

# 『モデリング・シミュレーション入門』

## 第1回 イントロダクション

いば たかし

井庭 崇

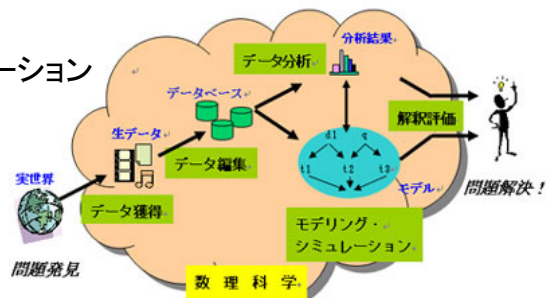
慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

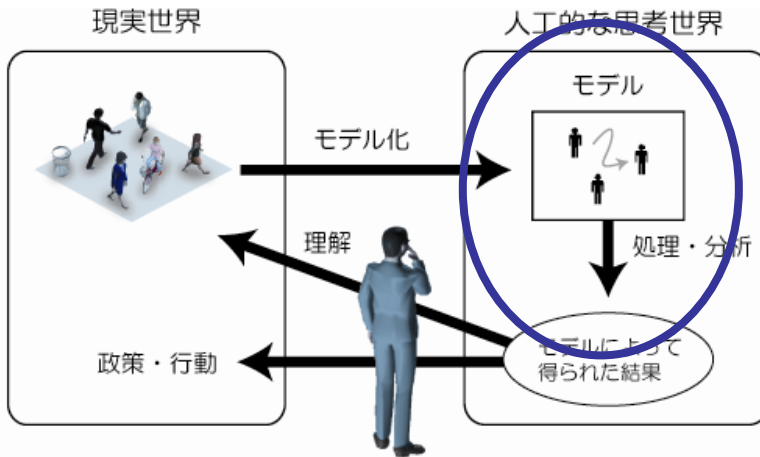
<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

## ナレッジスキル (Knowledge Skills)

- 実世界、およびインターネット世界の両者を対象とした、知を操作するスキル
- 5つのグループ
  - データ獲得
  - データ編集
  - データ分析
  - モデリング・シミュレーション
  - 数理科学



## シミュレーションは思考を支援する



Keio University SFC 2004

## 『モデリング・シミュレーション入門』

第1回 イン트로ダクション

授業計画と履修に関する説明

いば たかし

井庭 崇

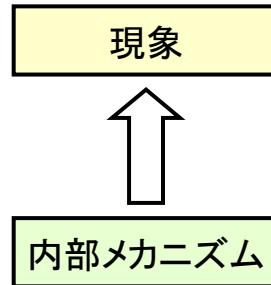
慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

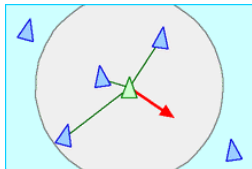
<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>

## シミュレーション

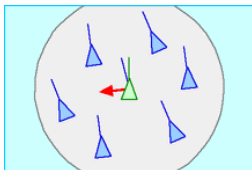
- 模擬実験
- 「試しにやってみる」
- 「模擬する」「真似る」
- シミュレーションとは、内部メカニズムから現象を生成すること。



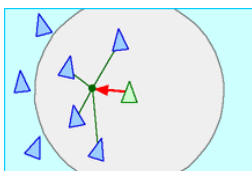
## 鳥の群れシミュレーションのメカニズム



近くの鳥から離れる



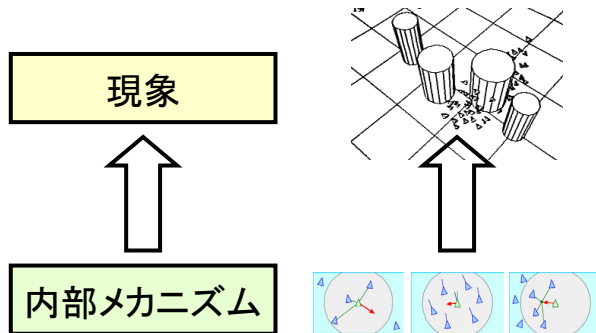
他の鳥と方向を合わせる



群れの中心に向かう

## ヴァーチャル (Virtual)

- Virtual = 「事実上の」
- 語源は、ラテン語「virtus」(力, エネルギー)
  - あるものをそうたらしめる潜在能力という意味



(図版) <http://www.red3d.com/cwr/boids/>

## 理解する≡つくることができる

- 「もし、あるシステムを本当に理解すれば、それを建造することができるだろう。逆に、動くモデルを製作して証拠にするまでは、システムを本当に理解したとは言えない」

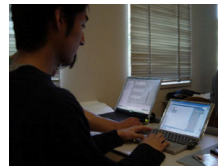
(Carver Mead, Analog VLSI and Neural Systems, Reading, Mass., Addison-Wesley, 1989)

## 提出課題・試験・成績評価の方法など

- 毎回、宿題が出ます。
  - 授業内容の理解を深める
  - 次週の準備
- 授業中にミニ課題を行うことも。
- 成績評価
  - 宿題と課題の提出回数とその質で評価
  - 学期末のレポートや試験は行わない

## 履修上の注意、その他

- 授業中に、各自のノート型パソコンを用いて、実際にシミュレーションを実行する機会を設けます。
- なお、この授業は、KEIO UNIVERSITY SFC GLOBAL CAMPUS (SFC-GC)でアーカイブおよびネット配信されます。SFC-GCは、講義をオンライン上でグローバルに共有し、学内外の学習者に役立てるための仕組みです。復習の際にも、この映像記録を活用してください。

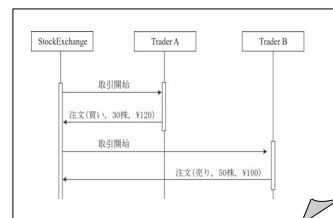


## 授業スケジュール

- 第1回(10/1) インTRODakシヨン
- 第2回(10/8) モデリングとは
- 第3回(10/15) 数理モデリング
- 第4回(10/22) 非線形とカオス
- 第5回(10/29) オートマトン(状態機械)
- 第6回(11/5) オブジェクト指向モデリング
- 第7回(11/12) オブジェクト指向プログラミング  
(三田祭休み)
- 第8回(11/26) シミュレーションとは
- 第9回(12/3) シミュレーションによる分析
- 第10回(12/10) 自律分散協調システムと自己組織化のシミュレーション
- 第11回(12/17) 遺伝的アルゴリズムによる進化のシミュレーション  
(冬休み)
- 第12回(1/7) ニューラルネットワークによる学習のシミュレーション
- 第13回(1/14) 成長するネットワークのシミュレーション

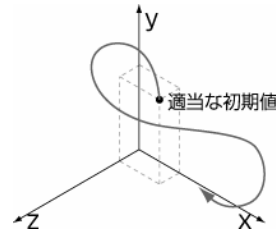
## 第2回 モデリングとは

- モデリング(モデル化)とは、対象を、ある分け方に従ってモデルに写し取ることです。このとき得られたモデルを操作・分析することで、もとの対象に対する理解を深めることができます。また、他の人と一緒にモデルを作成したり共有したりすることで、コミュニケーションや理解の促進が期待されます。



## 第3回 数理モデリング

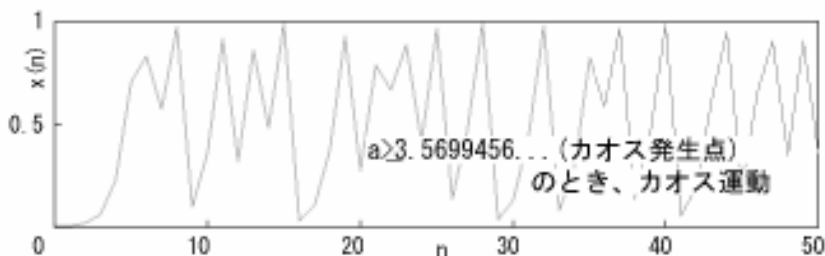
- 時間とともに変動する現象について理解したいとき、数理モデルを作成することがある。
- この数理モデルを操作・計算することで、現象に対する理解を深めたり予測したりします。
- モデルの特徴を把握する(可視化する)ための方法についても紹介します。



## 第4回 非線形とカオス

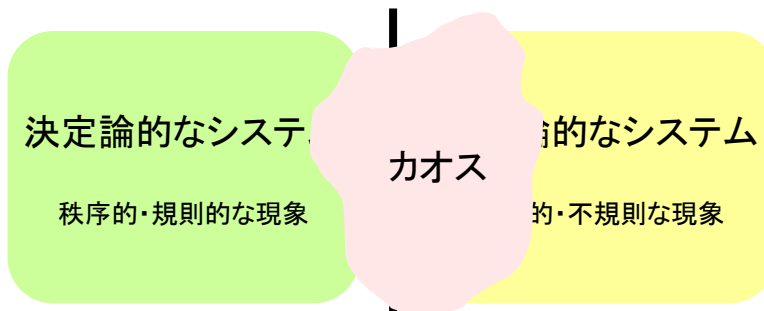
- カオス (chaos)
  - 「規則に従っているにもかかわらず、不規則な振舞いをする」現象のこと

$$x_{n+1} = a x_n (1 - x_n)$$



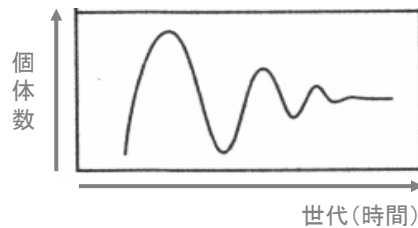
## ながらく信じられてきた現象の「分け方」

- 規則からは規則性
- それ以外は、不規則なでたらめ

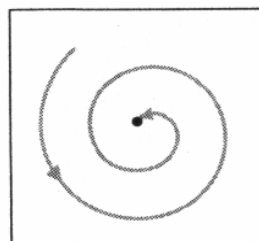


## システムの状態の収束

時系列でみると・・・



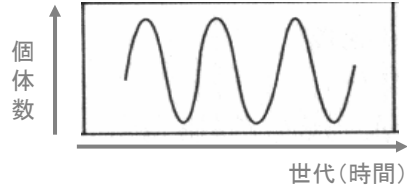
イメージでいうと・・・



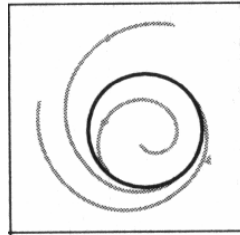


## システムの状態の振動

時系列でみると・・・

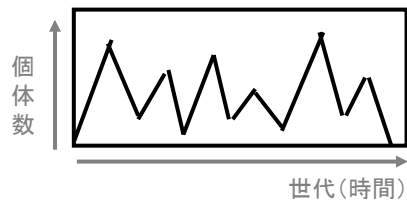


イメージでいうと・・・

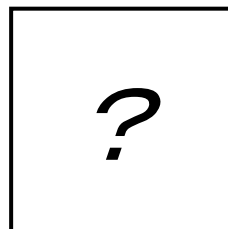


## システムの状態の不規則性？

時系列でみると・・・

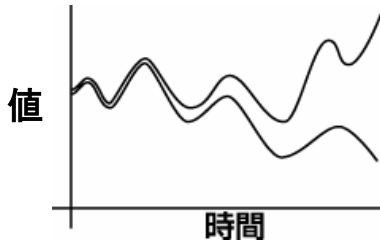


イメージでいうと・・・



## カオスの発見の衝撃

- 「単純な法則から生じる単純な現象」という信念に動揺を与えた
- これまで不規則だと思われてきた現象に規則があるかもしれない
- 予測が根本的に不可能ということ

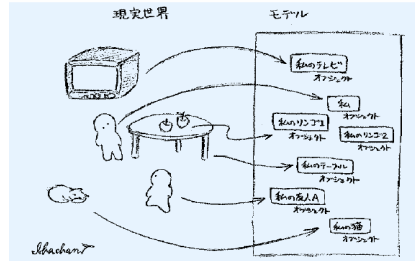


## 第5回オートマトン(状態機械)

- 状態の観点からシステムを把握する「オートマトン」(状態機械)の考え方を紹介します。このように、システムを把握する際には、そのシステムの状態の変化を理解することが重要になります。

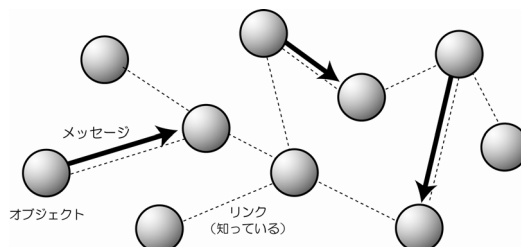
## 第6回 オブジェクト指向モデリング

- 現象の構造や動きをモデル化する方法
- オブジェクト指向
  - 対象となる世界における物理的・観念的なモノを、「属性」と「振る舞い」の観点から「オブジェクト」に写し取り、それを単位に世界モデルを作成していくという手法
- UML (統一モデリング言語)
  - Unified Modeling Language

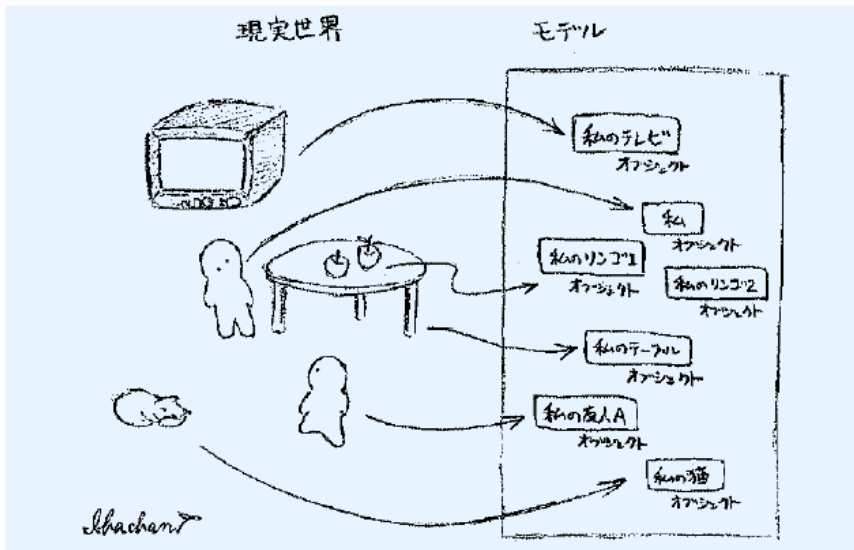


## オブジェクト指向とは

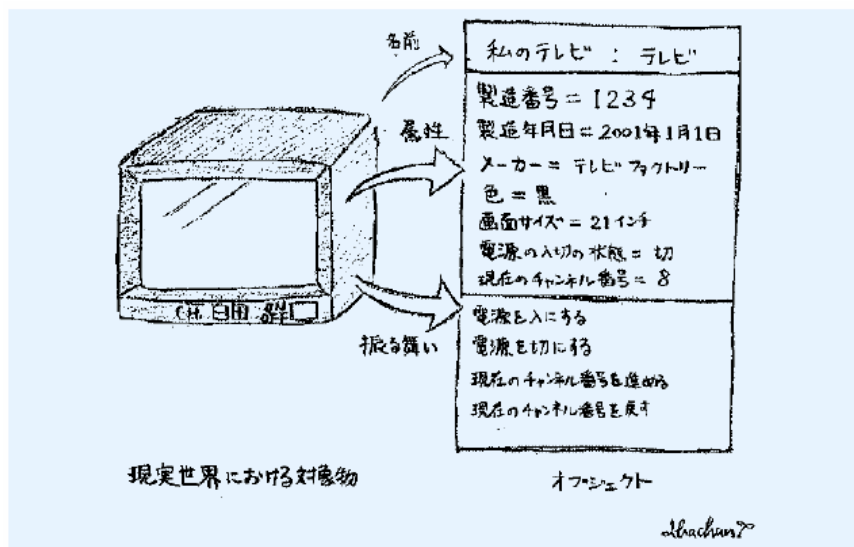
- 世界の構成要素を「オブジェクト」という基本単位で捉える。
- その状態や関係の変化によって現象を表現する。



## 現実世界の構成要素をオブジェクトとして写し取る

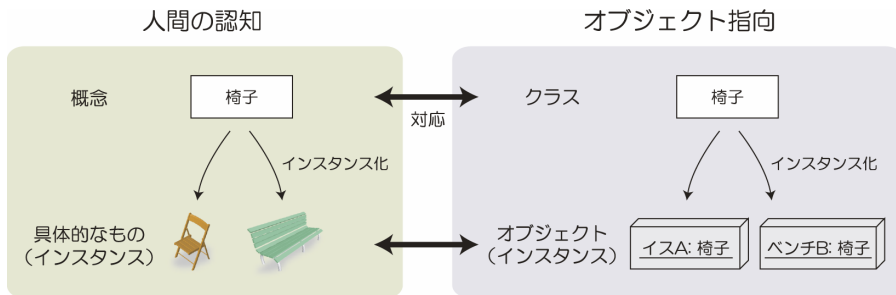


## 「私のテレビ」をオブジェクトとして表現すると・・・



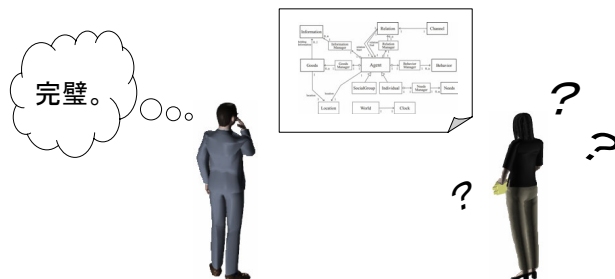
## オブジェクト指向:クラスの利点

- クラスを用いることによって、共通項を一括して表現できるようになるため、オブジェクトの体系的な整理が可能となる上、効率的な記述が可能となる。



## 円滑なコミュニケーションを促進するモデル

- 作成されたモデルは、円滑なコミュニケーションを促進する。
- それが可能なのは、作成されたモデルが、他者が理解できるように書かれている場合に限る。

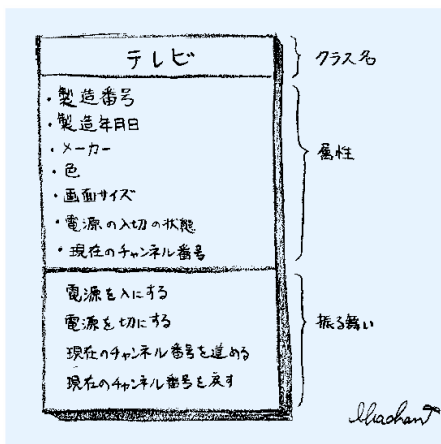


## 第7回 オブジェクト指向プログラミング

- オブジェクト指向によってモデル化したモデルを、プログラミングで実現することの面白さを紹介
- プログラミングを「動く世界をつくるための方法」という視点でみていく
- プログラミングは「自分で世界を作る」こと
  - リーナス・トーバルズ
  - 「外から見るかぎりには、この世で一番退屈なものと映る」けれども、「プログラミングをやっている者にとって、それはこの世で一番面白いことだ」。
  - 「自分が作った世界を経験させてくれ、どんなことができるのか教えてくれる」

## オブジェクト指向プログラミング

- Java言語で表現すると・・・

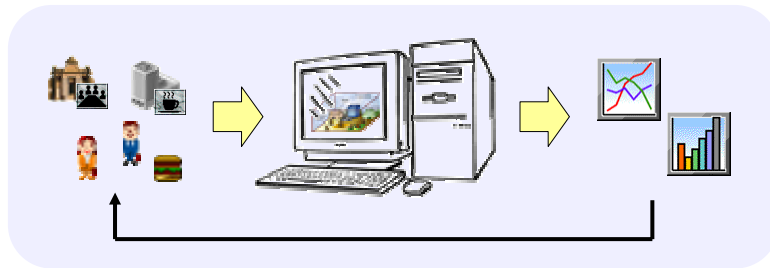


A screenshot of a Java IDE window titled "JBuilder 4 - D:/objectworld/src/objectworld/テレビ.java". The code defines a public class named "テレビ" (TV). The code is as follows:

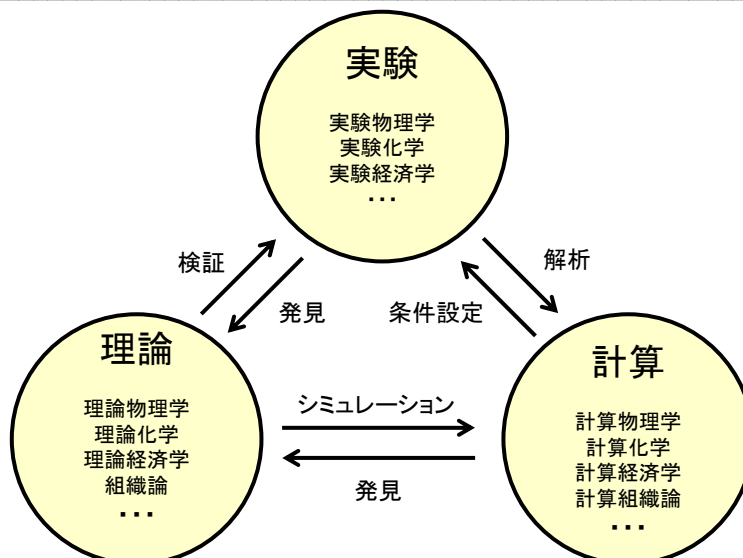
```
public class テレビ {  
  
    // 『テレビ』クラスの属性  
  
    int 製造番号;  
    String 製造年月日;  
    String メーカー;  
    String 色;  
    int 画面サイズ;  
    boolean 電源の入切の状態;  
    int 現在のチャンネル番号;  
  
    // 『テレビ』クラスの振る舞い  
  
    void 電源を入にする() {  
        電源の入切の状態 = true;  
        System.out.println("テレビがつきました");  
        System.out.println("いま、 "+現在のの=
```

## 第8回 シミュレーションとは

- シミュレーションとは、用意したモデルと初期条件からそのモデルを時間的に展開させることであり、それを通じてモデルの特徴についての経験的な知見を得ることができる。



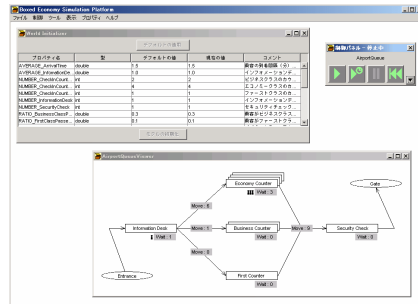
## 計算科学 (Computational Science)



## 第9回 シミュレーションによる分析

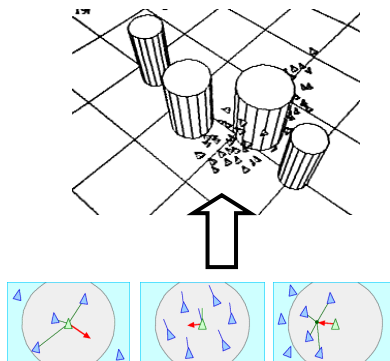
- 古典的なシミュレーションモデルである待ち行列モデルについて紹介します。また、実際に、空港の待ち行列シミュレーションを実行し、シミュレーションによる分析を体験します。

- 空港の待ち行列モデル
  - ボトルネックの発見とその改善策の効果分析



## 第10回 自律分散協調システムと自己組織化のシミュレーション

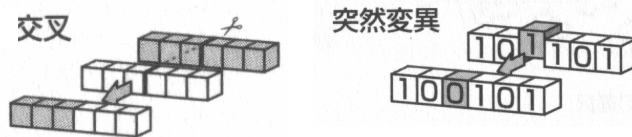
- 多くの要素が並行して動く「自律分散協調システム」
- システム自らが、自らの秩序を形成する「自己組織化」





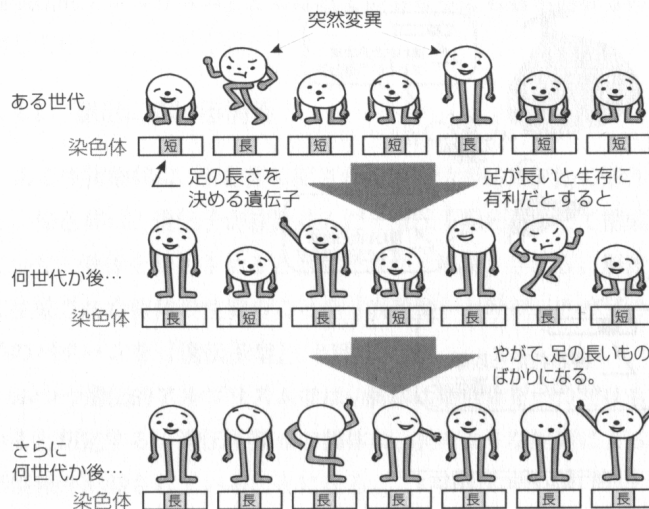
## 第11回 遺伝的アルゴリズムによる 進化のシミュレーション

- 進化の仕組みを簡単にモデル化した「遺伝的アルゴリズム」を紹介
- 遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm)
  - 生物の遺伝のメカニズムを模倣した計算手法
  - 工学分野では最適化手法として用いられている
  - 選択(淘汰)、交叉、突然変異



(図版) 井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』, NTT出版, 1998

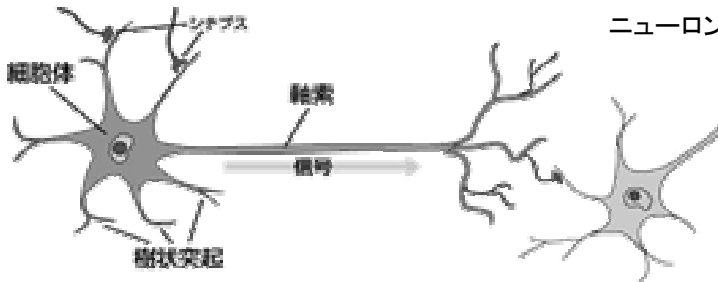
## 生物の進化のプロセス



(図版) 井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』, NTT出版, 1998

## 第12回 ニューラルネットワークによる 学習のシミュレーション

- 脳の仕組みを簡単にモデル化した「人工ニューラルネットワーク」を紹介します。学習のメカニズムについて理解します。

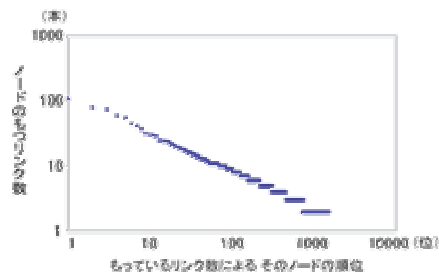
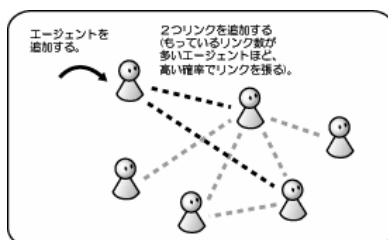


人間の脳には  
約140億個の  
ニューロン

(図版) 井庭崇, 福原義久, 『複雑系入門』, NTT出版, 1998

## 第13回 成長するネットワークのシミュレーション

- 最近話題になっている「成長するネットワーク」を紹介します。このモデルは、現実世界に存在するネットワーク(例えば社会ネットワークやインターネットなど)のほとんどが「成長する」という特徴をもっていることに着目し、モデル化したものです。



## 授業スケジュール

- 第1回(10/1) イントロダクション
- 第2回(10/8) モデリングとは
- 第3回(10/15) 数理モデリング
- 第4回(10/22) 非線形とカオス
- 第5回(10/29) オートマトン(状態機械)
- 第6回(11/5) オブジェクト指向モデリング
- 第7回(11/12) オブジェクト指向プログラミング  
(三田祭休み)
- 第8回(11/26) シミュレーションとは
- 第9回(12/3) シミュレーションによる分析
- 第10回(12/10) 自律分散協調システムと自己組織化のシミュレーション
- 第11回(12/17) 遺伝的アルゴリズムによる進化のシミュレーション  
(冬休み)
- 第12回(1/7) ニューラルネットワークによる学習のシミュレーション
- 第13回(1/14) 成長するネットワークのシミュレーション

## 教科書

### 『複雑系入門: 知のフロンティアへの冒険』 (井庭崇, 福原義久, NTT出版, 1998)



#### 第I部 『複雑系』科学

- 第1章 『複雑系』とは何か?
- 第2章 『複雑系』科学の位置
- 第3章 『複雑系』科学の方法論

#### 第II部 複雑性の現象

- 第4章 フラクタル
- 第5章 自己組織的臨界状態
- 第6章 カオス
- 第7章 カオスの縁

#### 第III部 複雑適応系

- 第8章 複雑適応系
- 第9章 進化と遺伝的アルゴリズム
- 第10章 カウフマンネットワーク
- 第11章 ニューラルネットワーク

#### 第IV部 『複雑系』科学のフロンティア

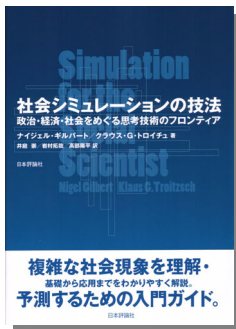
- 第12章 『複雑系』経済学
- 第13章 人工生命
- 第14章 カオス結合系
- 第15章 内部観測

#### 第V部 『複雑系』研究への道標

- 第16章 『複雑系』科学の鳥瞰図

## 参考文献の紹介

『社会シミュレーションの技法：政治・経済・社会をめぐる思考技術のフロンティア』（ナイジェル・ギルバート／クラウス・G・トロイツシュ、日本評論社、2003）



- 第1章 シミュレーションと社会科学
- 第2章 手法としてのシミュレーション
- 第3章 システムダイナミクスと世界モデル
- 第4章 ミクロシミュレーションモデル
- 第5章 待ち行列モデル
- 第6章 マルチレベルシミュレーションモデル
- 第7章 セル・オートマトンモデル
- 第8章 マルチエージェントモデル
- 第9章 学習と進化のモデル

Nigel Gilbert, Klaus G. Troitzsch, *Simulation for the Social Scientist*  
Open University Press, 1999

## この授業に関する連絡先

- 授業スタッフ(担当教員+TA・SA)への連絡
  - [model-staff@sfc.keio.ac.jp](mailto:model-staff@sfc.keio.ac.jp)
  
- 担当教員
  - 井庭 崇
- TA (Teaching Assistant)
  - 津屋隆之介
- SA (Student Assistant)
  - 赤松 正教
  - 江馬 裕子
  - 宇佐美 絢子
  
- 授業ホームページ
  - <http://web.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/2004/sfc-model/>

Keio University SFC 2004

# 『モデリング・シミュレーション入門』

第1回 インTRODクシヨN

いば たかし

**井庭 崇**

慶應義塾大学総合政策学部 専任講師

iba@sfc.keio.ac.jp

<http://www.sfc.keio.ac.jp/~iba/lecture/>