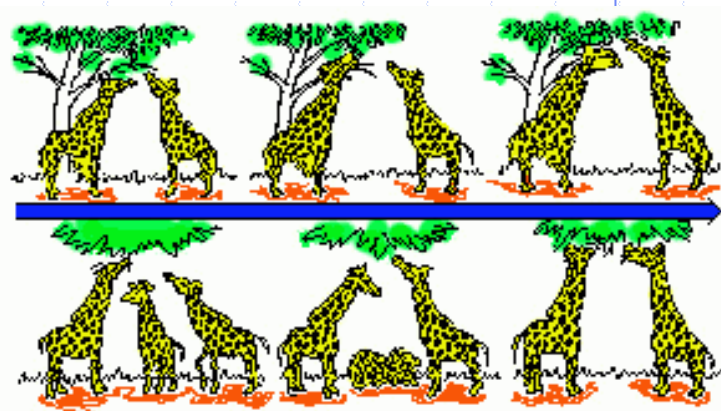


シミュレーション学

東京大学大学院
工学系研究科
電気系工学専攻
伊庭齊志



講義の概要：シミュレーション学

◆ Simulationとは？

- ○ シミュレーション × シュミレーション

- Simulate: 模擬実験

- Emulate: ~と同等・よりすぐれようと努める

- Assimilate: あるものを取り入れそれを一部にする・同化する

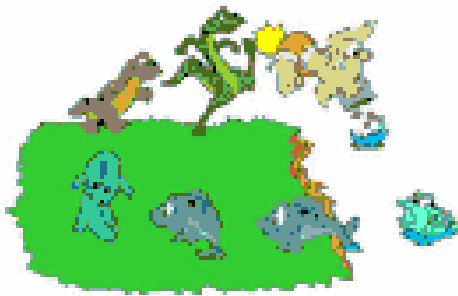


シミュレーションの利点

◆ 安い



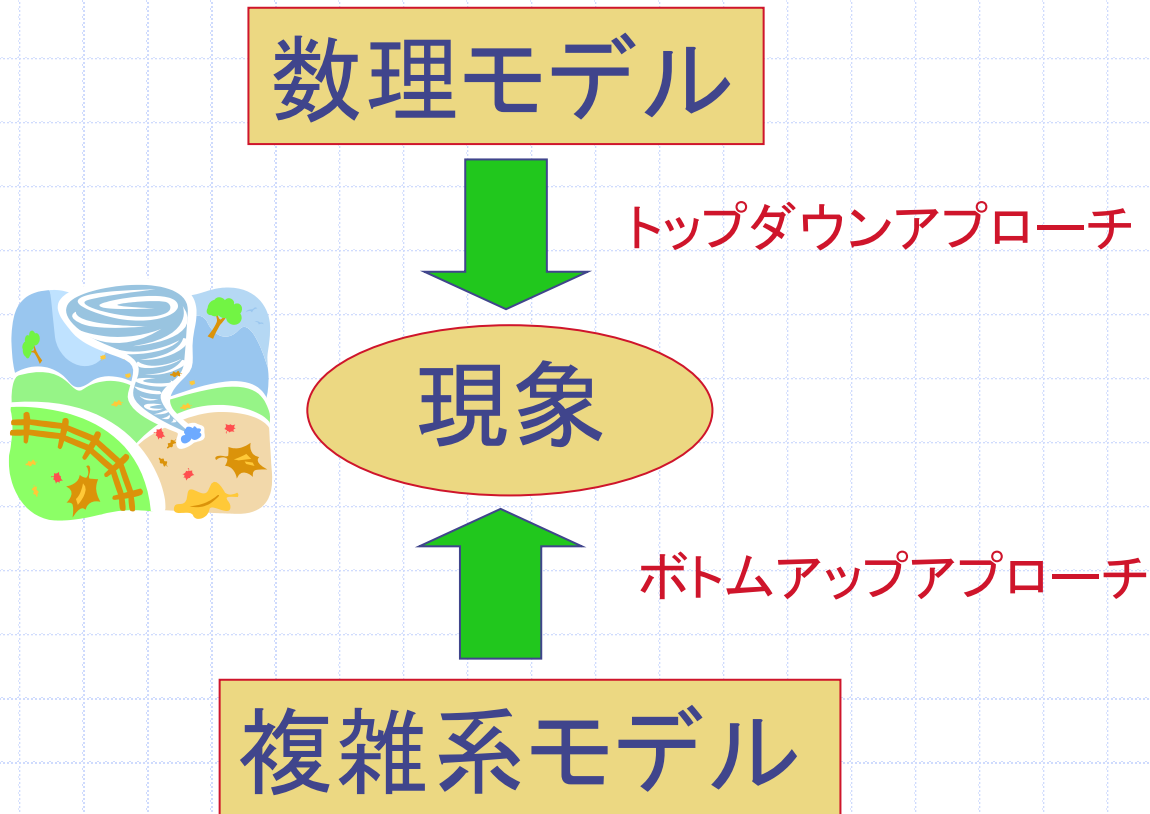
◆ 早い



◆ 再現性



シミュレーションのアプローチ



ボトムアップアプローチ



◆ Key words

- セラ・オートマトン
- 人工生命
- 進化モデル・創発
- 自己組織化



◆ 隣り合うセル(エージェント)の**ミクロな相互作用**で定義(単純なルール)

◆ **マクロな現象の創発**

◆ **全体を規定するルールは存在しない**



教科書

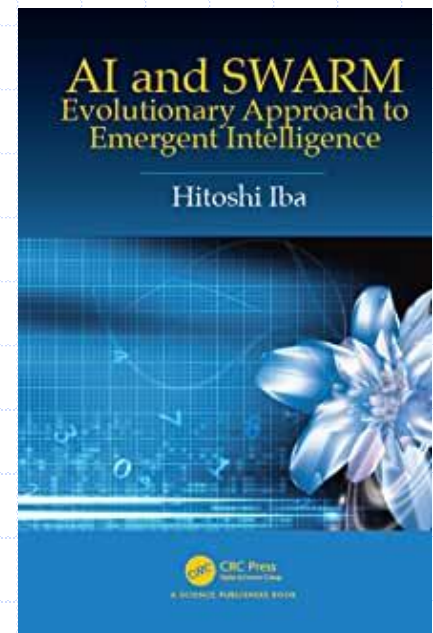
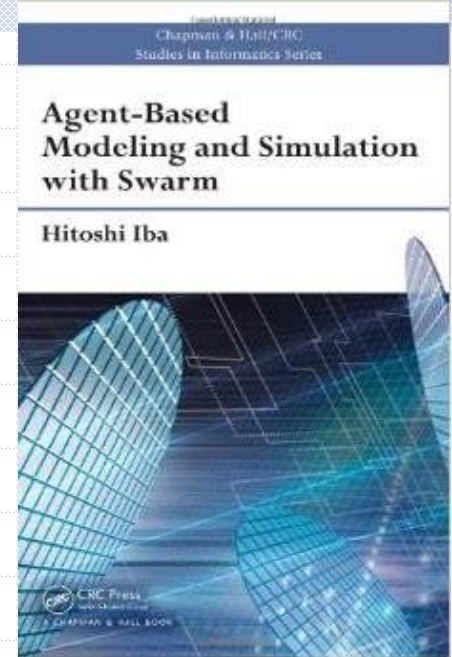
- ◆ 伊庭斉志：
複雑系のシミュレーション、
Swarmによるマルチ・エージェントシステム
コロナ社

講義で使用するシミュレータ



English Text book

- ◆ Iba, H., *"Agent-Based Modeling and Simulation with Swarm"*, ISBN-10: 146656234X, Chapman and Hall/CRC, 2013.
- ◆ Iba, H., *"AI and Swarm: Evolutionary approach to emergent intelligence"*, ISBN-10: 0367136317, CRC Press, 2019.

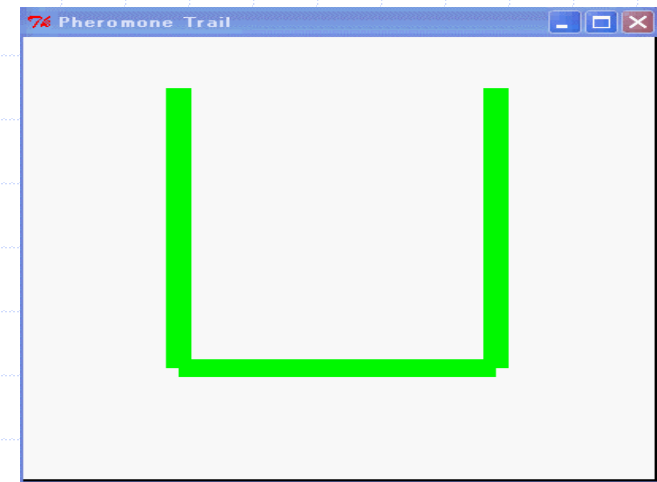
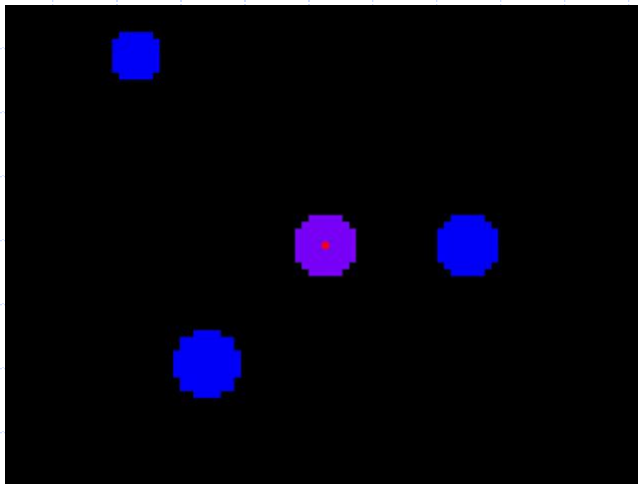


複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

- ◆ アリ、ハチの群れ行動
- ◆ 最適化探索

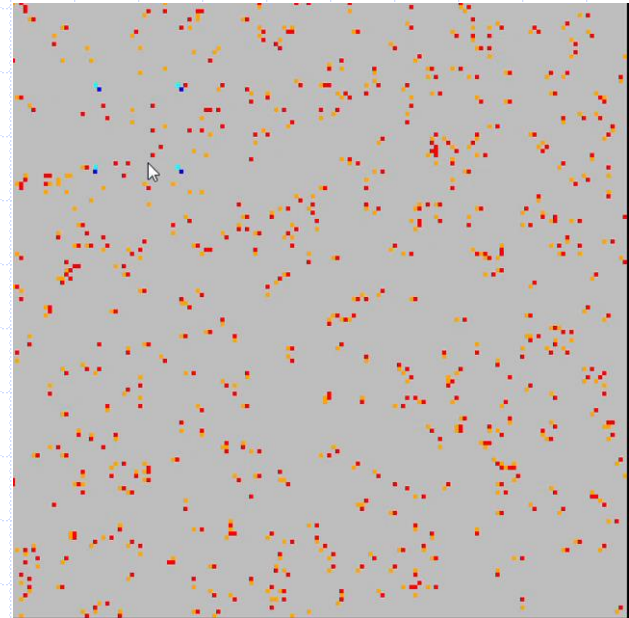


橋を作る軍隊アリ



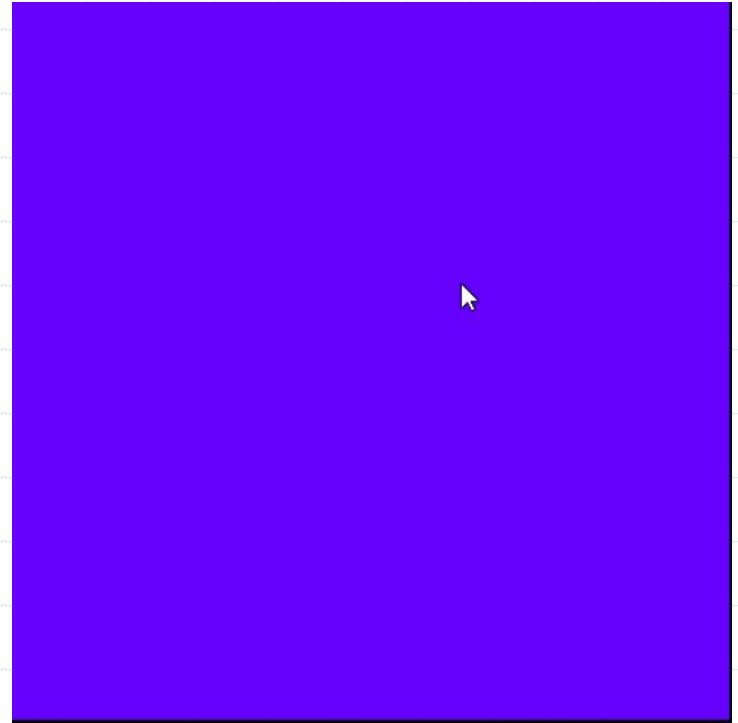
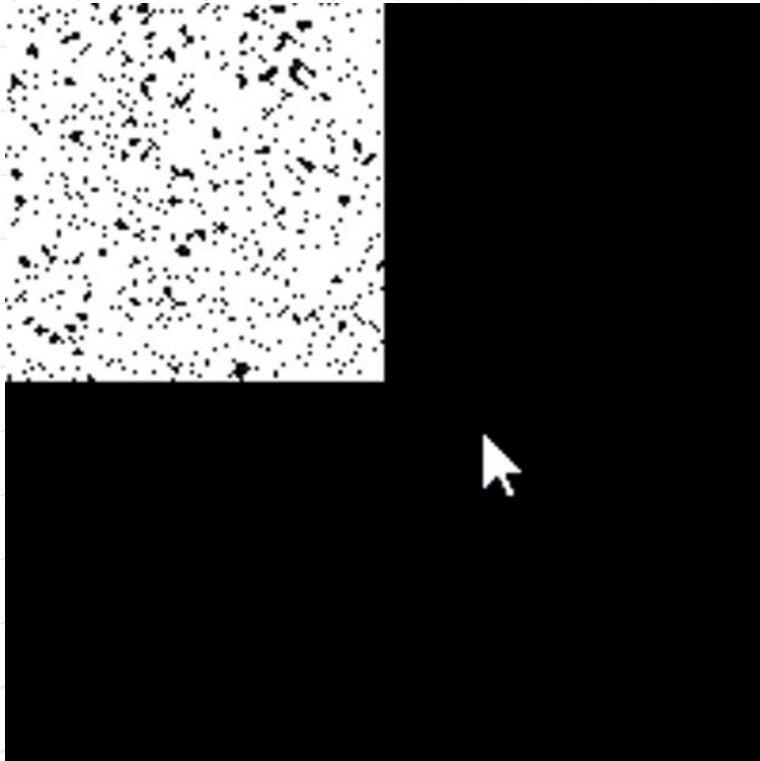
複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

- ◆ 魚や取りの群れ
- ◆ イワシアタック



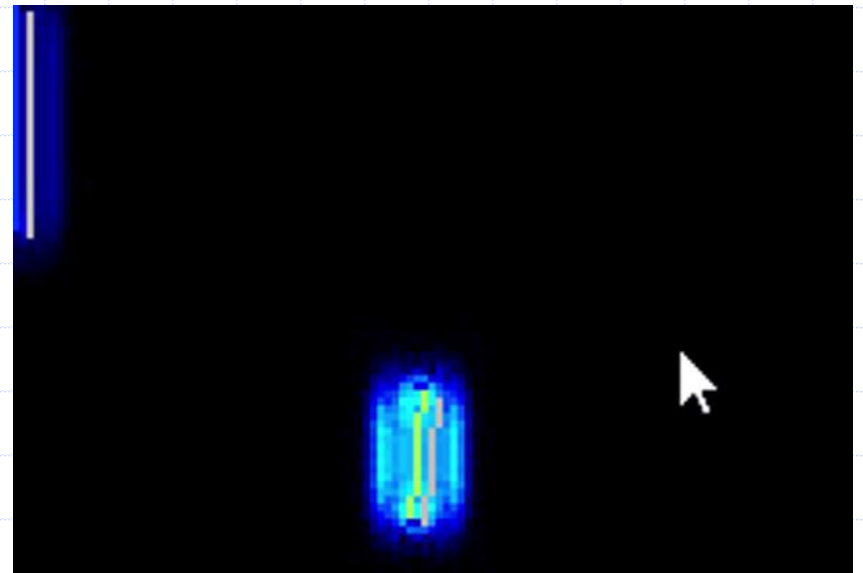
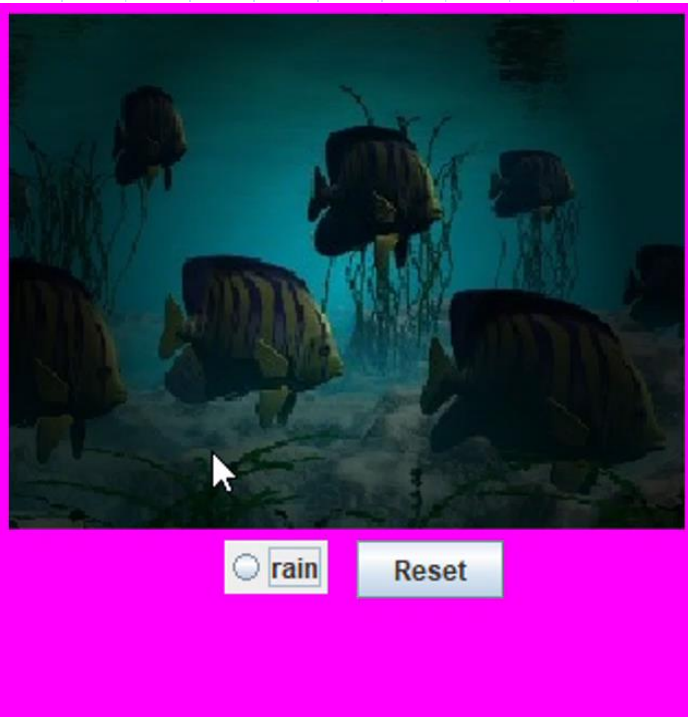
複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

◆ BZ反応



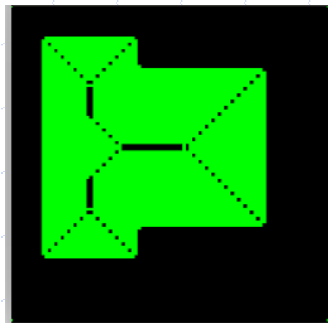
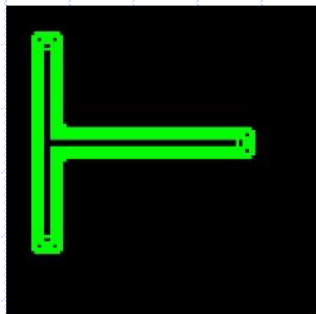
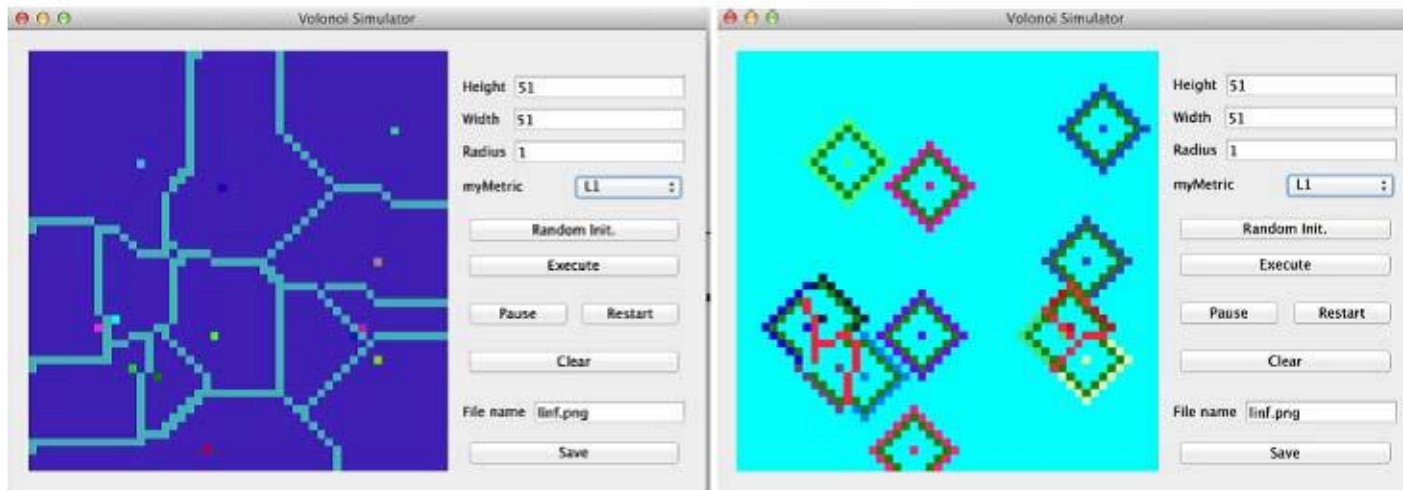
複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

- ◆ 雨粒
- ◆ エアコンの冷え具合



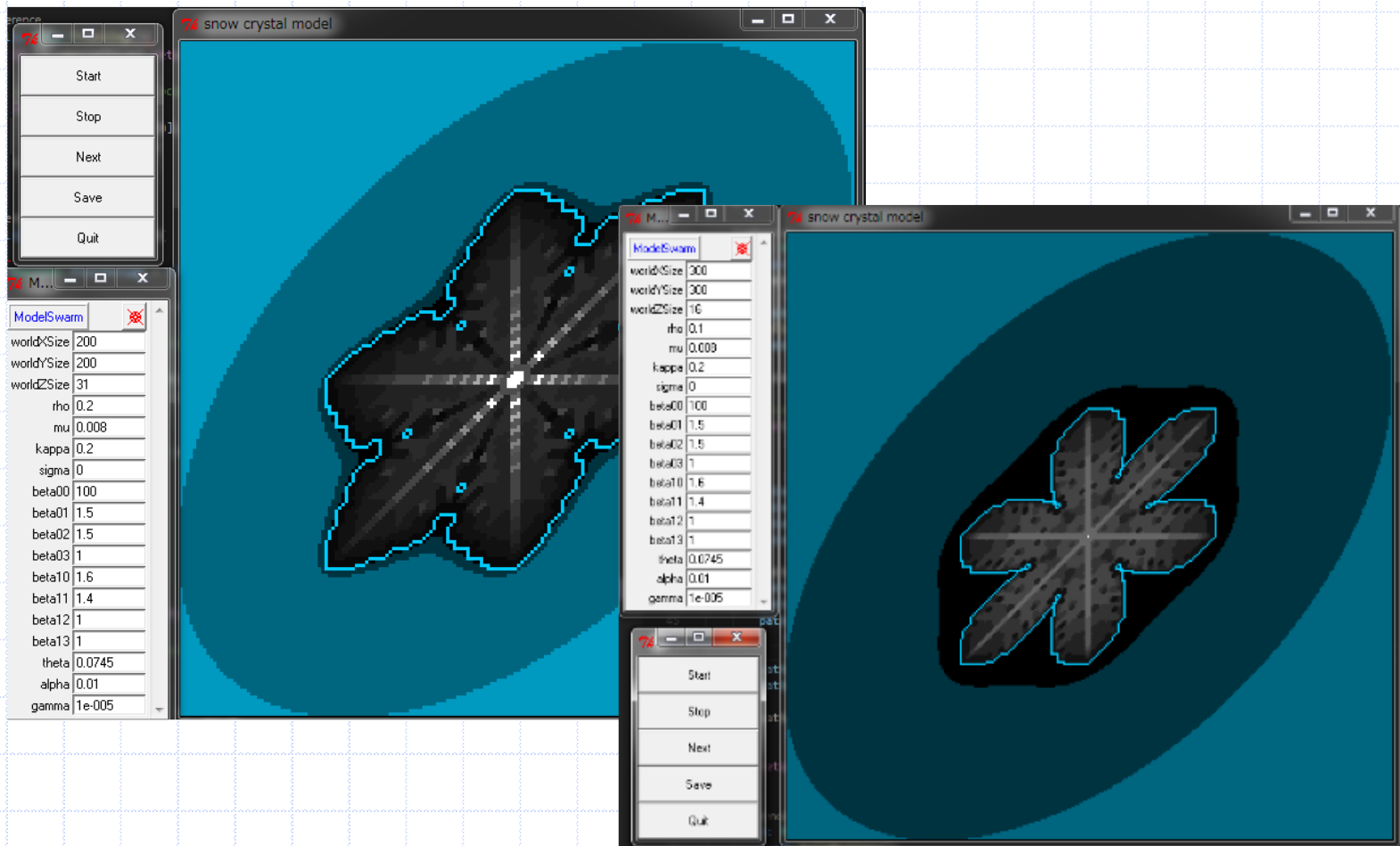
複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

◆ Voronoi図 と 細線化



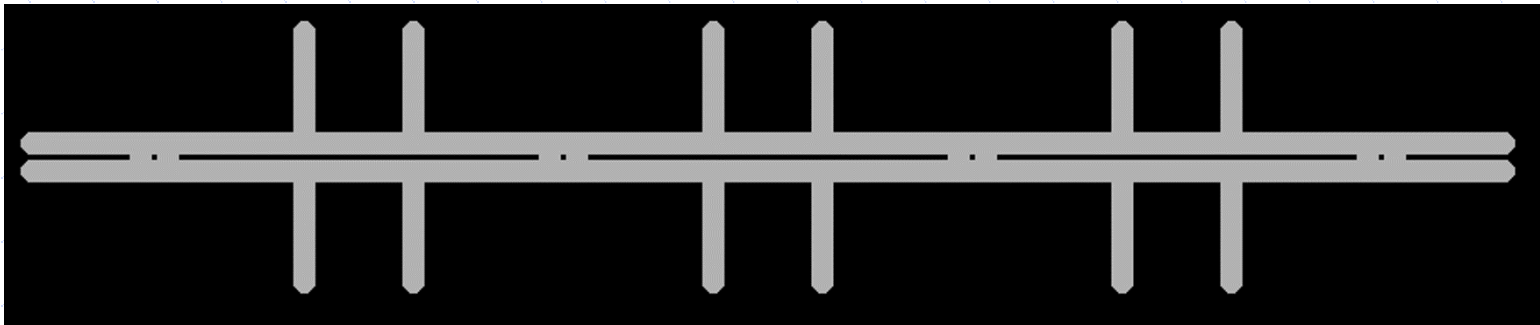
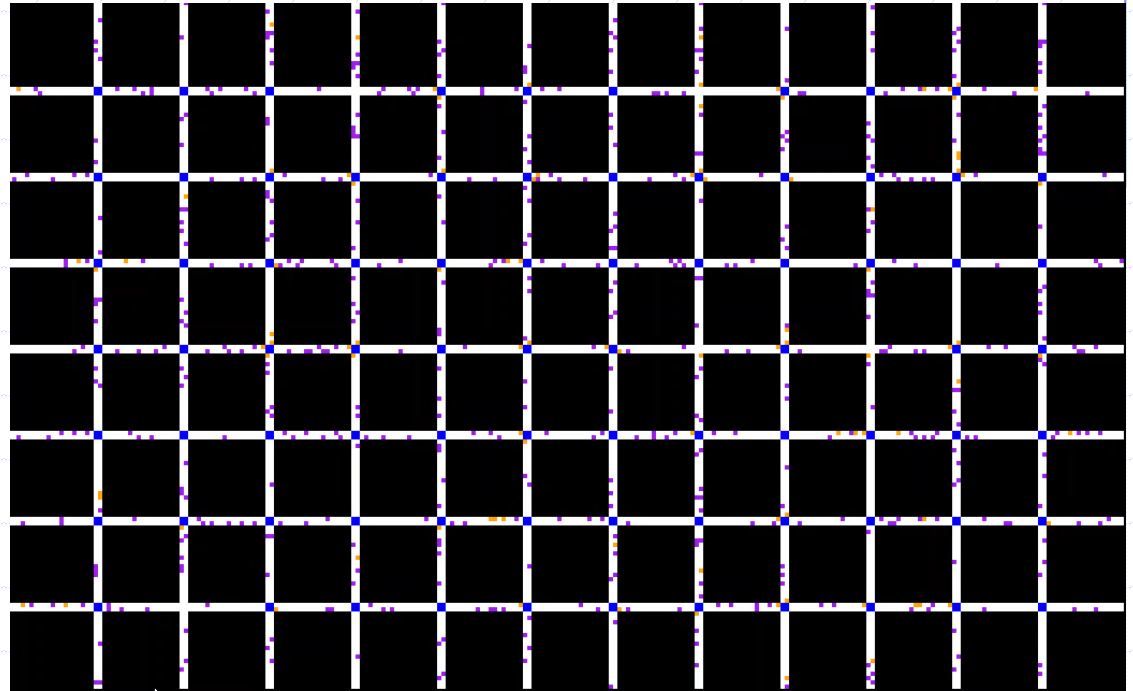
複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

◆ 雪片を作ろう



複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

- ◆ シリコン交通
- ◆ 渋滞学



シミュレーションは万能か？

- ◆ パイロットA: 飛行時間40時間(アメリカ2回往復)
- ◆ パイロットB: 飛行時間500時間(Flight Simulator X)



E.g. 2007年3月13日
全日空1603便(高知空港)
車輪が降りないまま着陸

本当に訓練しているのか？

シミュレーションへの批判

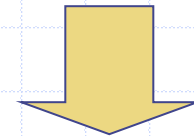
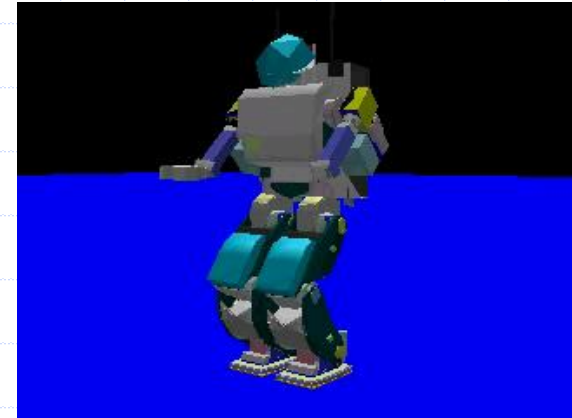
- ◆ Rodney Brooks (MIT: AI, ロボット学者)
 - Vision, LISP, SSA, Humanoid Robots
 - Intelligence without representation (表象なき知能)
- ◆ Simulator vs. Real world
 - 決して実世界を完全にシミュレートできない
 - Physical grounding, Embodiment (身体性)
 - マトリックス??



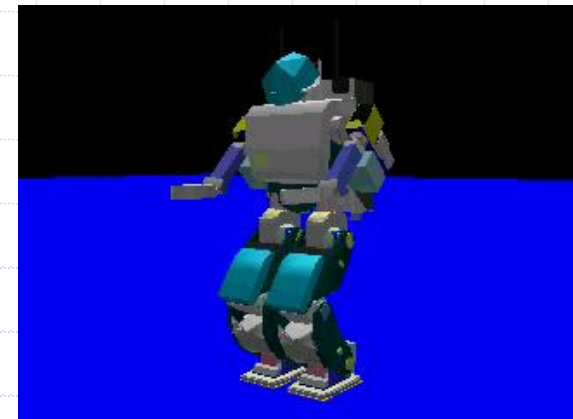
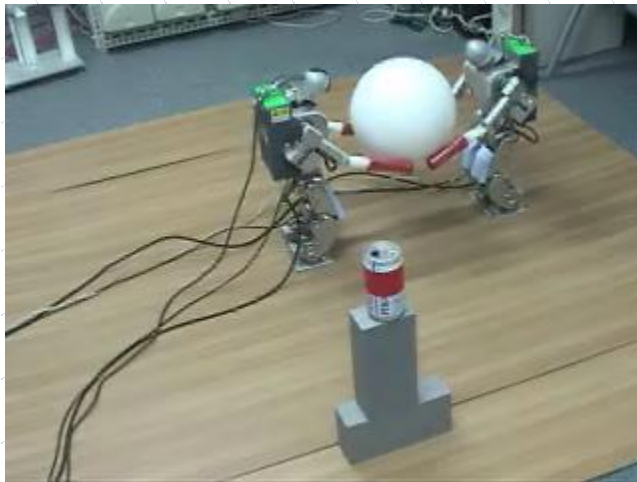
Simulator vs. Real world environment

- ◆ Manual design
 - Humanoid Animation
 - 3D-CG
 - Motion Capturing
- ◆ Real-world simulation

ideal



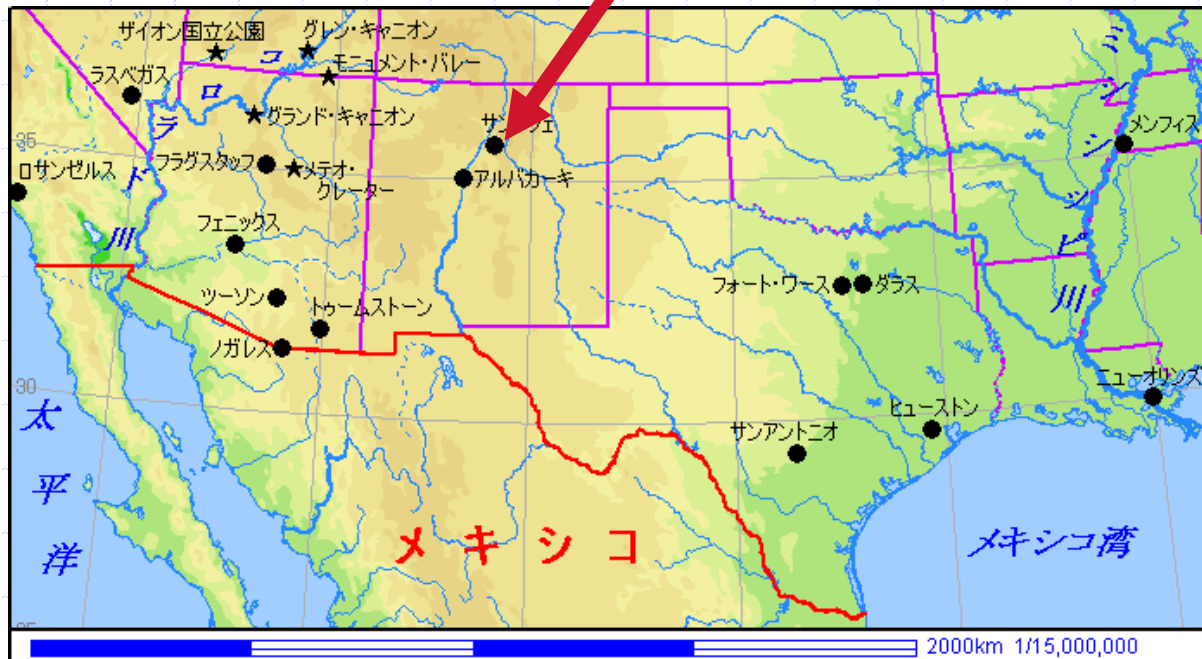
real



Santa Fe Institute サンタフェ研究所

◆ 複雑系研究の総本山

◆ Swarm : 複雑系のシミュレーションツール



サンタフェ研究所

- ◆ もともとロス・アラモス研究所の一部
- ◆ 修道院跡につくられる

- ◆ マレイ・ゲルマン(ノーベル物理学賞)
- ◆ ケネス・アロー(ノーベル経済学賞)
- ◆ ロバート・アクセルロッド(囚人のジレンマ)
- ◆ ジョン・ホーランド(遺伝的アルゴリズム)
- ◆ クリストファー・ラングトン(人工生命)
- ◆ ブライアン・アーサー(経済学)



収益逡増 (increased returns)

- ◆ 古典的経済学: アダム・スミス「神の見えざる手」
 - 需要と供給の均衡
- ◆ ブライアン・アーサー: 「経済は複雑系」
 - 全体的均衡は存在しない
- ◆ 収益逡増と経路依存性
 - 勝ち馬効果、雪崩現象
 - ◆ VHS vs. β のビデオテープの規格競争
 - ◆ QWERTY キーボード

Dvorak Simplified キーボード

QWERTY配列はなぜ入力しにくいのか？

~ `	! 1	@ 2	# 3	\$ 4	% 5	^ 6	& 7	* 8	(9) 0	{ [}]	Backspace	
Tab	" ,	< ,	> .	P	Y	F	G	C	R	L	? /	+ =	 \ _	
Caps Lock	A	O	E	U	I	D	H	T	N	S	=	Enter		
Shift	:	Q	J	K	X	B	M	W	V	Z	Shift			
Ctrl		All										All		Ctrl

(a) DSK配列

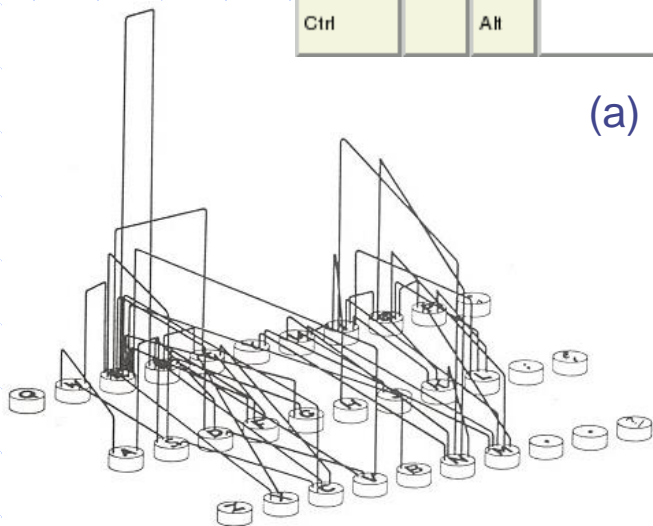
1930年代 ワシントン大学・オーガスト・ドヴォラック (August Dvorak) が、より効率的に入力できるキーボードDSK配列 (the Dvorak Simplified Keyboard)を開発した

Dvorak Simplified キーボード

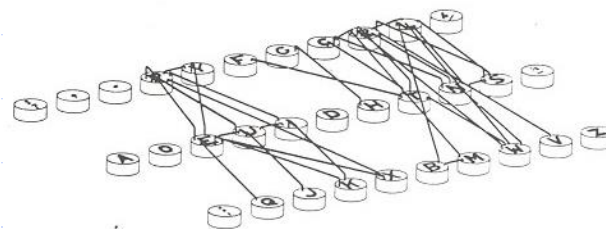
~ ,	! 1	@ 2	# 3	\$ 4	% 5	^ 6	& 7	* 8	(9) 0	{ [}]	Backsp
Tab	" ,	< ,	> .	P	Y	F	G	C	R	L	? /	+ =	 \ _
Caps Lock	A	O	E	U	I	D	H	T	N	S	=	Enter	
Shift	:	Q	J	K	X	B	M	W	V	Z	Shift		
Ctrl		Alt									Alt		

- ぎこちない動きは QWERTY配列の10分の1程度
- 学習率高い
- 習得してからのタイピング速度では2割以上UP

(a) DSK配列



(b) QWERTYキーボードのぎこちなさ



(c) DSK配列のぎこちなさ

アローの一般不可能性定理

◆ 民主主義（多数決制）の不合理制

◆ 3人の学生A, B, Cが、暇つぶしに

- 映画鑑賞
- カラオケ
- TV鑑賞

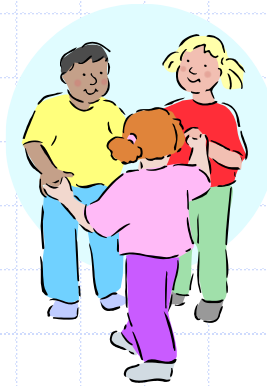
のどれかをするかを相談している



アローの一般不可能性定理

- ◆ Aの好み 映画 > TV > カラオケ
- ◆ Bの好み TV > カラオケ > 映画
- ◆ Cの好み カラオケ > 映画 > TV

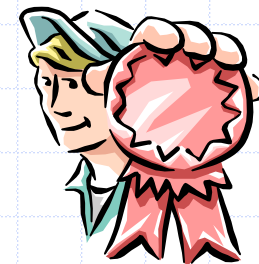
民主的に多数
決をとろう！！



アローの一般不可能性定理

- ◆ より深刻な矛盾
- ◆ 100人の選好関係
- ◆ 何度かの多数決で、全体結果は $x > y$
- ◆ しかしながら $x > y$ の個人は1人
- ◆ $y > x$ は99人

- ◆ 社会全体の利益 \neq 個々人の利益



第4回ノーベル
経済学賞

アローの一般不可能性定理

1. すべての評価の順序が許される。
2. 市民主権を仮定する。全員が $x > y$ ならば x が選択される。
3. 2つの選好順位はそれのみで決まり、他の要素に影響されない。
4. 独裁者はいない。

この4つを満たす「民主的な決定」は存在しない。

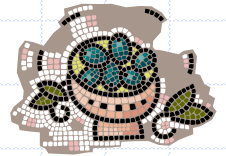
アローの一般不可能性定理

1. すべての評価の順序が許される。
2. 市民主権を仮定する。全員が $x > y$ ならば x が選択される。
3. 2つの選好順位はそれのみで決まり、他の要素に影響されない。
4. 独裁者はいない。

無関係な選択肢からの独立性

無関係な選択肢からの独立性

1. シドニーは、夕食後デザート注文した。
2. アップルパイとブルーベリーパイの2つから選べるウェイトレスに言われ、「アップルを」とシドニーは言った。
3. 数分後ウェイトレスが戻ってきて、「チェリーパイもありました」と彼に伝えた。
4. 「それなら、ブルーベリーパイをもらいましょう」とシドニーは答えた。



何がおかしいか？

シドニー・モーゲンベッサー
(コロンビア大学・哲学教授、
1921-2004)

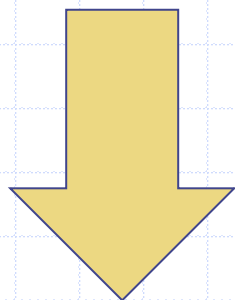
無関係な選択肢からの独立性

1995年：女子フィギュアスケート・世界選手権



途中順位(3人が滑った後)でのトップスリー

1位：陳露(中国)、2位：ボベック(米)、3位：ボナリー(仏)



ミッシェル・クワン(米)
が演技して4位に入った



1位：陳露(中国)、2位：ボナリー(仏)、3位：ボベック(米)

2位と3位が入れ替わった!!

ジャッジの順位の合算の仕方に問題はなかった

粘菌コンピュータ

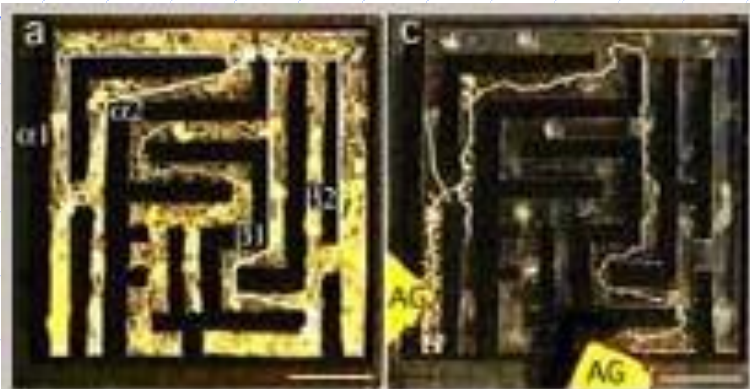
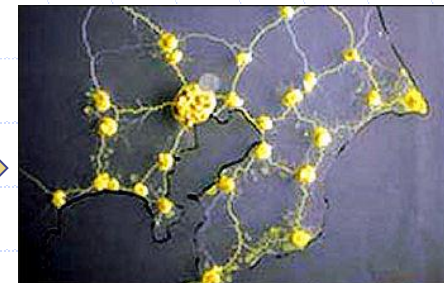
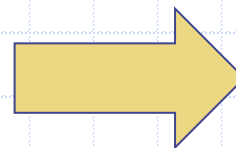
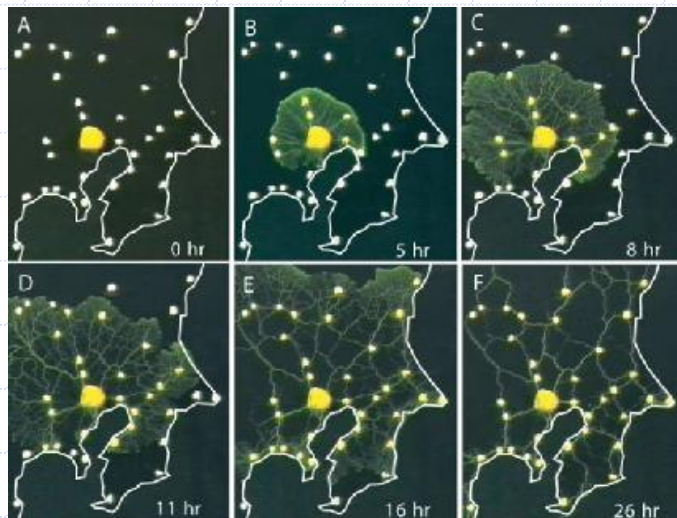


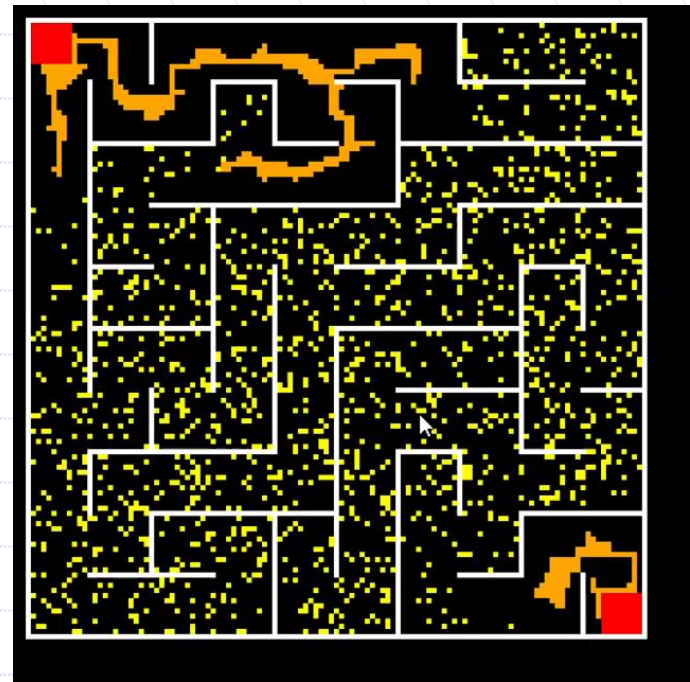
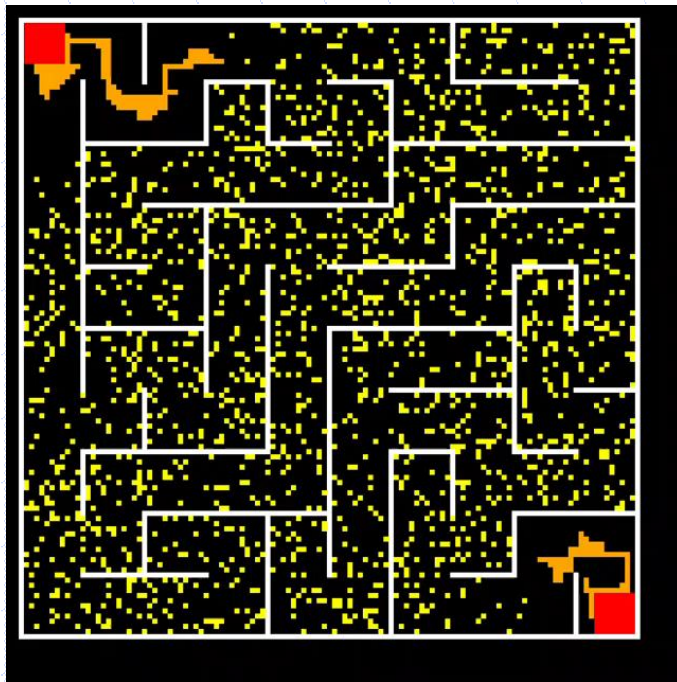
図1 迷路を解く粘菌。迷路一面に広がる粘菌(左)に餌(AG)を置くと、最短経路にだけ太い管を残した(右)



中垣俊之
《はこだて未来大学教授》

複雑系のシミュレーションの例 (講義で扱う例題)

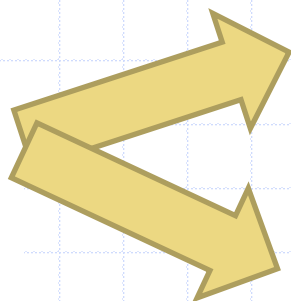
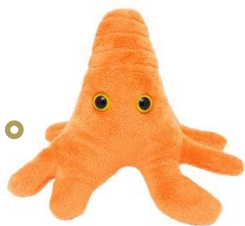
◆ Slime1による迷路探索



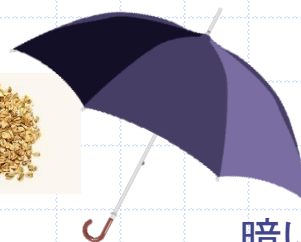
粘菌版：無関係な選択肢からの独立性

(a) 2つの選択は同じくらい良い

どっちも同じくらいいいな



明るいけど多い(5グラム)

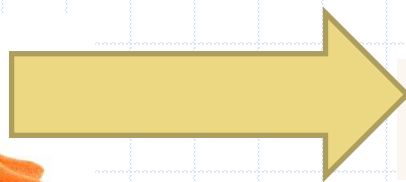
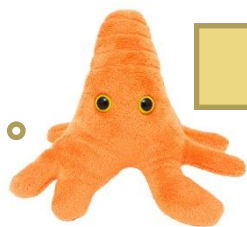


暗いけど少ない(3グラム)

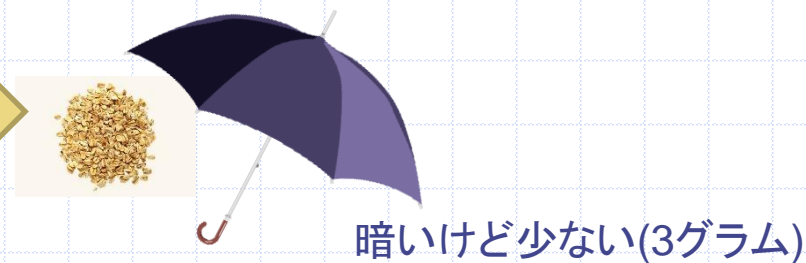
粘菌版：無関係な選択肢からの独立性

(b) 新しい選択により選好が変わる

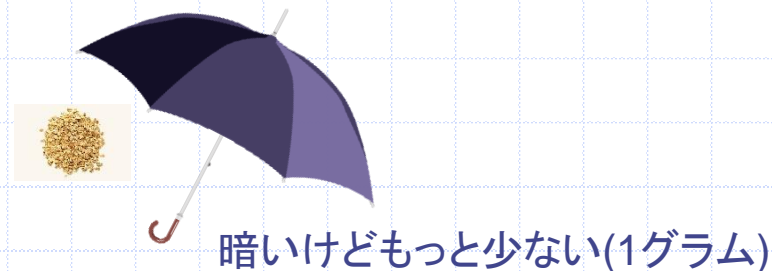
これがずっといいな



明るいけど多い(5グラム)



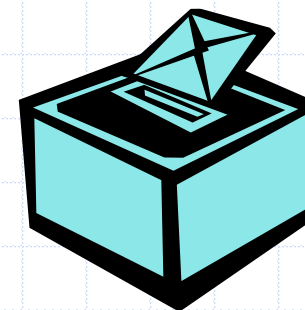
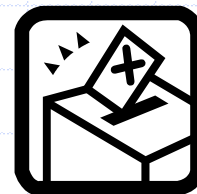
暗いけど少ない(3グラム)



暗いけどもっと少ない(1グラム)

コンドルセの投票パラドクス

◆ 民主主義は公平平等か？



◆ 3人の候補者X, Y, Z

◆ 投票者は60人

◆ 投票結果

- X 23票
- Y 19票
- Z 18票

◆ Xを選んでいいか？



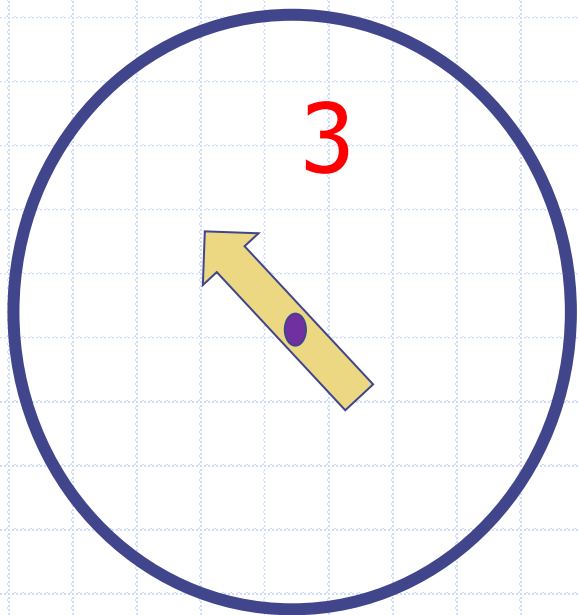
コンドルセ(1743年--1794年)



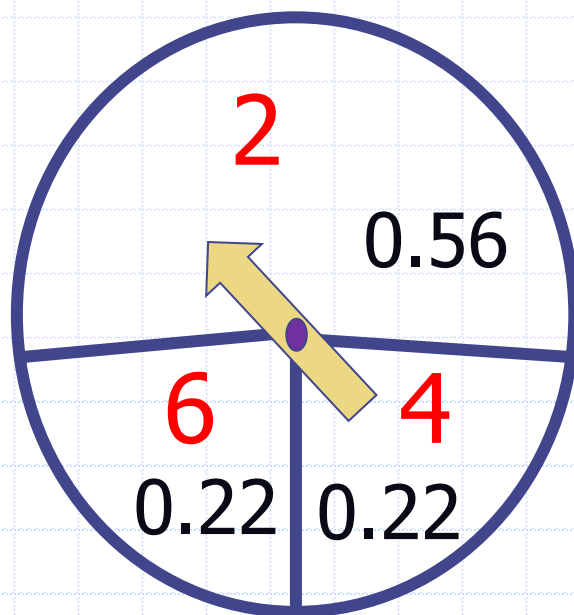
プライスのパラドックス

◆ 3つのルーレットのどれにかけるか？

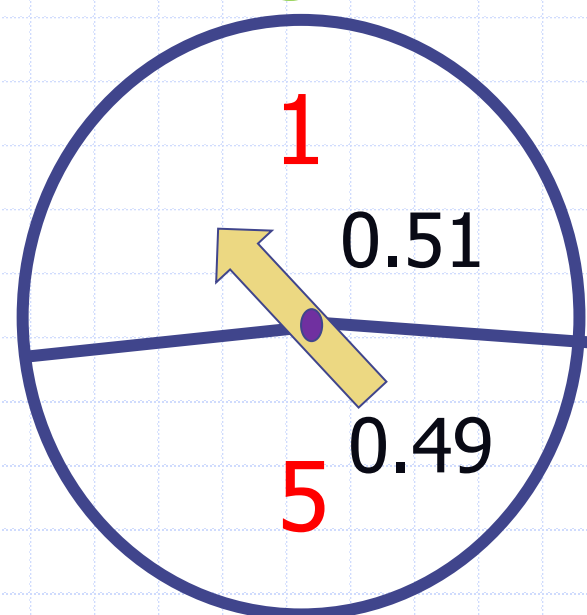
A



B

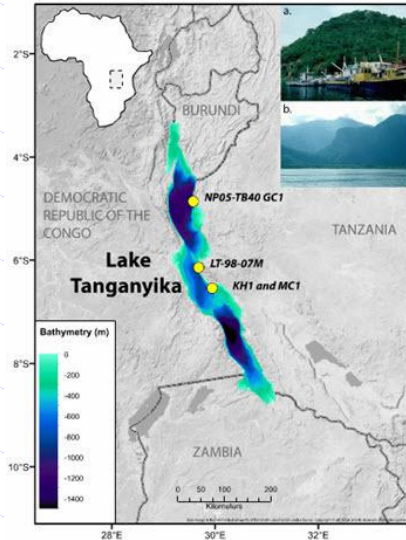


C

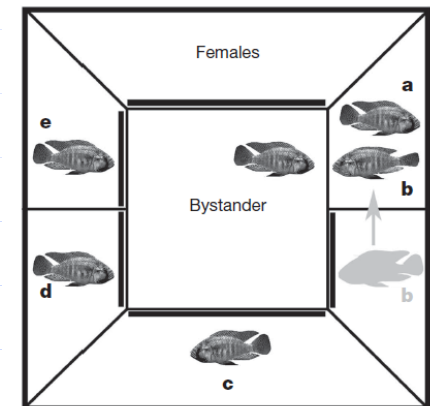


推移律は人間だけか？

If $A > B$ and $B > C$ then $A > C$.



- ◆ アフリカ・タンガニーカ湖
- ◆ シグリット

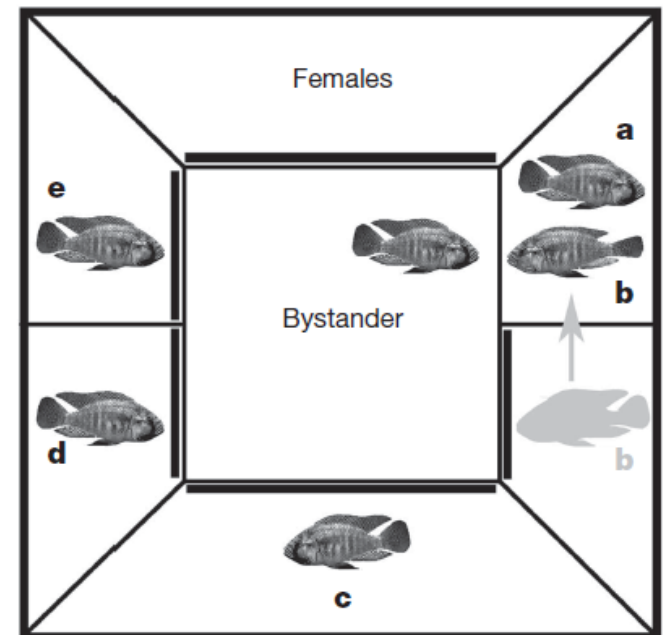


Grosenick L, Clement TS, Fernald RD.
Fish can infer social rank by observation alone.
Nature. 2007 Jan 25;445(7126):429-32.

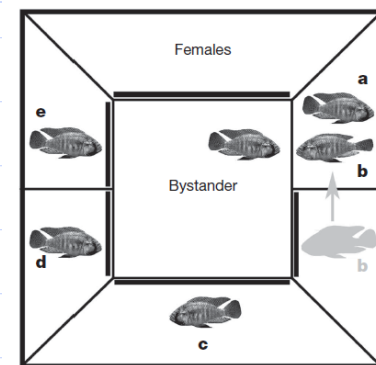
If $A > B$ and $B > C$ then $A > C$.

推移律は人間だけか？

- ◆ シグリット 「バートンのハブロ」
- ◆ オスは縄張りを守るための争いに多くの時間を割く
- ◆ 2匹のオスは激しい小競り合いを繰り広げ、相手が降参するまで続ける
- ◆ あるオスは、ほかのオスどうしが争うのを見ているだけで自分の社会的地位が分かる
- ◆ 実験をしてみたら？



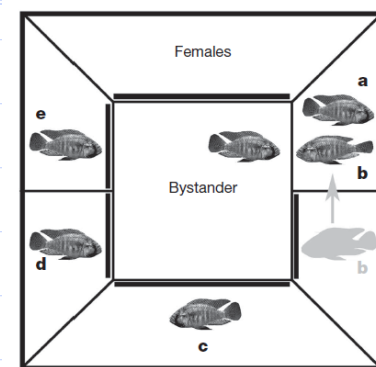
推移律は人間だけか？



- ◆ AからEまでを2匹ずつ戦わせる
- ◆ それを中心のオス(X)が観察する
 - Eはどのオスにも負ける
 - DはE以外の相手に負ける
 - CはEとDのみに勝つ
 - ...
 - $A > B > C > D > E$
- ◆ 戦いのあとでしばらくたってからXが適当な2匹のうち好きな方に近寄るのを許される
- ◆ すると。。。。

If $A > B$ and $B > C$ then $A > C$.

推移律は人間だけか？



- ◆ 戦いのあとでしばらくたってからXが適当な2匹のうち好きな方に近寄るのを許される
- ◆ Xは必ず負けた方を選んだ
- ◆ 2匹が**実際に戦っていない**でも同じように弱い方を選んだ
- ◆ 実際に見たのは、
 - BがCを負かすところ
 - CがDを負かすところ
- ◆ XはBかDを選ぶように求められた
- ◆ するとDを選んだ！！

If $A > B$ and $B > C$ then $A > C$.

Swarm

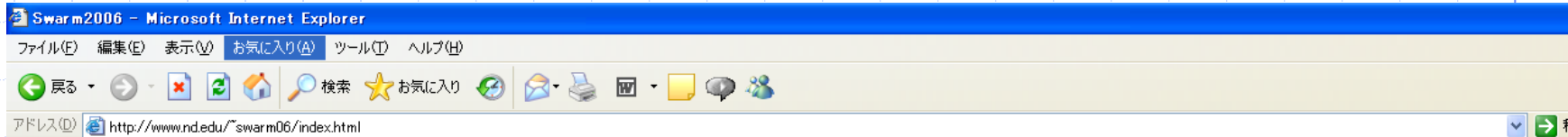
◆ 複雑系のシミュレーションツール

◆ JavaまたはObjective-C版が公開されている

- シミュレーション内のオブジェクトのフィールドやメソッドに対話的にアクセスする.
- シミュレーションの様子(2次元平面上でのエージェントの分布や, 線グラフやヒストグラムによって表せるような統計的指標)をグラフィカルに表示する.
- シミュレーションの各階層に独自の時計(スケジューラ)を持たせる.

SwarmFesta

◆ Swarmユーザの集まり(お祭り)



Agent-Based Simulation Meeting

- Home
- CallForPapers
- Registration
- Housing
- Travel
- InvitedSpeakers
- Tutorial
- Schedule
- Committee

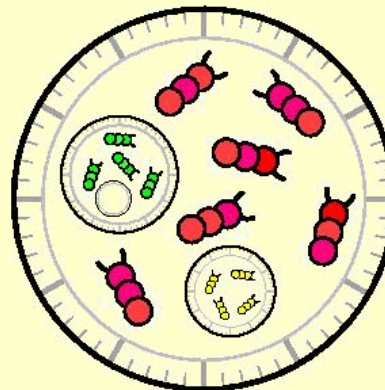
Tenth Annual Swarm Agent-Based Simulation Meeting

SwarmFest 2006

McKenna Hall
Notre Dame, Indiana USA

June 23 - 24, 2006

Reception evening of June 22
Tutorial Session on June 25



The [Department of Computer Science & Engineering](#), the [Indiana Center for Insect Genomics](#), and the [Interdisciplinary Center for the Study of Biocomplexity](#) at the [University of Notre Dame](#), and the [Swarm Development Group \(SDG\)](#) are pleased to announce the **Tenth Annual Swarm Agent-Based Simulation Meeting** to be held on the campus of the University of Notre Dame, on June 23-24, 2006.

At **SwarmFest 2006**, scientists, modelers, and programmers working in a wide variety of domains will get the opportunity to share their research, knowledge and experience with multi-agent modeling including (but not restricted to) the **Swarm** simulation system. Researchers using other Agent-based Modeling tools such as **RePast**, **StarLogo**, **Eco Lab**, **NetLogo**, **Mason**, **IMT**, **AgentSheets**, **Ascape**, **ABLE**, **JADE**, **JAS**, **SIM_AGENT**, **Zeus** are invited to participate. The Swarm Development Group also uses the meeting to help determine future development priorities, so come and tell us what's on your mind! The meeting is a cross section of the community, historically including content suitable for both inexperienced and experienced users and researchers.

講義のHP

講義のビデオをUPLします
出席確認のためのアンケート
関連するソース、デモなど



The screenshot shows a web browser displaying the homepage of the Iba Laboratory at the University of Tokyo. The browser's address bar shows the URL www.iba.t.u-tokyo.ac.jp/. The page header features the laboratory's name in Japanese: 東京大学情報理工学系研究科 電子情報学専攻 伊庭研究室. A navigation menu includes links for 研究内容 (Research Content), 講義関連 (Lecture Related), ソフトウェア (Software), 発表文献 (Published Literature), and 書籍サポーター (Book Supporter). The main content area is titled 'シミュレーション学' (Simulation Science) and lists the following information:

- 担当教官** (Instructor): 伊庭 斉志 (いばひとし) 教授 (Professor Iba Hiroshi)
- 講義のやり方** (Lecture Method): 本講義は原則対面である。 (This lecture is原则上ly face-to-face.)
- 講義内容** (Lecture Content): 「シミュレーション学」では、大学院学生を対象に、
 - 計算機上のシミュレーションの基本概念、
 - 進化論的計算手法の基礎、
 - マルチエージェント計算、
 - 事象駆動型シミュレーション

講義の評価

◆ レポートによる評価

- ときどき出席のためのアンケート回答を求める
- ランダム、出席者が少ないとき

◆ 複雑系のシミュレーションプログラム

- 課題は6月ころに掲示

◆ シミュレーションシステム

- Swarm: 講義で説明、使用する
- その他のもの: python, Processing (java)