗り越し

---

<sup>\*1</sup> J の LAB にグラフィック付きのデモが入っている。

<sup>\*2</sup> コンウェイはケンブリッジからプリンストンのフォン・ノイマン教授職に就任している

- (b) 突き飛ばしたり、恫喝して前をあげさせる
- (c) 行進をやめて道草すること

この単純なルールで行進(草食恐竜、野牛、亀、蟻、車)のシミュレーションができる。  
0/1 は確率で打ち出す。これを → の方向に進める。

```
tmp=. 0.55 mk_prob 24
1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0
```

\*3

ASEP の行進モデル ⇒ に進む。上が  $t$ 、下が  $t+1$  である。

```
tmp,:1 forward_asep_sub2 tmp=. 0.55 mk_prob 24
1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 NB. t
1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 NB. t+1
```

### 1.3 ZRP

ZRP(Zero Range Process) はアドホックな通信プロトコルの方式として提唱されているが、これを用いれば車の Hop 確率<sup>\*4</sup>が単独でその車の前方の車間距離のみで決められることになる。これを追越しの制御に用いれば単純に横方向への分岐(動作)ができ、レーン変更の制御が可能となる。

ZRP には次のルールを賦した。

(ZRP のルールは作成者に委ねられており、自由に変更してもよい)

些か行動的なレーン変更。このモードを標準とする。

1. 集団の先頭以外は変更を考える(先頭は ASEP で前進する)
2. 1 ステップ毎に確率(メトロポリス法を用いる)により候補を選ぶ
3. 空いている場合のみ
4.  $t+1$  で斜め前に動く

進行方向は ⇒

候補 ASEP 以前の状態で 2 台目以降の候補を選ぶ

```
0 2 { (bare a), bare 0.5 index_zrp_sub a
```

---

\*3 ほんの少し手を加えればランダムウォークになる。

```
+/\ (12>24?24){1 _1
_1 0 _1 _2 _1 0 _1 0 _1 0 1 0 _1 0 1 2 3 2 3 2 1 2 1 0
```

\*4 ホップ確率 今いるサイトから一つ隣のサイトへ移る確率

```

0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 NB. origin
0 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 NB. zrp candidate

```

比較 asep 後のビット 1 のアドレスと zrp 候補のアドレスを比較する。

```

1 forward_asep_sub1 ;{: a NB. {: take counter lane
0 1 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0

```

```

I. 1 forward_asep_sub1 ;{: a
1 2 3 4 6 8 9 10 11 13 16 18 19 21 23

```

```

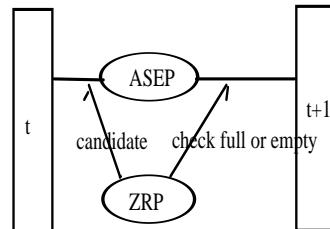
>: @I. {. bare 0.5 index_zrp_sub a NB. >: is 1++
6 10 11 12 16 NB. 12 is free

```

選択 No12 が空いているのでここに zrp を行う。I. は 2 進数のビットの立った位置のアドレスを得る。

## 1.4 ASEP と ZRP

1 ステップで ASEP と ZRP を行う  
 分岐は ASEP を先に行う ASEP 優先とした。ZRP は ASEP を予測した後の斜め前の空間を探索し、空間があれば行う。  
 (レーン変更は ASEP 単独より効率的になる。)



## 2 シミュレーションの例

葉切蟻から大機母集団でアメリカ大陸を南北に移動した草食恐竜までシミュレーションの範囲に含める。従ってセルの大きさと 1 ステップの時間速度は任意である。ZRP のメトロポリス法の確率は混雑度  $p$  をそのまま用いている。

確率  $p$  混雑率に従って確率を設定する。

セル イニシャルで 3600/4000/4500 セル (1 列) などと指定できる。(全体での濃淡が起こらないように 300 セルを 1 セグメントとして 6 セグメントに分割) 3600 に確率 0.2 から 0.75 をかけたものが初期設定となり、総セルに対する存在率となる。3600 セル,  $p = 0.5$  では 1800 匹  $\times 2$  のタートルがスタートする。

走行 ここでは自走型で設定する。自走型は前に押さえがないと早期に整流になり快調に走行 (歩行) してしまうため、初期データの複製 (CAP) を順次カウンターにより取り出し前方へ障害として配置する。計算時間を要するため各確率あたり 3 回計算し、平均値を求める。(大きな階差は出ない)

各ステップの走行 自走式とし

(1) 1 ステップで ASEP と ZRP を一回実行する。ASEP 優先ルールである。詰まって動けない場合で ZRP が可能な場合は ZRP を行う。

走行時間とゴール判定 初期設定で 12 セグメント 3600/4000/4500 ステップ分をグリッドに割り当て、これが 3600/4000/4500 ステップのポイントを通過すればゴールとする。(F1 方式) ステップは 3600/4000/4500 回に設定する。1 ステップを 1 秒とすれば 1 時間に相当する。ここではスタート地点の先頭をゴールとする好条件でカウントしている。

300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	goal	goal	.	.	.	.	.	.
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	---	---	---	---	---	---

相対速度 スタートした台数と 3600/4000/4500 ステップ後の位置を検知し、差を進んだステップ数とする。各個体には個体ナンバーなど属性を賦していないので、位置のみで判定し、追い越しによる個別速度は考慮しないが平均されていると考える。各車の進行ステップを 3600/4000/4500 で割り、相対速度を求めて全個体を平均する。

シュミレーションの回数 計算時間を考慮し各確率ごとに 3 回とした。個別の値も求められる。3 回の結果の変動幅は少ないようだ。

## 2.1 ASEP 単独

個体数では混雑度 0.4 にピークが来るが左右は不均衡となる。速度は右下がりとなる。

```
pick_total a1
p  進行数 標準偏差 速度 未到達 到達数 未到達% 到達%
pick_total a2
0.2 3486.67 203.98 96.85 0.33 1439.67 0.02 99.98
0.25 3397.25 284.65 94.37 0 1800 0 100
0.3 3268.14 358.96 90.78 0.33 2159.67 0.02 99.98
```

0.35	3076.18	407.63	85.45	1.33	2518.67	0.05	99.95
0.4	2807.12	372.17	77.98	177.67	2702.33	6.17	93.83
0.45	2523.95	313.84	70.11	684	2556	21.11	78.89
0.5	2250.75	259.96	62.52	1200	2400	33.33	66.67
0.55	1983.06	210.16	55.08	1727	2233	43.61	56.39
0.6	1727.43	166.69	47.98	2258.67	2061.33	52.28	47.72
0.65	1479.53	128.31	41.1	2812.33	1867.67	60.09	39.91
0.7	1241.52	93.16	34.49	3377.67	1662.33	67.02	32.98
0.75	1012.49	65.11	28.12	3955.33	1444.67	73.25	26.75

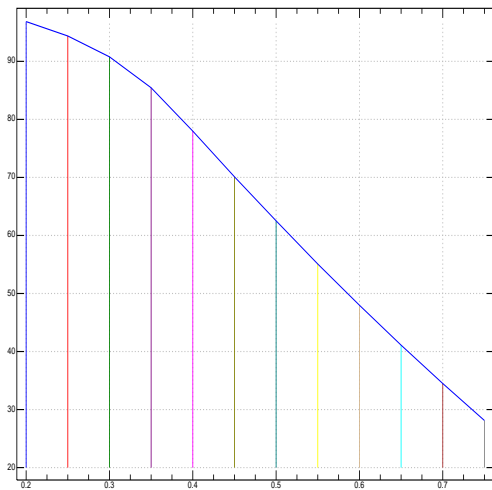


図 1 Speed and p

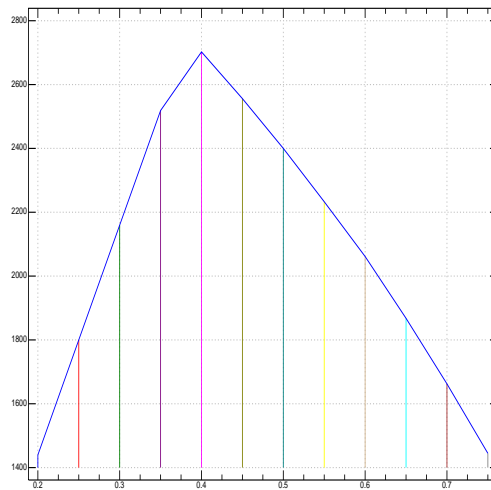


図 2 Volume and p

## 2.2 ZRP 併用

左は ZRP は ASEP と同時にレーン変更も行うモデルである。先の ASEP のテーブルと比較すると ZRP で 10% ほど効率が上がっているこれは多少攻撃的な ZRP の設定も影響している。個体数のピークは 0.45 でやはり左右不均衡である。

```
pick_total a1
```

p	進行数	標準偏差	速度	未到達	到達数	未到達%	到達%
0.2	3541.68	129.11	98.38	0	1440	0	100
0.25	3503.11	174.83	97.31	0	1800	0	100
0.3	3436.91	234.06	95.47	0.33	2159.67	0.02	99.98
0.35	3322.19	300.77	92.28	0.33	2519.67	0.01	99.99
0.4	3139.07	346.36	87.2	1	2879	0.03	99.97
0.45	2941.69	300.53	81.71	170.33	3069.67	5.26	94.74

0.5	2687.08	243.69	74.64	636.67	2963.33	17.69	82.31
0.55	2463.47	207.73	68.43	1066	2894	26.92	73.08
0.6	2240.2	157.21	62.23	1535.67	2784.33	35.55	64.45
0.65	1977.13	131.84	54.92	2076	2604	44.36	55.64
0.7	1748.21	102.58	48.56	2603.67	2436.33	51.66	48.34
0.75	1499.63	75.82	41.66	3188	2212	59.04	40.96

ASEP と ZRP を併用した場合の、 $p$  による通過数と 100 に対する相対速度 (%) のシミュレーション例を示す。数は  $p = 0.65$  付近が最大となる非対称の折れ線で、相対速度は右下がりの一次の線であらわされる。

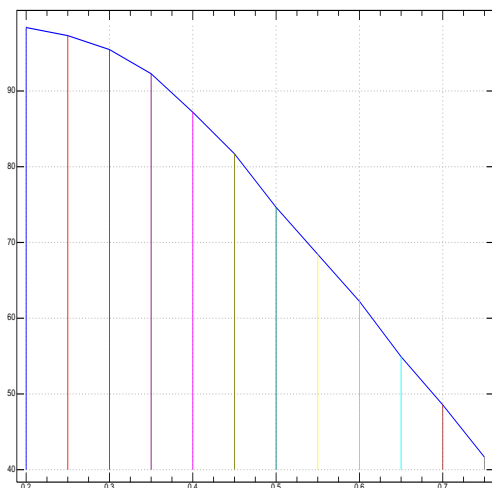


図 3 Speed and p

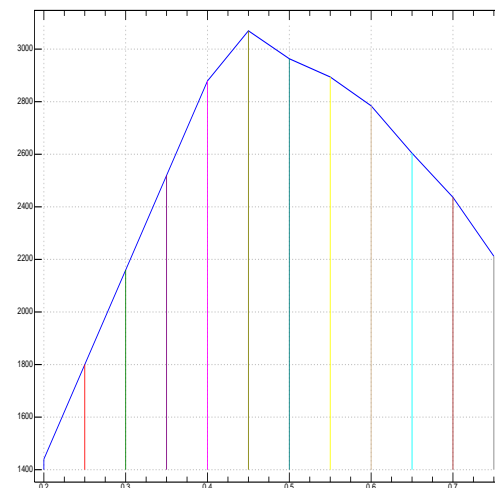


図 4 Volume and p

## 2.3 高速道路のシミュレーション例

アクセスコントロールがなされた都市内や都市間の高速道路にはこの ASEP と ZRP によるシミュレーションが応用できる。

混雑時の最大流量は小型車換算で片方向 2 車線で 1 時間当たり、都市内で大凡 4000 台、都市間で 3400 台程度である。

先のシミュレーション結果では 3600 ステップで ASEP 単独で 2700 台、ZRP 併用で 3100 台程度である。最初の設定でセルの大きさ（車間）を特に設定していないと断ったが、実走行は更に高密度で（メタ安定状態）ステップ数も 3600 より大きくし効率を上げなければならないようだ。

### 2.3.1 Interstates Highway

4000 ステップでシミュレーションを行うと、ASEP 単独で 3000、ZRP 併用で 3400 に達した。

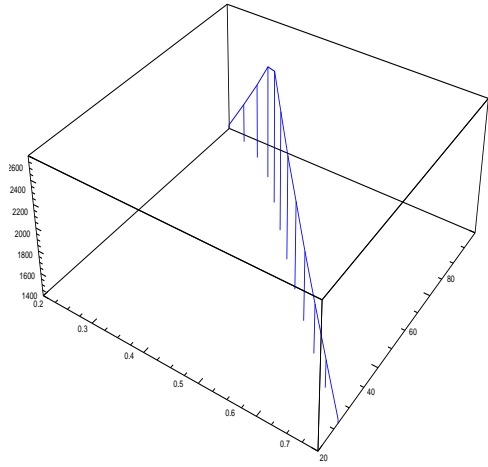
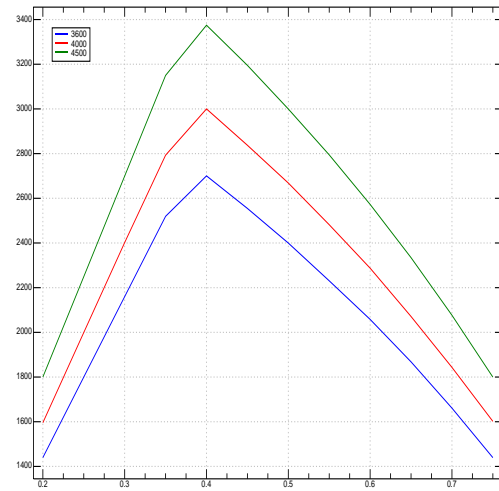


图 5 p Speed Volume



a1 NB. ASEP

p	進行数	標準偏差	速度	未到達	到達数	未到達%	到達%
0.2	3876.14	224	96.9	0	1597.67	0	100
0.25	3776.86	314.8	94.42	0.67	2000	0.03	99.97
0.3	3629.43	398.53	90.74	0	2403.67	0	100
0.35	3418.21	452.17	85.46	0	2801.33	0	100
0.4	3118.34	417.41	77.96	205.67	2997	6.42	93.58
0.45	2798.97	348.28	69.97	767.33	2838.67	21.28	78.72
0.5	2498.75	288.98	62.47	1335	2666.33	33.36	66.64
0.55	2204.26	233.54	55.11	1917.33	2483	43.57	56.43
0.6	1920.09	183.05	48	2514.33	2285	52.39	47.61
0.65	1645.1	142.28	41.13	3125	2074.33	60.1	39.9
0.7	1381.86	104.51	34.55	3749	1847.67	66.99	33.01
0.75	1125.35	71.21	28.13	4399.67	1599.67	73.34	26.66

a11 NB. ZRP

p	進行数	標準偏差	速度	未到達	到達数	未到達%	到達%
0.2	3938.21	138.05	98.46	0	1595.33	0	100
0.25	3894.68	191.77	97.37	0	1996.67	0	100
0.3	3816	262.5	95.4	1.33	2399	0.06	99.94
0.35	3711.89	322.5	92.8	0	2803	0	100
0.4	3508.59	376.21	87.71	0.33	3195.67	0.01	99.99
0.45	3262.66	336.96	81.57	198.67	3395.33	5.53	94.47
0.5	2981.13	272.14	74.53	717.67	3283.67	17.93	82.07



0.55	2737.39	220.73	68.43	1201	3197.33	27.31	72.69
0.6	2472.46	185.51	61.81	1722	3074.67	35.9	64.1
0.65	2215.92	145.98	55.4	2280.67	2913	43.91	56.09
0.7	1964.72	108.42	49.12	2856.33	2746	50.98	49.02
0.75	1700.02	82.37	42.5	3481.67	2516	58.05	41.95

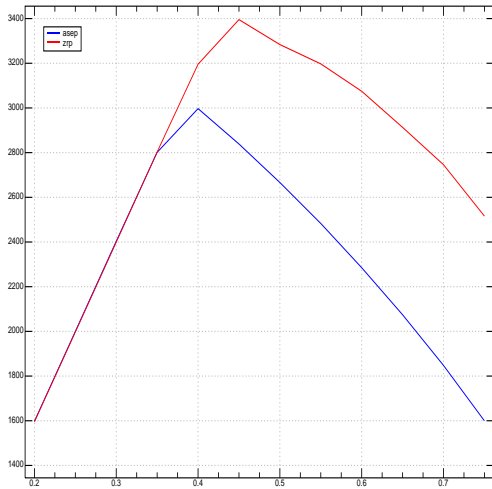


図 6 InterStates

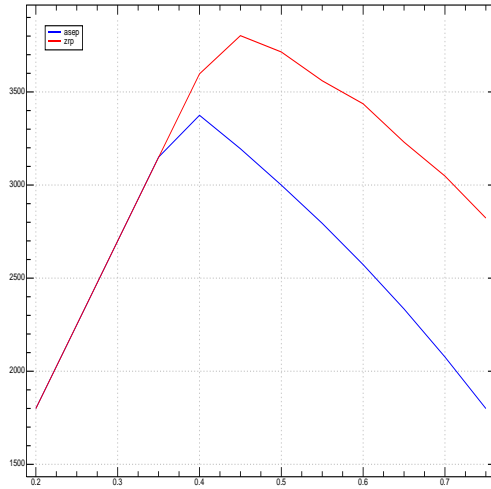


図 7 Metropolitan

### 2.3.2 Metropolitan Highway

更に 4500 ステップにあげると ASEP 単独で 3400、ZRP 併用で 3800 に達する。制度設計上は  $p = 0.5$  でやがて完全に整流になり、ZRP も生じないが、整流になるまでには時間を要するので、最大効率は 0.5 の少し手前になるようだ。

a2 NB. ASEP

p	進行数	標準偏差	速度%	未到達	到達数	未到達%	到達%
0.2	4359.9	253.03	96.89	0	1800	0	100
0.25	4248.5	354.54	94.41	0.67	2249.33	0.03	99.97
0.3	4086.6	446.91	90.81	0.33	2699.67	0.01	99.99
0.35	3846.41	509.39	85.48	0	3150	0	100
0.4	3509.2	466.48	77.98	225.33	3374.67	6.26	93.74
0.45	3153.44	392.68	70.08	855	3195	21.11	78.89
0.5	2813.56	327.68	62.52	1500.33	2999.67	33.34	66.66
0.55	2480.25	263.04	55.12	2155.67	2794.33	43.55	56.45
0.6	2158.99	210.14	47.98	2827.33	2572.67	52.36	47.64
0.65	1851.2	158.63	41.14	3515.67	2334.33	60.1	39.9

0.7 1552.7 117.06 34.5 4223.33 2076.67 67.04 32.96  
 0.75 1265.55 80.5 28.12 4950.33 1799.67 73.34 26.66

a21 NB. ZRP

p	進行数	標準偏差	速度%	未到達	到達数	未到達%	到達%
0.2	4428.6	158.57	98.41	0.33	1799.67	0.02	99.98
0.25	4377.84	219.82	97.29	0.33	2249.67	0.01	99.99
0.3	4287.21	300.29	95.27	0.33	2699.67	0.01	99.99
0.35	4157	373.68	92.38	1.33	3148.67	0.04	99.96
0.4	3932.32	431.25	87.38	3	3597	0.08	99.92
0.45	3652.02	373.02	81.16	247.67	3802.33	6.12	93.88
0.5	3374.76	305.2	74.99	785.33	3714.67	17.45	82.55
0.55	3043.06	253.05	67.62	390	3560	28.08	71.92
0.6	2766.62	200.88	61.48	1963.67	3436.33	36.36	63.64
0.65	2453.65	167.83	54.53	2619.67	3230.33	44.78	55.22
0.7	2183.25	124.09	48.52	3251.67	3048.33	51.61	48.39
0.75	1906.29	82.06	42.36	3927.33	2822.67	58.18	41.82

### 3 サーキット・アルゴリズム

集団が輻輳してサーキットを走るグラフィックスは挙動がよくわかる。しかし、サーキット特有の工夫を必要とする。仮想サーキットをメモリー上に創り、先頭に最後尾のセルを複製しておき、これを見ながら自走アルゴリズムで走行する。

サーキットでは、最後尾が空の時に先頭が ASEP&ZRP で前進する場合は、1 コマ前に回転させて先頭を最後尾とするローテーションアルゴリズムを採用する。脱落によるタートル数の減少に注意を払う必要がある。

#### 3.1 グラフィックス

行進は数字を眺めるよりもグラフィックスの方が（欠点も含め）よく理解できる。

タートルグラフィックス<sup>\*5</sup>を用いて行進をグラフィックス表示する。<sup>\*6</sup>120個のサーキットのセルを輻輳状態でのサーキット走行する。走行は120ステップで1ステップを1秒とすると2分に相当する。<sup>\*7</sup>

<sup>\*5</sup> かつて児童教育用に Logo に搭載されていた

<sup>\*6</sup> かなりのハイパワー機で360台程度までなんとか描画できるようだ。

<sup>\*7</sup> ステップ数はスクリプトで変更可能であるが、画面までは作り込んでいない。

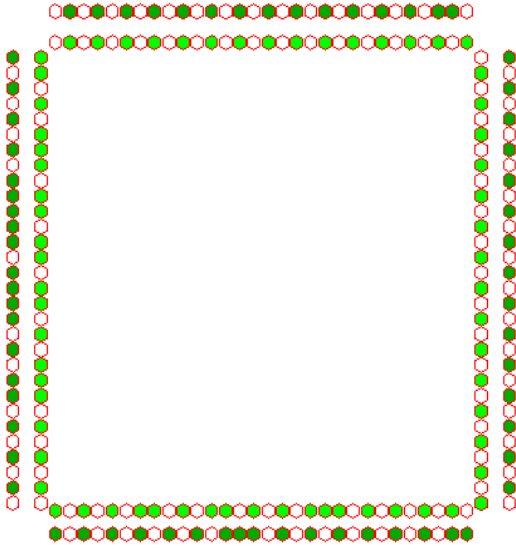


図 8 circuit

## 4 ビッグタートル

今までは同じサイズのタートルであったが、サイズが 2 倍のビッグタートルを指定の割合で混在させる。

$p_0$  混雑率 (スモールタートル換算・前と同じ)

$p_1$  ビッグタートルの割合

$$Small = p_0 x \times \frac{1 - p_1}{(1 - p_1)x + 2p_1x}$$

$$Big = p_0 x \times \frac{p_1}{(1 - p_1)x + 2p_1x}$$

ビッグタートルは 2 2 のペアで動く。従ってスモールタートルのみの場合より効率がよい。

```
24 mk_prob_LV_sub 0.5 0.6
```

```
3 5 NB. Small and big
```

```
] a=. 24 mk_prob_LV 0.5 0.6
```

```
0 1 2 2 0 0 0 1 0 0 2 2 2 2 2 2 0 1 0 0 2 2 0 0
```

ASEP や ZRP の駆動は 2 2 と 2 0 を切り替えて演算する。

メトロポリス法による乱数での選択はセルを対象に行い、2 のセルが当たれば ZRP の準備にはいる。

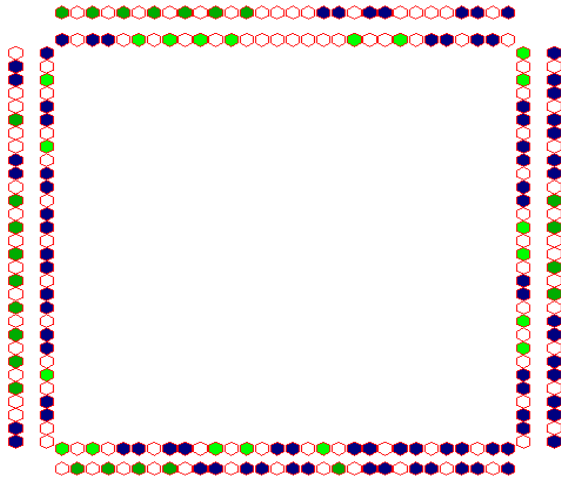


図9 big turtle

```
a, : reduce_LV a
0 1 2 2 0 0 0 1 0 0 2 2 2 2 2 2 0 1 0 0 2 2 0 0
0 1 0 2 0 0 0 1 0 0 0 2 0 2 0 2 0 1 0 0 0 2 0 0
```

## 5 エピローグ

複雑系の混雑事例では個々の効用の最大化（急ぐこと）は全体の効用の最大化には繋がらない。  
ゲーム理論を巡る次のようなシーンが思い出される。

ナッシュを描いた映画「ビューティフル・マインド」(2001年パラマウント配給)のプリンストン(大学院)の学生ホールでのシーン。

キューンらしき学生:「忘れたのか、近代経済学の父、アダム・スミスの言葉を。競争社会では個人の野心が皆の利益に」

ナッシュ:「アダム・スミスは言った。最良の結果は皆が自分の利益を追求して得られると。それじゃ不完全だ。最良の結果は皆が自分と集団の利益を追求して得られる。全てを支配する法則だ。アダム・スミスは間違ってた」

## 6 Reference

- 西成 活祐 渋滞学 新潮選書 新潮社 2006
- 友枝昭保 超離散化法およびセルオートマンモデルによる交通流の研究 2006
- 金井政宏・西成活祐・時弘哲治 交通量の確率モデルについて 九州大学応用力学研究所研究集会報告 2005 金井政宏・西成活祐・時弘哲治 交通流モデルにおける update rule 依存性 九州大学応用力学研究所研究集会報告 2006



```

1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 NB. origin
1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 Nb. asep

```

先頭は前進できない 左引数に自己を複製して、同じ確率で前方車をおく。

左引数が 1 なので先頭は押さえられて前へ進めない。右端の一個を切り落としている。

```

if. 1=x do. TX=. }: TX end.

```

```

({:tmp),1),: 1 forward_asep_sub2 (:tmp),1

```

```

1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 (1)NB. origin

```

```

1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 1 NB. asep

```

先頭は前進 先導 (CAP) が 0 で、先頭が 1 の場合は、セルを一個増やし、先頭は前進する。

先導 (0) + 先頭 (0) はセルを増やさない。

このパターン判定に 2 進法を用いると便利である。

先頭	前方		2 進法
0	0	→	0
1	0	→	2(前進)
0	1	→	1
1	1	→	3

2 の場合にセルを 1 増やし先頭が前進する。

```

tmp,: 1 forward_asep_sub2 tmp

```

```

1 1 1 1 1 0 1 1 0 0 0 0 0 1 1 0 0 0 1 1 1 1 1 0 (0)NB. origin

```

```

1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 1 NB.asep

```

計算エンジン 僅か数行の SCRIPT が ASEP の計算エンジンである。

```

NB. -----ASEP Engine-----

```

```

forward_asep_sub2=: 4 : 0

```

```

TX=. x forward_asep_sub1 y

```

```

if. 2 = 2 #. ;({: L:0 y),x do. TX=. TX NB. head is forward 1 step
else. TX=. }: TX end. NB. head is stay let it lie

```

```

)

```

```

forward_asep_sub1=:4 : 0

```

```

IND=. 2 = 2(+/\) \ y,x NB. x is cap for fead

```

```

COMPARE=. bare ({@> 1 2) = L:0 +/\ y,:IND

```

```

+/\ bare ({@> _1 0) |."1 L:0 { COMPARE,.0

```

```

)

```

## A.2 ZRP

確率で選択 ASEP が出来ない個体の内確率（メトロポリス法を用いる）で隣接レーン斜め前への変更を行う。

候補 ASEP を行う前の状態から選ぶ

```
(bare a), bare 0.55 index_zrp_sub1 a
```

```
0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 NB. lane A
```

```
0 1 1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 NB. lane B
```

```
0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 0 1 0 0 0 NB. candidate A
```

```
0 1 1 0 1 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 NB. candidate B
```

チェック 対向レーンの ASEP 後の空き状態

```
bare ASEPIND
```

```
2 4 5 6 8 9 10 11 12 14 15 16 18 20 22
```

```
1 2 3 4 6 8 9 10 11 13 16 18 19 21 23
```

ZRP の候補の位置 ZRP 候補と照合する

```
ZRPIND0
```

```
+-----+-----+
|6 7 10 11 12 13 16 17 21|2 3 4 5 9 10 11 12 20|
+-----+-----+
```

空き 空きを確定

```
ZRPIND
```

```
+-----+
|7 12 17|3|
+-----+
```

書き込みアドレス AB の 2 行同時書き込みのアドレスと、元いた位置を消去するためのアドレス

```
AMEND_IND NB. write address
```

```
+-----+
|1 7|1 12|1 17|0 3|
+-----+
```

```
AMEND_IND2 Nb. delete adress
```

```
+-----+
|0 6|0 11|0 16|1 2|
+-----+
```



### A.3 Note

ノート1 Jでサイズが異なるベクトルを連結する場合、縦連結 (stich x, .y) はエラーとなるが、層連結 (Laminate, :) では短い方に短い分の 0 を挿入して連結する。簡便な機能であるが、挿入された 0 が前方の混雑指標との間に入ることとなり、緩衝材となって整流になり易い不具合を生じる。このため、計算過程で box のままでデータサイズが異なっても反対レーンの相互参照を行って計算が可能なように種々工夫している。

ノート2 両項の *copy*(#) を用いると null が出ることがある。null が出た場合には単項の *tally*(#) や *shape*(\$) を用いると個数を示して復活するので、これを 0 で検知して次の処理につなげられる。

```
0 0 0 # 1 2 3 NB. null

# 0 0 0 # 1 2 3 NB. item is 0
0
```

## 付録 B J と Script の入手

### B.1 J Language

<http://www.jsoftware.com>

からダウンロードする。

J601 or Later

WIN/32 Win/64 MAC/INTEL/PPC LINUX がある。

### B.2 SCRIPT

[http://homepage3.nifty.com/asagaya\\_avenue](http://homepage3.nifty.com/asagaya_avenue) APL/J/WORKSHOP に入っている。  
(WIN/32 で作成したが他の環境でも JAVA 対応なのでそのまま動く)

### B.3 J のインストール

J のインストーラーでお任せインストール J602 以降はレジストリを切断している  
ので後で任意のところに コピーすればよい。(CDROM USB OK) 最初の起  
動時に J602 - user のフォルダを/Documents and Settings/(your-pc)/に作る。ここを使うか  
J602/classes を作成して用いる。

### B.4 SCRIPT

解凍 LZH でパックしてあるので解凍する。

user file

1. turtle\_circuit.ijs NB. visible graphics
2. turtle\_circuit\_LV.ijs NB. same big turtle
3. asepturtle.ijs NB. analysis of small turtles

classes classes/asepturtle を作成して 収納

J の起動 J を起動する。(interpreter)

j602/bin/j.exe explorer など

read Script SCRIPT を RUN/FILE から読み込む。

FILE/OPEN から読んだ場合は CIRC + W で ACTIVE にする。

a.b. の場合はコンテナが出る。c は ijx からコマンド処理

グラフィックスの引延ばし 一度動かしてから graphics 画面を mouse-drag で大きく引き延ばす