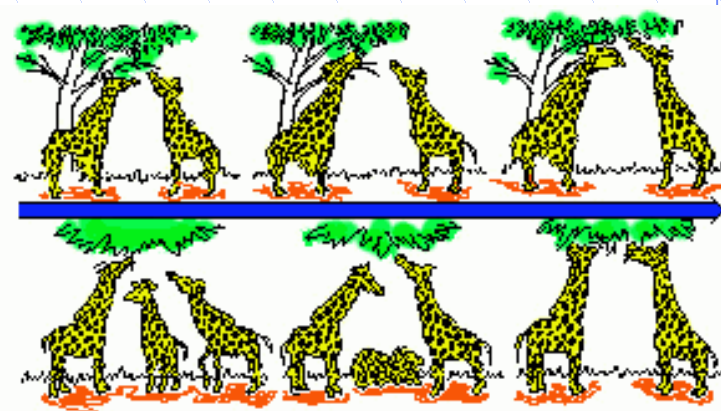


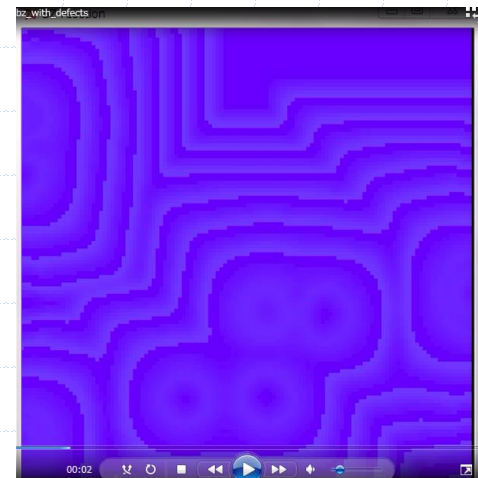
# セルラ・オートマトン: 補助資料

東京大学大学院  
情報理工学系研究科  
電子情報学専攻  
伊庭齐志



# ザボチンスキー反応

## ◆ Swarm demo



# BZ反応のためのCAモデル

◆ 各セルの状態:  $0, 1, \dots, n$

- 0 健康
- $1, 2, \dots, n-1$  感染
- $n$  病気

0	1	0
3	1	2
1	0	0

$$s = 1 + 1 + 1 + 2 + 3 = 8$$

$$a = 3$$

$$b = 1$$

◆ 更新規則  $n_t$ 時刻 $t$ での状態

$$n_{t+1} = \begin{cases} \frac{a_t}{k_1} + \frac{b_t}{k_2} & \text{健康: } n_t = 0 \text{ のとき} \\ \frac{s_t}{a_t + b_t + 1} + g & \text{感染: } 1 < n_t < n - 1 \text{ のとき} \\ 0 & \text{病気: } n \leq n_t \text{ のとき} \end{cases}$$

◆  $a_t$ 隣接する感染したセル数

◆  $b_t$ 隣接する病気のセル数

◆  $s_t$ 隣接するセルと自分の状態の合計

# BZ反応のシミュレータ(1)

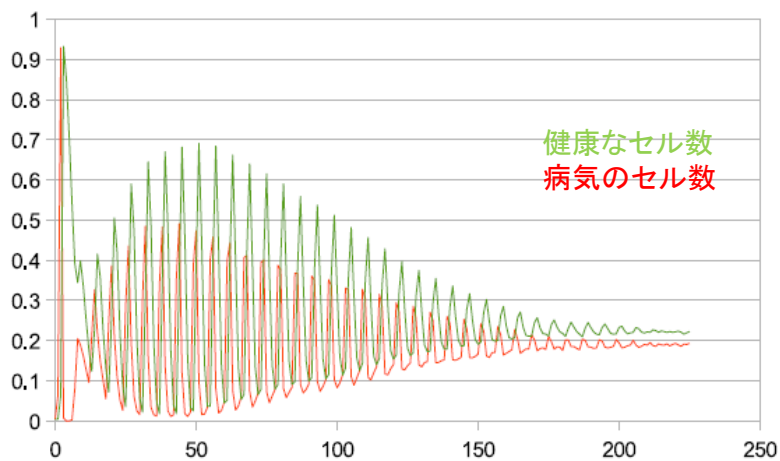
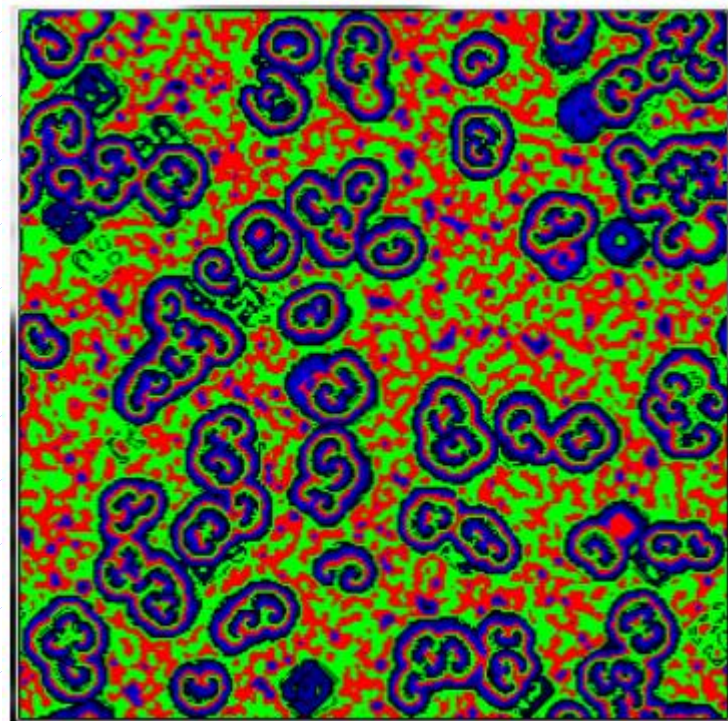
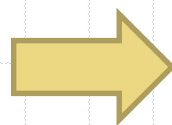
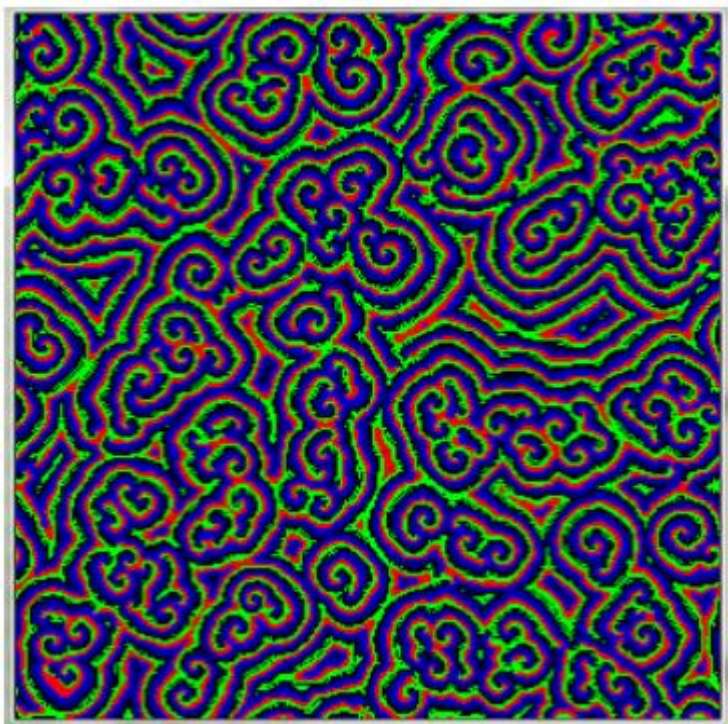


(a)  $g=10$

(b)  $g=5$

(c)  $g=2.5$

# BZ反応のシミュレータ(2)



$\mu$  -  $\alpha$  近傍,  
 $g=70$

# BZ反応のシミュレータ(3)



(a) 障害物なし



(b) 点の障害物



(c) 壁の障害物

# 反応拡散セルオートマトン

- ◆ 二次元上の化学反応をモデル化したもの
- ◆ 実際の化学反応
  - ある分子の生成が伝搬するとともに、それに遅れて別の分子の沈殿が起こる
  - 最初の分子の伝搬が出会うと反応はストップする
- ◆ 応用
  - ボロノイ図 (Voronoi diagram)
  - 輪郭図からその骨組み (skelton) を求める

Andrew Adamatzky, "Voronoi-like partition of lattice in cellular automata",  
Mathematical and Computer Modelling, 02/1996; 23(4):51-66. DOI:  
10.1016/0895-7177(96)00003-9.

# Reaction-Diffusion Computing

## 反応拡散計算

### ◆ 画像処理に用いられる

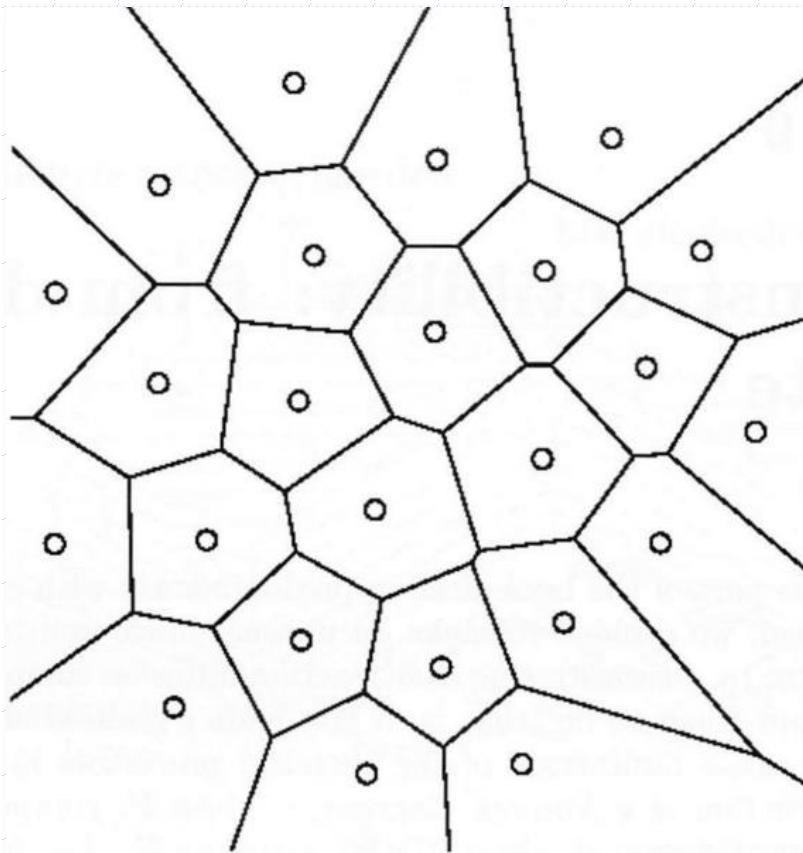
- diffusion  $\Rightarrow$  noise filtering
- reaction  $\Rightarrow$  contrast enhancement

### ◆ パラメータに応じて、RDは以下を実現する:

- restore broken contours
- detect edges
- improve contrast



# Voronoi Diagrams



- ◆ 点の集合(生成点)があたえられたとする:
- ◆ 以下のような多角形を構成する
  - 多角形内のすべての点は、そのなかの生成点に他の生成点よりも最も近い。
  - 二次元ユークリッド平面の場合、領域の境界線は、各生成点の二等分線の一部になる。

# Voronoi Diagramsの利用法

- ◆ Collision-free path planning
- ◆ Determination of service areas for power substations
- ◆ Nearest-neighbor pattern classification
- ◆ Determination of largest empty figure

# Voronoi Diagrams作成のアルゴリズム

◆ 計算幾何学

◆ Computational Geometry

■ かなり煩雑となる

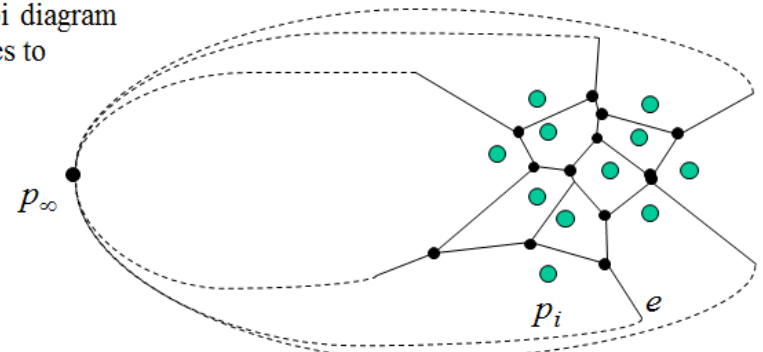
Voronoi diagrams have linear complexity  $\{|v|, |e| = O(n)\}$

Claim: For  $n \geq 3$ ,  $|v| \leq 2n - 5$  and  $|e| \leq 3n - 6$

Proof: (General Case)

• For Voronoi graphs,  $f = n \rightarrow (|v| + 1) - |e| + n = 2$

To apply Euler's Formula, we "planarize" the Voronoi diagram by connecting half lines to an extra vertex.



# 反応拡散セルオートマトンを用いた ボロノイ図の導出

## ◆ $O(n)$ -Algorithm

- 状態数を  $n + 3$  個

## ◆ $O(1)$ -Algorithm

- 状態数を 4 個

Andrew Adamatzky, "Voronoi-like partition of lattice in cellular automata",  
Mathematical and Computer Modelling, 02/1996; 23(4):51-66. DOI:  
10.1016/0895-7177(96)00003-9.

# 反応拡散セルオートマトンを用いた ボロノイ図の導出

## ◆ $O(n)$ -Algorithm

- 状態数を  $n + 3$  個
- 1, 2, ...,  $n$  興奮状態 (酸化が活発)
- ● 休止状態 (どちらもなし)
- — 不応状態 (還元が活発)
- # 沈殿 (2等分線作成)

Andrew Adamatzky, "Voronoi-like partition of lattice in cellular automata",  
Mathematical and Computer Modelling, 02/1996; 23(4):51-66. DOI:  
10.1016/0895-7177(96)00003-9.

# 反応拡散セルオートマトンを用いた ボロノイ図の導出

時刻 $t$ で興奮している  
隣接セル

## ◆ $O(n)$ -Algorithm

### ■ 更新規則

$$x^{t+1} = \begin{cases} \#, & (x^t \in \{1, \dots, n, \bullet\} \wedge |I(x)^t| \geq 2) \vee (x^t = \#), \\ +, & (x^t = \bullet) \wedge I(x)^t = \{+\}, \\ -, & (x^t = +) \wedge (I(x)^t = \{+\} \vee I(x)^t = \{\emptyset\}), \\ \bullet, & (x^t = -) \vee (I(x)^t = \{\emptyset\} \wedge (x^t = \bullet)), \end{cases}$$

### ■ $+$ は $1, 2, \dots, n$ のこと

Andrew Adamatzky, "Voronoi-like partition of lattice in cellular automata",  
Mathematical and Computer Modelling, 02/1996; 23(4):51-66. DOI:  
10.1016/0895-7177(96)00003-9.

# 反応拡散CAによるVoronoi Diagram作成

◆  $O(n)$ -Algorithm: 状態数  $n + 3$  個

$+ \rightarrow -$	$ I(x)^t  = 0 \vee I(x)^t = \{+\}$
$\bullet \rightarrow \bullet$	$I(x)^t = \{\emptyset\}$
$\bullet \rightarrow +$	$I(x)^t = \{+\}$
$\bullet \rightarrow \#$	$ I(x)^t  \geq 2$
$+ \rightarrow \#$	$ I(x)^t  \geq 2.$

セルの更新規則

Andrew Adamatzky, "Voronoi-like partition of lattice in cellular automata",  
Mathematical and Computer Modelling, 02/1996; 23(4):51-66. DOI:  
10.1016/0895-7177(96)00003-9.

# 反応拡散CAによるVoronoi Diagram作成

## ◆ O(1)-Algorithm: 状態数 4個

$+$	$\rightarrow$	$-$	$S(x)^t = 0$
$\bullet$	$\rightarrow$	$\bullet$	$S(x)^t = 0$
$\bullet$	$\rightarrow$	$+$	$(S(x)^t \geq 1) \wedge (S_v(x)^t < 2) \wedge (S_h(x)^t < 2)$
$\bullet$	$\rightarrow$	$\#$	$(S_v(x)^t = 2) \vee (S_h(x)^t = 2)$
$+$	$\rightarrow$	$\#$	$S(x)^t \geq 1.$

## セルの更新規則(4近傍)

Andrew Adamatzky, "Voronoi-like partition of lattice in cellular automata",  
Mathematical and Computer Modelling, 02/1996; 23(4):51-66. DOI:  
10.1016/0895-7177(96)00003-9.



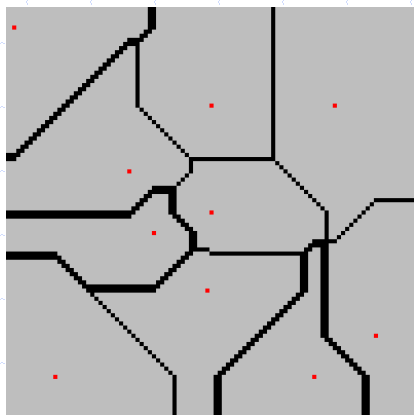
# 反応拡散CAによるVoronoi Diagram作成

## ◆ O(1)-Algorithm: 状態数 4個

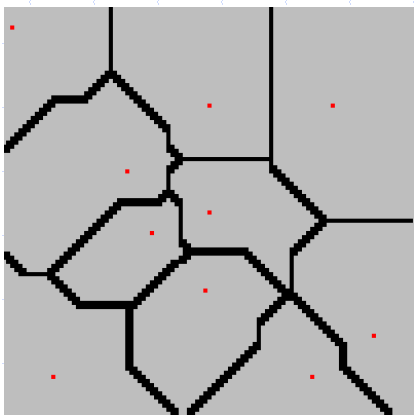
$+$	$\rightarrow$	$-$	$S(x)^t < 4$
$\bullet$	$\rightarrow$	$\bullet$	$S(x)^t = 0$
$\bullet$	$\rightarrow$	$+$	$(4 > S(x)^t \geq 1) \wedge (\neg P(x)^t)$
$\bullet$	$\rightarrow$	$\#$	$(S(x)^t \geq 4) \wedge (P(x)^t)$
$+$	$\rightarrow$	$\#$	$S(x)^t \geq 4.$

セルの更新規則(8近傍)

# 10 点ランダムに配置した場合のボロノイ図

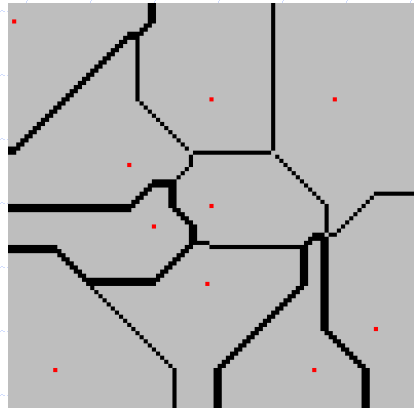


4近傍

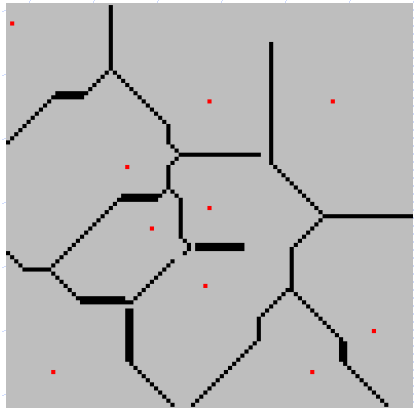


8近傍

$O(N)$ -Algorithm



4近傍

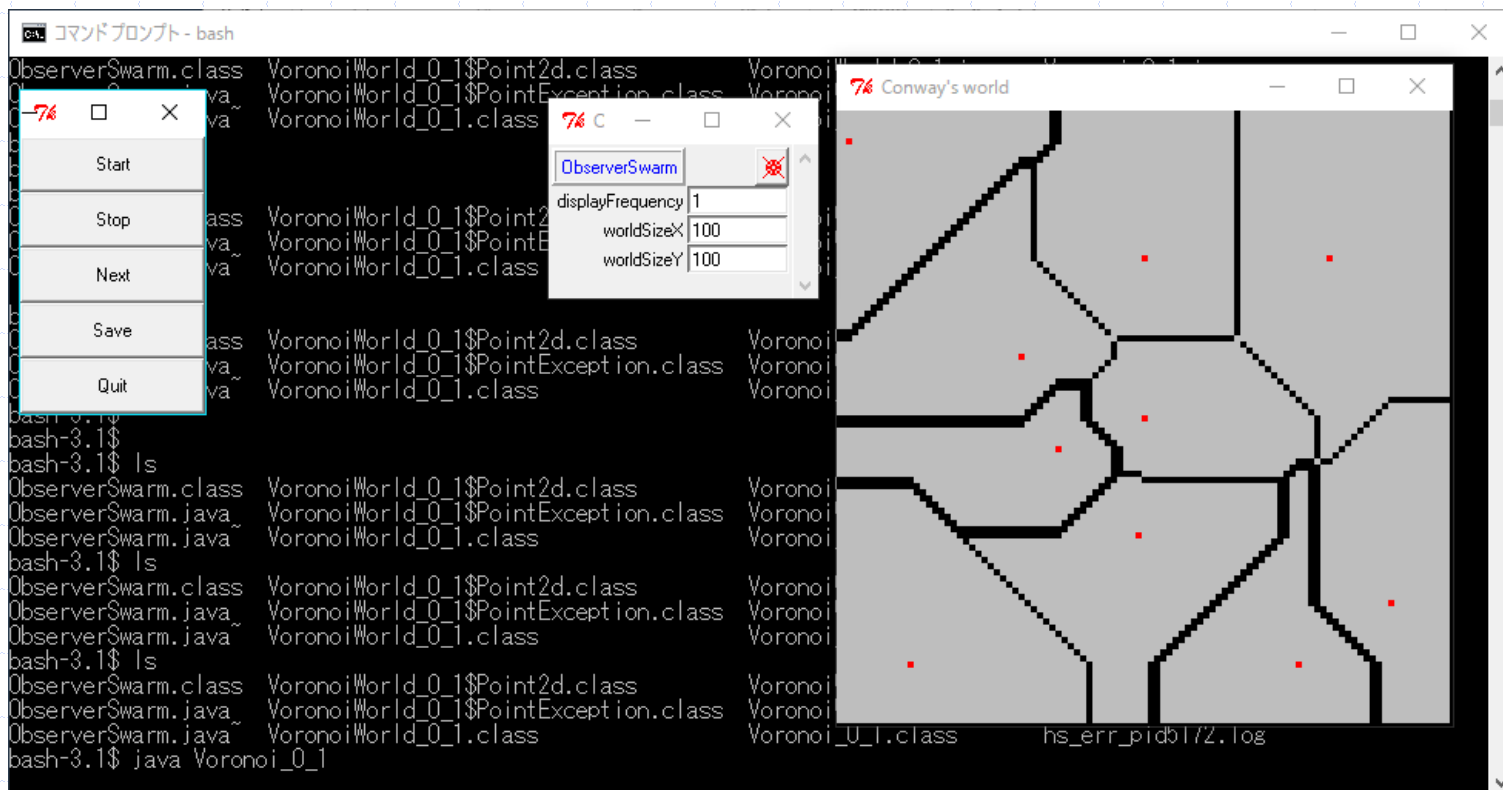


8近傍

$O(1)$ -Algorithm

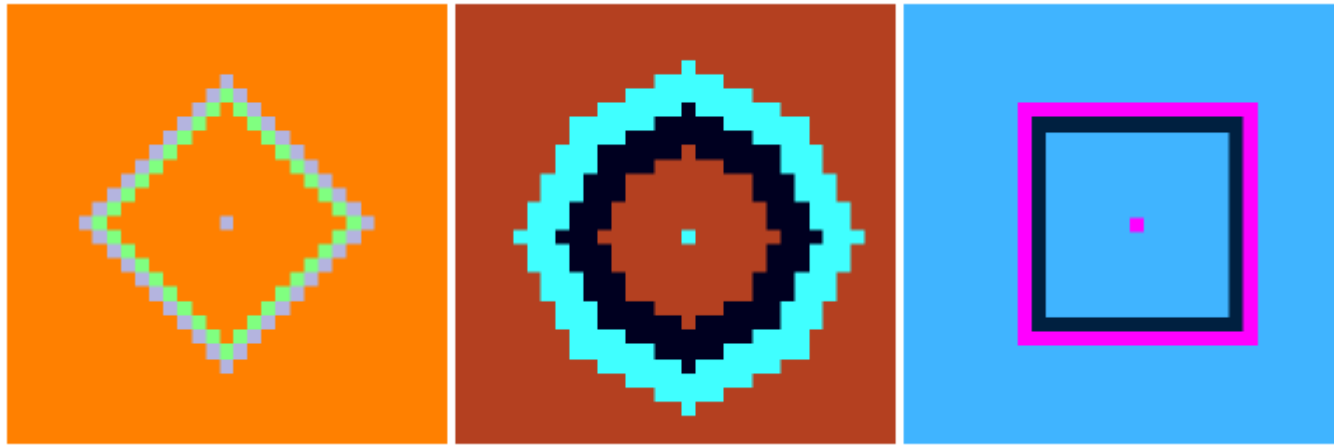
# デモプログラム:ボロノイ図

## *Swarm demonstration*



# 境界のノルムによる伝搬の違い

反応拡散のメトリック(半径)



$L_1$  ノルム

$L_2$  ノルム

$L_\infty$  ノルム

半径

1

3

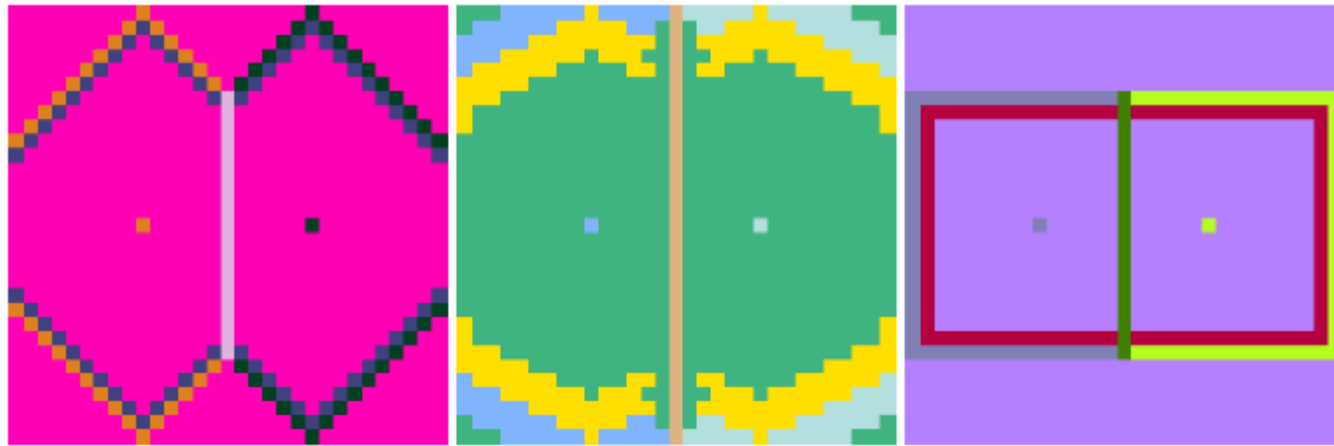
1

$$L_1 \text{ ノルム} : |x_1| + |x_2| + \dots + |x_n|$$

$$L_2 \text{ ノルム} : \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}$$

$$L_\infty \text{ ノルム} : \max\{|x_1|, |x_2|, \dots, |x_n|\}$$

# 境界のノルムによる伝搬の違い



L1 ノルム

L2 ノルム

L $\infty$  ノルム

半径

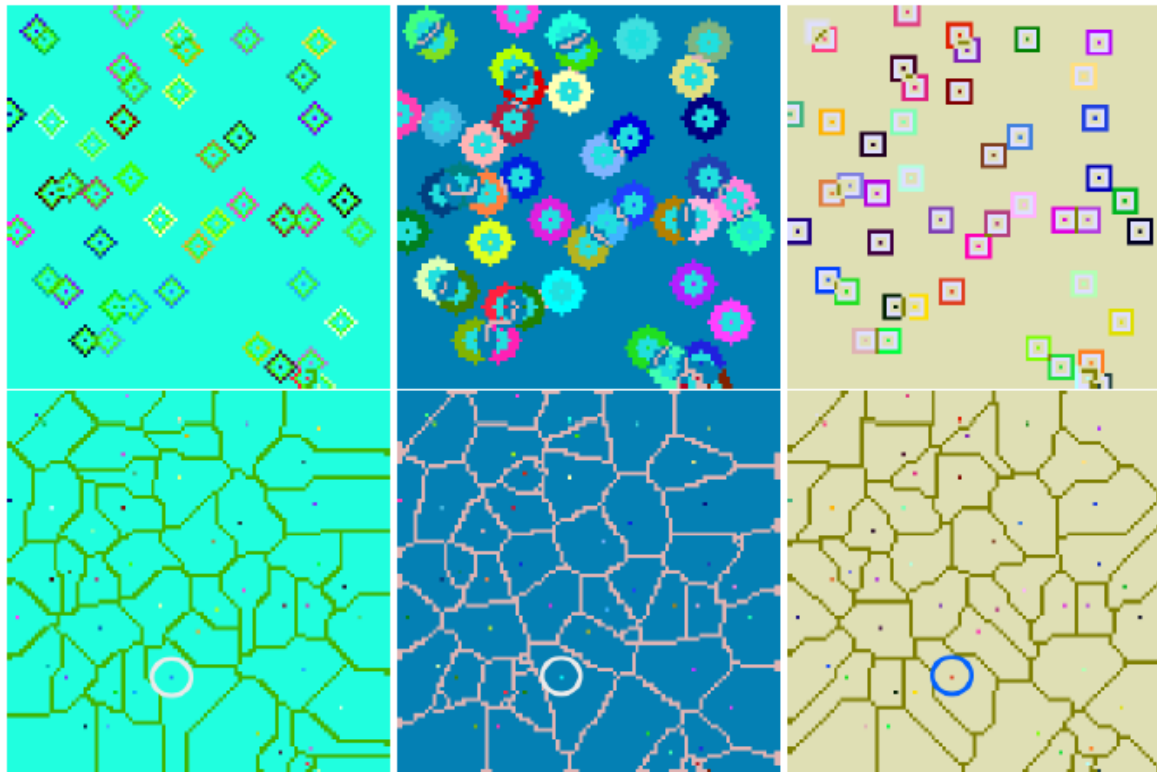
1

3

1

軸に平行な2 シード間の境界の形はノルムに依存せず、両者を結ぶ直線の垂直二等分線となる。

# 境界のノルムによる伝搬の違い 多数のシードの場合



$L_1$  ノルム  
半径 1

$L_2$  ノルム  
半径 3

$L_\infty$  ノルム  
半径 1

半径

上段は拡散開始直後で、下段は反応終了

# 細線化

- ◆ 二値画像を幅1ピクセルの線画像に変換する処理
- ◆ 文字認識やパターン認識の前処理として多く使用



原画像



細線化



# 反応拡散CAによる細線化

時刻tで興奮している隣接セル数

## ◆ O(n)-Algorithmと同様

$$x^{t+1} = \begin{cases} \text{EXC} , (x^t = \text{RES}) \wedge (1 \leq s^t(x) \leq 4) \\ \text{REF} , (x^t = \text{EXC}) \wedge (s^t(x) \leq 4) \vee (x^t = \text{REF}) \\ \text{RES} , (x^t = \text{RES}) \wedge (s^t(x) = 0) \\ \text{PRE} , \{(x^t = \text{RES}) \vee (x^t = \text{EXC})\} \\ \quad \wedge (s^t(x) \geq 5) \vee (x^t = \text{PRE}) \end{cases}$$

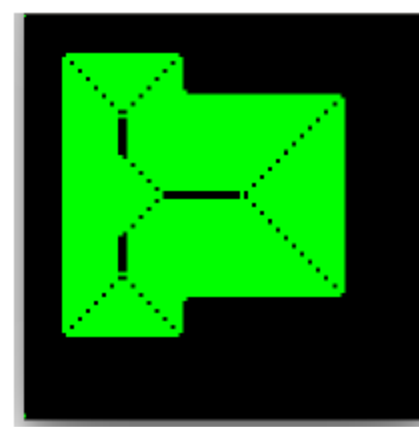
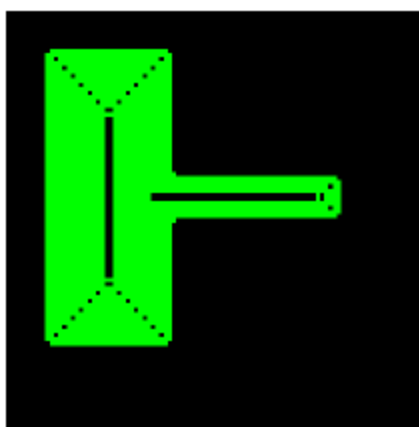
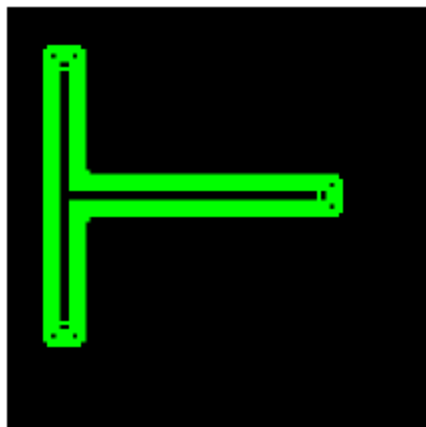
興奮(酸化が活発)

不応(還元が活発)

休止(どちらもなし)

沈殿(2等分線)

細線化処理の更新規則(2近倍)



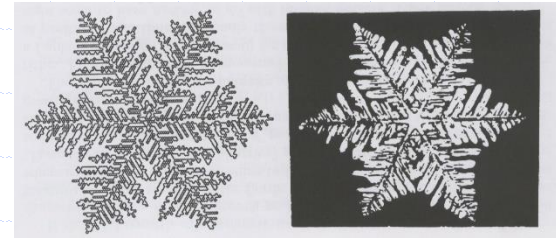
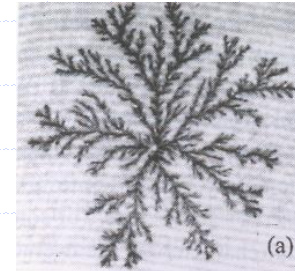


# DLA (Diffusion-Limited Aggregation)

## 拡散律速凝集

### ◆ 結晶などの成長を考える

- 金平糖
- 金属樹
- バクテリアコロニー
- 雪片



### ◆ 溶媒中の粒子の浮遊・拡散: 酔歩

### ◆ 結晶化した部分に吸着

### ◆ 実際の系では、結晶からの融解もある

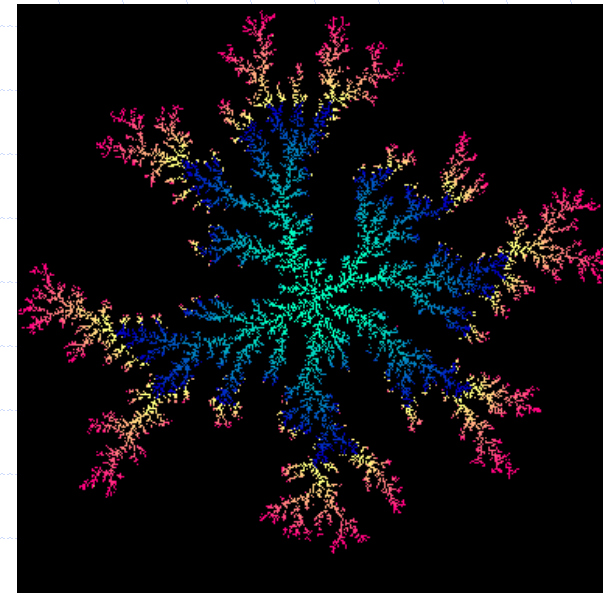
**Stochastic Laplacian Growth:**

**Diffusion-Limited Aggregation (DLA)**

T. Witten & L. M. Sander, Phys. Rev. Lett. (1981).

# DLA のモデル

- ◆ システム中央に種となる結晶がある
- ◆ 遠方から結晶粒子がブラウン運動 (Brownian Motion) しながら近づく
- ◆ 既に結晶となっている部分に粒子が接触すると、その場所に吸着する
- ◆ 一度に一つの粒子がブラウン運動する



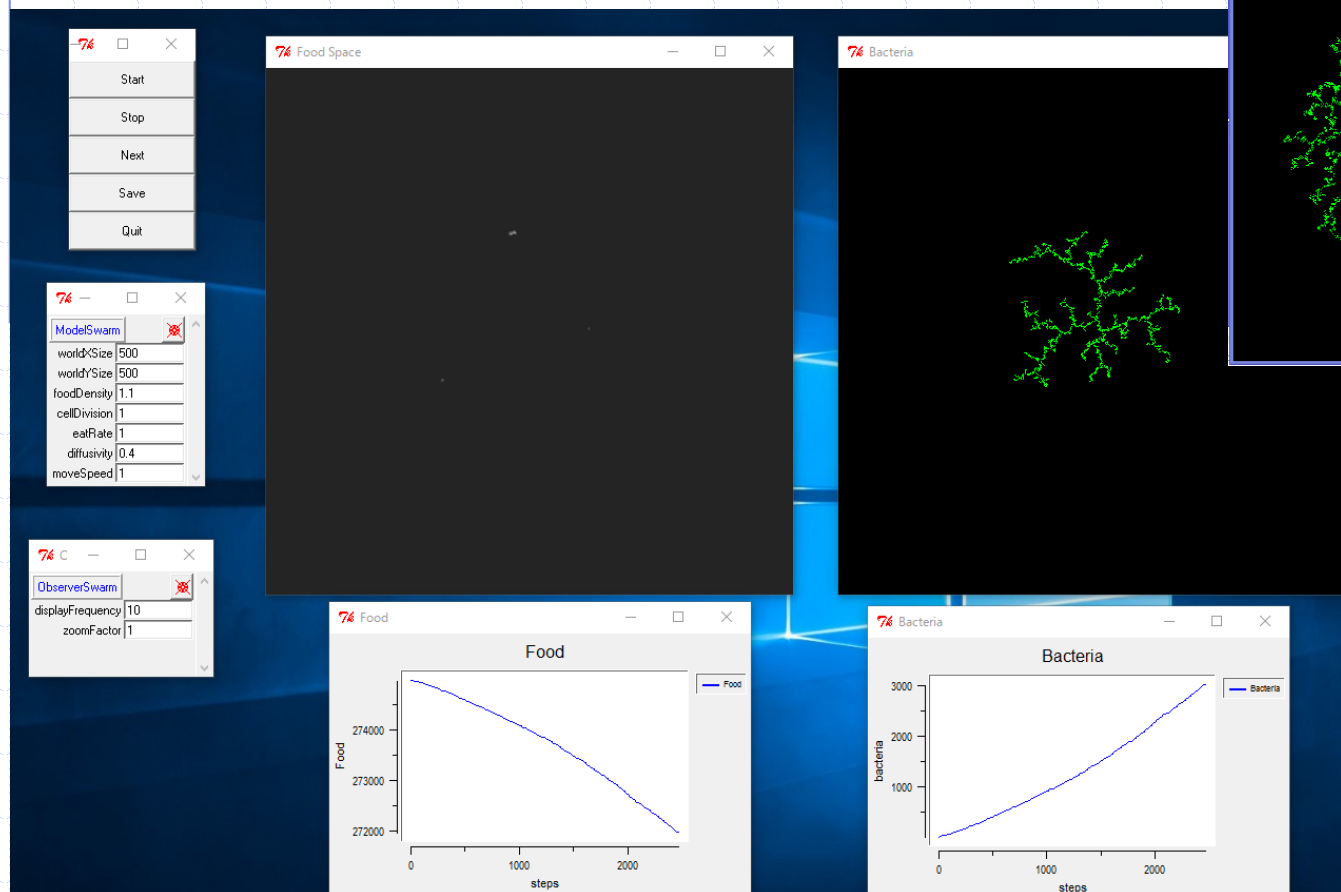
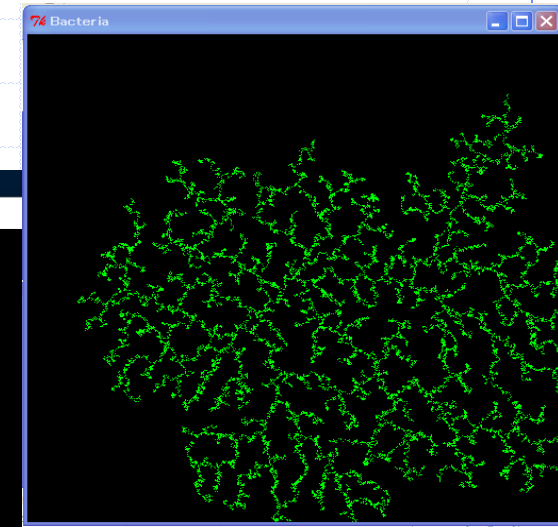
Off-lattice cluster of 1,000,000 "sticky" random walkers (Sander)

# DLA のモデルの特徴

- ◆ 粒子が結晶に隣接した際の吸着率を変化させることで結晶の形が特徴付けられる。
- ◆ 吸着率が高いとき
  - 粒子は外側の結晶と吸着しやすくなり結晶は細く長く成長するようになる。
- ◆ 吸着率が低いとき
  - 粒子が結晶の内部に入り込む確率があがり、結晶は太く成長するようになる。

# デモプログラム: バクテリアコロニー

## *Swarm demonstration*

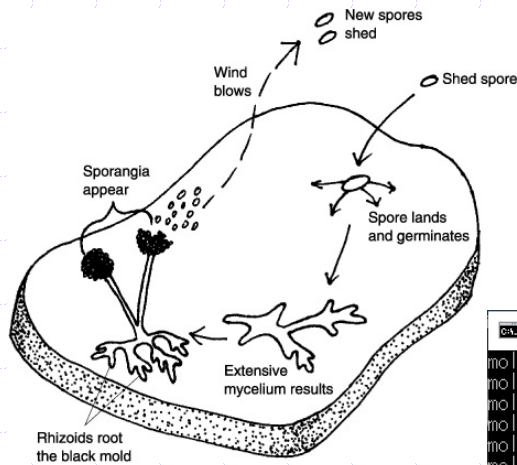


The screenshot displays the simulation interface with several components:

- Control Panel (Top Left):** A vertical stack of buttons labeled 'Start', 'Stop', 'Next', 'Save', and 'Quit'.
- Parameter Panel (Middle Left):** A panel titled '74' with a dropdown menu set to 'ModelSwarm'. It lists parameters: worldXSize: 500, worldYSize: 500, foodDensity: 1.1, cellDivision: 1, eatRate: 1, diffusivity: 0.4, and moveSpeed: 1.
- Observer Panel (Bottom Left):** A panel titled '74 C' with a dropdown menu set to 'ObserverSwarm'. It lists parameters: displayFrequency: 10 and zoomFactor: 1.
- Food Space Window (Top Center):** A window titled '74 Food Space' showing a dark, mostly empty space.
- Bacteria Window (Top Right):** A window titled '74 Bacteria' showing a small, sparse cluster of green bacteria.
- Food Graph (Bottom Left):** A line graph titled 'Food' showing the amount of food over time. The y-axis is labeled 'Food' and ranges from 272000 to 274000. The x-axis is labeled 'steps' and ranges from 0 to 2000. The data shows a steady decrease from approximately 274000 at step 0 to 272000 at step 2000.
- Bacteria Graph (Bottom Right):** A line graph titled 'Bacteria' showing the number of bacteria over time. The y-axis is labeled 'bacteria' and ranges from 0 to 3000. The x-axis is labeled 'steps' and ranges from 0 to 2000. The data shows a steady increase from approximately 500 at step 0 to 3000 at step 2000.

# デモプログラム: アカパンカビの成長

## Swarm demonstration



A screenshot of the ModelSwarm control panel. The 'nutritionRate' parameter is highlighted with a red box and has a value of 0.5. Other parameters shown include worldSize (80), worldYSize (80), temperature (20), and humidity (80).

ModelSwarm	<input type="checkbox"/>
worldSize	80
worldYSize	80
nutritionRate	0.5
temperature	20
humidity	80

A screenshot of the simulation environment. It includes a terminal window with the command prompt 'bash' and a list of commands: Start, Stop, Next, Save, and Quit. The main window shows a 'Mold Simulation' with a black and white pixelated pattern representing mold growth. A 'Mold Propagation Transition' window displays a line graph of 'Mold Percentage' vs 'Time', showing an exponential increase from 0 to approximately 50% over 250 time units. A control panel for 'ObserverSwarm' is also visible, with 'displayFrequency' set to 1.

# 粘菌コンピュータ

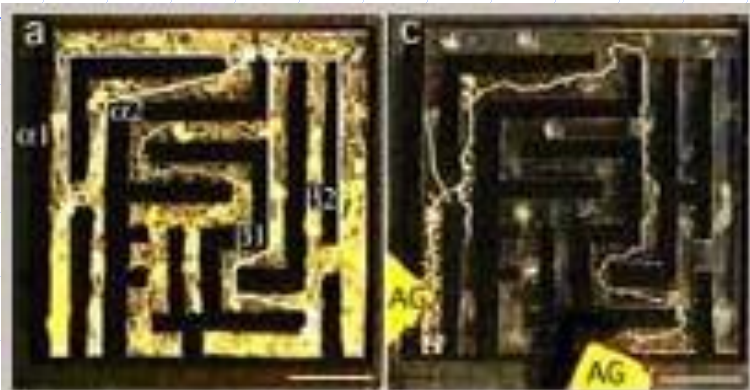
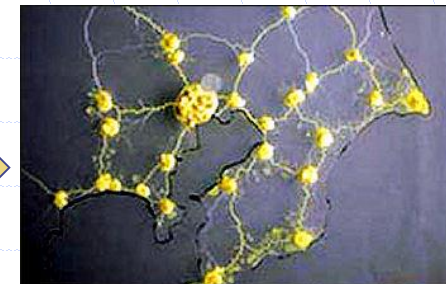
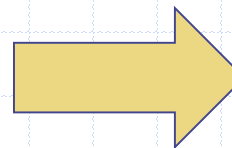
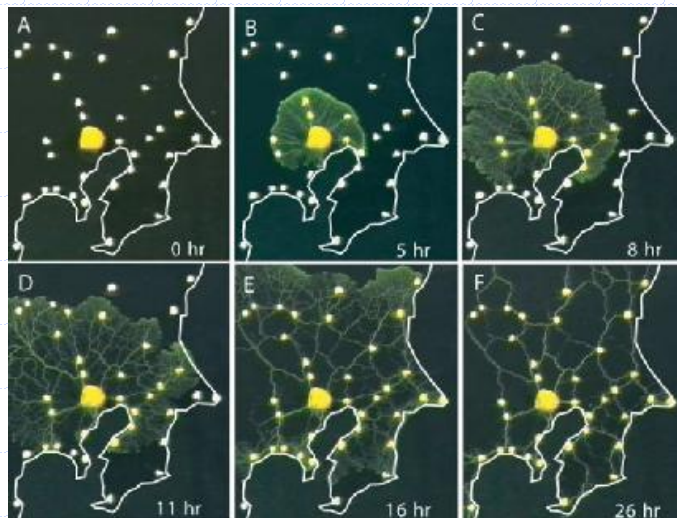


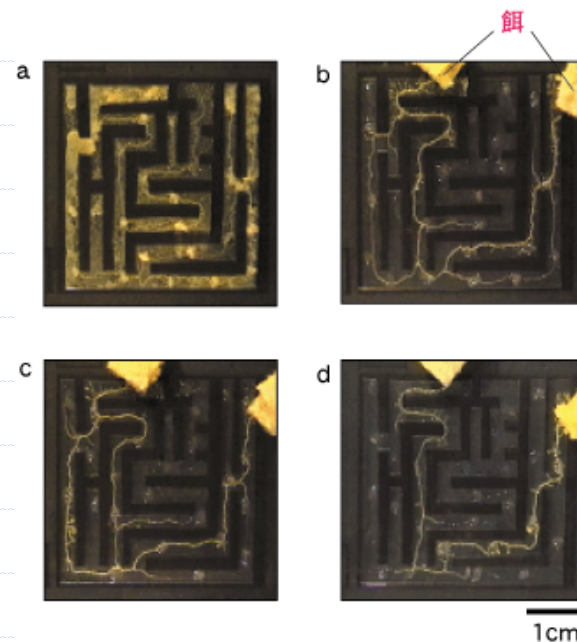
図1 迷路を解く粘菌。迷路一面に広がる粘菌(左)に餌(AG)を置くと、最短経路にだけ太い管を残した(右)



中垣俊之  
《はこだて未来大学教授》

# デモプログラム: 粘菌の迷路探索

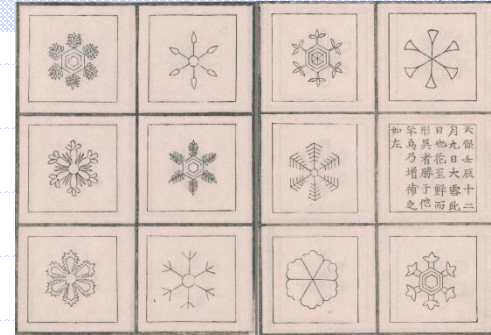
## Swarm demonstration



寒天ゲルの上を移動している粘菌を上方より撮影した。

黄色の物体が粘菌変形体、  
黒色で示されている部分は迷路の壁を示している。

- (図a) 迷路いっぱい広がった粘菌が
- (図b) 行き止まりの経路にある部分を衰退させ、  
入口と出口を結ぶ経路に管を残している。
- (図c) 次に、接続経路の長いものを消去し、
- (図d) 最終的に、最短ルートに1本の管を形成した。



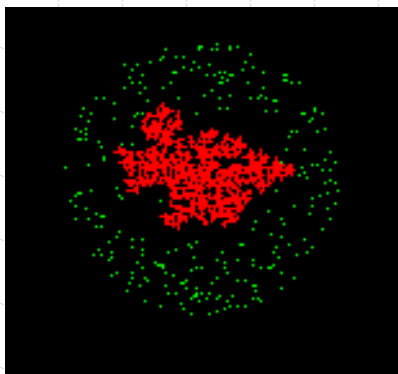
# 雪片の成長

- ◆ 雪片は水分子が結晶を構成している
- ◆ 水分子の極性
  - 酸素分子は2つの水素原子と共有結合
  - さらに、酸素分子は他の水分子の水素原子ともゆるやかに結合している(水素結合)
- ◆ そのため、1つの酸素原子は正四面体をつくるように周りの4つの水素原子と結合する。
  - よって全ての酸素と水素の結合角度は120度
- ◆ ∴ 水の結晶における酸素分子は正六角形が連なったように配列する

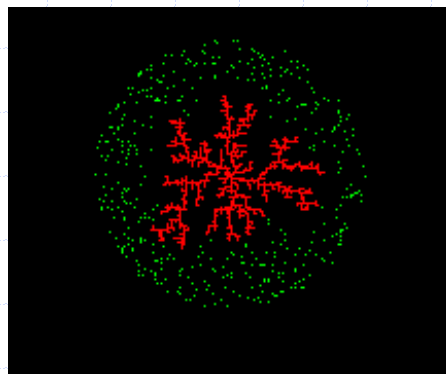


# デモプログラム: 雪片の成長

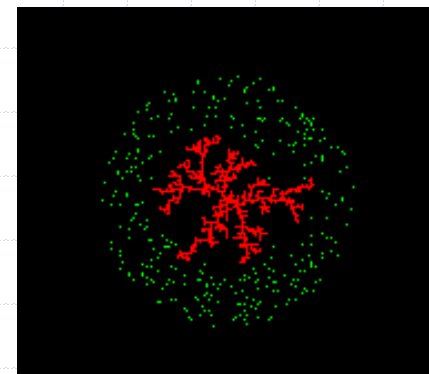
## *Swarm demonstration*



吸着率 0.05

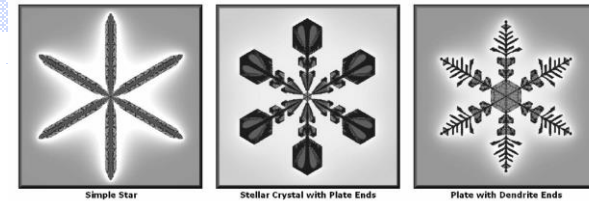


0.99



6方向の吸着率1.0

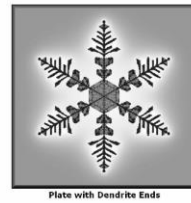
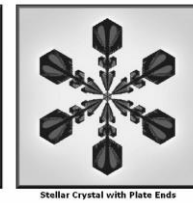
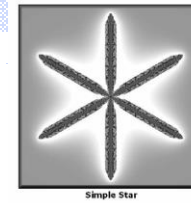
- 雪のような対称性を獲得できていない
- これはやはり正方格子を六方格子のようにとらえることの難しさ
- 自己相似は獲得できているが、雪の結晶のようにはならなかった



## 雪片の成長: Mesoscopic lattice map

- ◆ 位置  $x$  にあるセルの時刻  $t$  における状態は以下の4つの値で記述される.
  - $a_t(x)$ : 時刻  $t$  において  $x$  にあるセルが結晶の一部であれば1, そうでなければ0
  - $b_t(x)$ : boundary mass (液体のパラメータ)
  - $c_t(x)$ : crystal mass (固体のパラメータ)
  - $d_t(x)$ : diffusive mass (気体のパラメータ)

Janko Gravner and David Griffeath, Modeling snow crystal growth II: A mesoscopic lattice map with plausible dynamics, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 237, no. 3, pp. 385-404, 2008.



# 雪片の成長: Mesoscopic lattice map

## ◆ 初期値

中心の一点のみ

$$a_0(x) = 1$$

$$b_0(x) = 0$$

$$c_0(x) = 1$$

$$d_0(x) = 0$$

その他の点

$$a_0(x) = 0$$

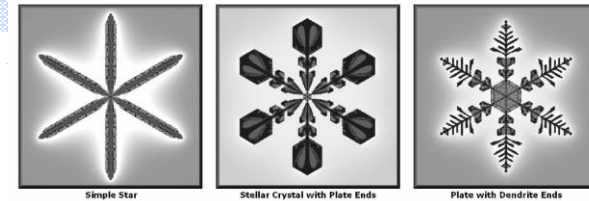
$$b_0(x) = 0$$

$$c_0(x) = 0$$

$$d_0(x) = \rho$$

結晶となっている

Janko Gravner and David Griffeath, Modeling snow crystal growth II: A mesoscopic lattice map with plausible dynamics, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 237, no. 3, pp. 385-404, 2008.

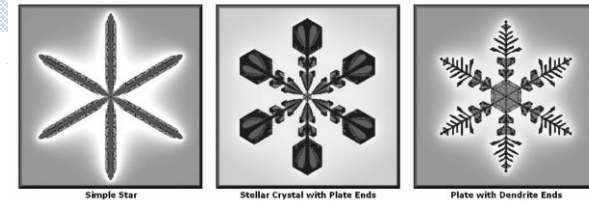


# 雪片の成長: Mesoscopic lattice map

## ◆ 更新規則

- *Diffusion*: まだ結晶化していないセルの  $d_t(x)$  を、隣接セルの  $d_t(x)$  を用いて更新する。
- *Freezing*:  $b_t(x)$ ;  $c_t(x)$ ;  $d_t(x)$  をセル内で更新する。
- *Attachment*:  $b_t(x)$ ;  $d_t(x)$  及び結晶化している隣接セルの数に応じてセルを結晶化する。
- *Melting*:  $b_t(x)$ ;  $c_t(x)$ ;  $d_t(x)$  をセル内で更新する。

Janko Gravner and David Griffeath, Modeling snow crystal growth II: A mesoscopic lattice map with plausible dynamics, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 237, no. 3, pp. 385-404, 2008.



# 雪片の成長: Mesoscopic lattice map

## ◆ 更新規則: Diffusion

$x \in A_t^c$  について,  $d_t(x)$  を次のように更新する.

$$d_t(x) \leftarrow \frac{1}{7} \sum_{y \in \mathcal{N}_x} d_t(y)$$

$y \in A_t$  の場合には,  $d_t(y)$  の代わりに  $d_t(x)$  を用いる.

$\mathcal{N}_x = \{x\} \cup \{y : y \text{ は } x \text{ の隣接セル}\}$

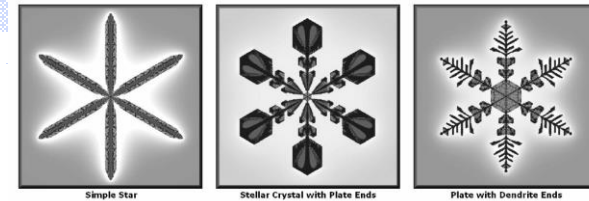
$A_t = \{x : a_t(x) = 1\}$ : 時刻  $t$  において結晶となっているセルの集合

$\partial A_t = \{x \notin A_t : a_t(y) = 1 \text{ for some } y \in \mathcal{N}_x\}$ : 結晶に接触している非結晶セルの集合

$A_t^c = \{x : a_t(x) = 0\}$ :  $A_t$  の補集合

$n_t(x) = \#\{y \in \mathcal{N}_x : a_t(y) = 1\}$ :  $x$  の隣接セルで結晶となっているものの個数

Janko Gravner and David Griffeath, Modeling snow crystal growth II: A mesoscopic lattice map with plausible dynamics, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 237, no. 3, pp. 385-404, 2008.



# 雪片の成長: Mesoscopic lattice map

## ◆ 更新規則: Freezing

$x \in \partial A_t$  について,  $b_t(x), c_t(x), d_t(x)$  を次のように更新する.

$$b_t(x) \leftarrow b_t(x) + (1 - \kappa)d_t(x)$$

$$c_t(x) \leftarrow c_t(x) + \kappa d_t(x)$$

$$d_t(x) \leftarrow d_t(x)$$

$$\mathcal{N}_x = \{x\} \cup \{y : y \text{ は } x \text{ の隣接セル}\}$$

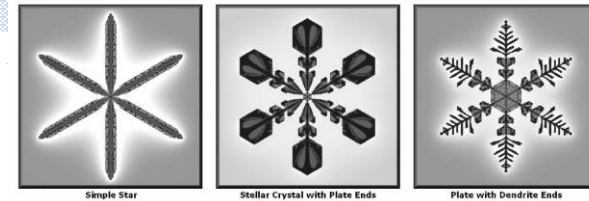
$$A_t = \{x : a_t(x) = 1\}: \text{時刻 } t \text{ において結晶となっているセルの集合}$$

$$\partial A_t = \{x \notin A_t : a_t(y) = 1 \text{ for some } y \in \mathcal{N}_x\}: \text{結晶に接触している非結晶セルの集合}$$

$$A_t^c = \{x : a_t(x) = 0\}: A_t \text{ の補集合}$$

$$n_t(x) = \#\{y \in \mathcal{N}_x : a_t(y) = 1\}: x \text{ の隣接セルで結晶となっているものの個数}$$

Janko Gravner and David Griffeath, Modeling snow crystal growth II: A mesoscopic lattice map with plausible dynamics, Physica D: Nonlinear Phenomena, vol. 237, no. 3, pp. 385-404, 2008.



# 雪片の成長: Mesoscopic lattice map

## ◆ 更新規則: Attachment

$x \in \partial A_t$  について,  $a_t(x)$  を次のように更新する.

If  $n_t(x) = 1$  or  $2$ , and  $b_t(x) \geq \beta$ , then  $a_t(x) \leftarrow 1$

If  $n_t(x) \geq 3$ , and either  $b_t(x) > 1$  or  $\left( \sum_{y \in \mathcal{N}_x} d_t(y) < \theta \text{ and } b_t(x) \geq \alpha \right)$ , then  $a_t(x) \leftarrow 1$

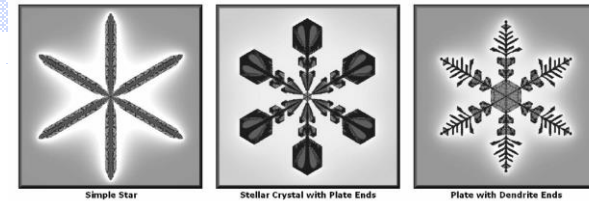
If  $n_t(x) \geq 4$ , then  $a_t(x) \leftarrow 1$

そして, もし  $a_t(x)$  に  $1$  が代入されたら, 次の式で  $b_t(x), c_t(x)$  を更新する.

$$b_t(x) \leftarrow b_t(x)$$

$$c_t(x) \leftarrow b_t(x) + c_t(x)$$

Janko Gravner and David Griffeath, Modeling snow crystal growth II: A mesoscopic lattice map with plausible dynamics, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 237, no. 3, pp. 385-404, 2008.



# 雪片の成長: Mesoscopic lattice map

## ◆ 更新規則: Melting

$x \in \partial A_t$  について,  $b_t(x), c_t(x), d_t(x)$  を次のように更新する.

$$b_t(x) \leftarrow (1 - \mu)b_t(x)$$

$$c_t(x) \leftarrow (1 - \gamma)c_t(x)$$

$$d_t(x) \leftarrow d_t(x) + \mu b_t(x) + \gamma c_t(x)$$

$\mathcal{N}_x = \{x\} \cup \{y : y \text{ は } x \text{ の隣接セル}\}$

$A_t = \{x : a_t(x) = 1\}$ : 時刻  $t$  において結晶となっているセルの集合

$\partial A_t = \{x \notin A_t : a_t(y) = 1 \text{ for some } y \in \mathcal{N}_x\}$ : 結晶に接触している非結晶セルの集合

$A_t^c = \{x : a_t(x) = 0\}$ :  $A_t$  の補集合

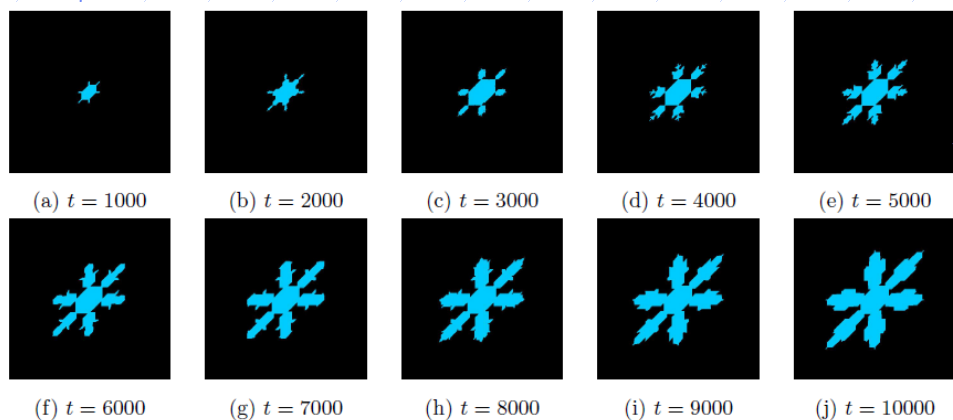
$n_t(x) = \#\{y \in \mathcal{N}_x : a_t(y) = 1\}$ :  $x$  の隣接セルで結晶となっているものの個数

Janko Gravner and David Griffeath, Modeling snow crystal growth II: A mesoscopic lattice map with plausible dynamics, *Physica D: Nonlinear Phenomena*, vol. 237, no. 3, pp. 385-404, 2008.

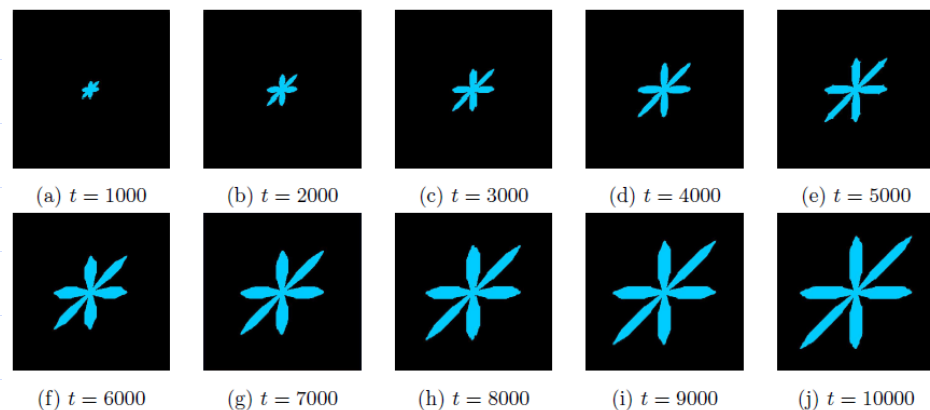


# デモプログラム: 雪片の成長

## *Swarm demonstration*



$\rho$	$\beta$	$\alpha$	$\theta$	$\kappa$	$\mu$	$\gamma$	$\sigma$
0.65	1.75	0.2	0.026	0.15	0.015	0.0001	0
0.36	1.09	0.01	0.0745	0.0001	0.14	0.00001	0
0.38	1.06	0.35	0.112	0.001	0.14	0.0006	0



# デモプログラム: 雪片の成長

## Swarm demonstration

The screenshot shows a Java Swing application window titled "snow crystal model" with a black background. A single blue snowflake is visible in the center. A parameter configuration dialog is open, showing the following settings:

Parameter	Value
worldXSize	500
worldYSize	500
rho	0.38
mu	0.14
kappa	0.001
sigma	0
beta	1.06
theta	0.112
alpha	0.35
gamma	0.0006

The background of the application window shows a grid of text, likely representing the state of the simulation, with some text visible such as "Start", "Stop", "Next", "Save", "Quit", "cell.class", "ModelSwarm.cl", "Cell", "Model", "Snowflake", "rho", "mu", "kappa", "sigma", "beta", "theta", "alpha", "gamma".

理想

理想