

『企業と市場のシミュレーション』

第3回:カオスとシミュレーション

シミュレーションによって
「分かる」ということを支援する

いば たかし

井庭 崇

慶應義塾大学総合政策学部

iba@sfc.keio.ac.jp

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



フィードバックコメント

「扱った情報の量が膨大すぎて、自分の中でうまく処理できず、結局講義中は何がなんだか分からないままに時間が過ぎてしまったかんがありました。たぶん、情報を整理する「棚」がまだ出来上がっていない(＝わけられない)から、授業の内容が“わからない”状況に陥っていると思います。」



フィードバックコメント

「今回の講義は抽象的な議論が多く、特に複雑系の所や、社会学の変遷のところは講義を受けても理解ができなかった。比較的に具体的な退出オプションと発言オプションのところは分かりやすかったのだが、この三つの解説に一本の軸が見えなかったために、何を説明するためにこの三つをあげていたのかが分からなかった。」

「分かる」ための「分け方」を変える。



- 「分かる」とは「分ける」こと
- 「分け方」は、いろいろ変わり得る。



- ① 社会・組織の変革の力(ExitとVoice)の「分け方」
- ② 社会科学における分野の「分け方」
- ③ 社会をシステムとして捉える「分け方」

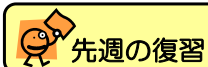
これらの3つの話において、「分け方」の変遷を紹介した。



フィードバックコメント

「あとから良く考えてみると、「分けることで分かること」のはずが、「簡単に分けられない複雑なもの」になっていた気がする。まず構成要素を分け、後にそれぞれの関係性を見て、総合的に捉えていく、というものの見方が重要なのだろうと感じた。」

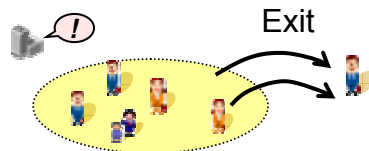
①社会や組織の変革の力



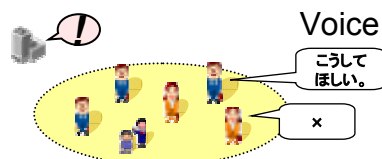
■ Albert O. Hirschman (1915—)

■ 社会や組織の変革の力として、次の二つの行動様式があるという「分け方」を提示した。

■ 「退出」(exit)オプション



■ 「発言」(voice)オプション



①社会や組織の変革の力



■ 初期の理論

■ ExitとVoiceは、シーソー関係

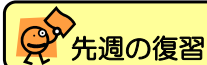
- Exitが増えれば、Voiceは減る。
- Voiceが増えれば、Exitは減る。

■ 修正された理論

■ ExitとVoiceは、増幅しあうことがある。

- 東ドイツの例
- Exitが増えたことで、Voiceも増えた。
- メディアによる焦点化の影響も。

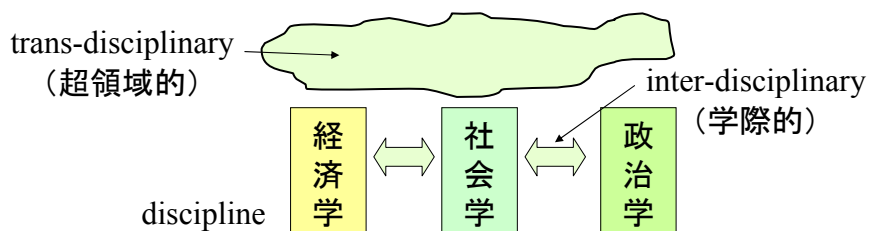
②社会科学



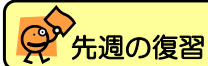
■ 19世紀: 知識の学問分野(ディシプリン)への細分化と専門職業化

- 経済学、政治学、社会学など。

■ 20世紀: 専門深化と、その反動としてのインターディシプリン、トランスディシプリン



③システム



■ システム論以前

- 社会有機体論、社会機械論

具体物をメタファーとした。

■ 第一世代システム論

- パーソンの社会システム論
- 一般システム理論
- サイバネティクス

・秩序がいかに維持されるかに注目。
・システムの外部(環境)との関係に注目。

■ 第二世代システム論

- 散逸構造
- シナジェティクス

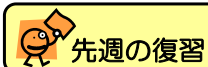
・秩序がいかに形成されるかに注目。

■ 第三世代システム論

- オートポイエーシス
- 複雑系

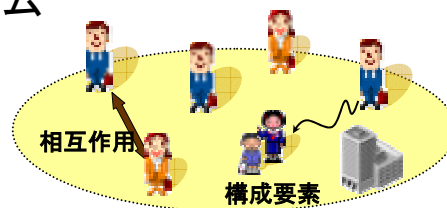
・秩序が形成される仕組みが、どのように再生産されるのかに注目。

複雑系 (Complex System)



■ 自己革新するシステム

- 生命、知能、社会



(広義の定義)

- 内部状態をもつ構成要素が相互作用するシステム

(狭義の定義)

- 構成要素の振舞いのルールが動的に変化するシステム



フィードバックコメント

ExitとVoice について

「今日出てきた話題を、自分の興味分野や身近な話に当てはめて考えてみる

例2) 恋人関係

発言→発言→発言→退出

不満があればたいてい本人に言うが、それでも話して解決できない問題であれば最後には退出となる。

例3) 熟年離婚の夫婦の場合

夫: 発言→発言→発言

妻: (発言なし)→退出

若いときにはあまり文句も言わないが、熟年になり子供も大きくなると、妻にいきなり離婚を言い渡されるという熟年離婚もある。」



フィードバックコメント

ExitとVoice について

「Hirschmanのexitとvoiceの理論が興味深かったので、言語に関してこの理論を当てはめて考えたいと思う。・・・」

「VoiceとExitについて考えたとき、生体内シミュレーションについても同じようなことが言えるのではないかと思った。つまり、・・・」



フィードバックコメント

ExitとVoice について

「退出で意思表示を行う事が成立するのは、比較的人数の多い、一人一人が一人一人に顔を知らないようなコミュニティの中でのみ、大きな影響を及ぼすのではないだろうか。小さなコミュニティで退出という意思表示を行った場合、退出された方は自らの欠陥を見つけるというよりも、退出した側に欠陥があったのだという認識に陥るのではないだろうか。逆に大きなコミュニティにおいて発言で意思表示をする。これも聞き入れられる可能性は極めて少ないように思われる。

コミュニティの大きさ、性質によって、それぞれ適切な意思表示の仕方が存在するのだと思った。」



フィードバックコメント

ExitとVoice について

「最近、消費者のニーズを知るために直接意見を聞くだけでなく、誰がいつどこで何をどのように購入したのか、HPならどのページを何秒見て、その次にどこを見たのか、といった細かい情報を集めている企業が増えてきた。この行動履歴についての分類は少々考えさせられた。発言というには主体性がない。消費者自身が自分の行動を主張しようとしているわけではないからだ。どちらかというと発言をしない消費者から企業が無理やり情報を引き出しているといった感じである。どのように分類すべきか悩んだが、やはりこれも発言の一種であると考えた。正確には「無意識レベルの発言」である。買うだけ、あるいはHPを見るだけですでに発言させられている時代なのである。たとえすぐに退出したとしても、なぜ退出したのかを履歴からある程度知ることができる。」



フィードバックコメント

ExitとVoice について

「いくら「voice」に力を入れたとしても、新しい方向性に影響することにはつながらないこともあると思います。そのような場合は、「exit」するしか方法は残されていないのでしょうか。」



フィードバックコメント

ExitとVoice について

「変革において必要な要素は「行動」することだと思ひ、資料を見る限りで「発言」＝「行動」とは理解できない。資料の中で、「発言によって、経営者や政党は、自らの欠陥を直接に知る。」とあり、あくまでも変革をするのは、その当事者である経営者であり政党なので、顧客や国民の行動を発言と限定する辺りになんか違和感を感じた。

つまらない、指摘でごめんなさい。次はちゃんと書きます。」



フィードバックコメント

社会科学の 超領域化 について

「総合政策学部設立理念はトランスディシプリンであり、様々なディシプリンを総合して社会科学を分析するという超学際的な点にあるのだが、現在の総合政策学部を見てみると、当初の設立理念からかけ離れている感は否めない。・・・現状をみてみると、幅広い分野をカバーしているが、専門性がなく社会的において上手く機能しない人材が多いと言われ、評価・人気ともに近年下降し続けている。それは、G.ミューダールが述べているように、トランスディシプリンは各ディシプリンの専門性を失わずに実行されねばならないのに対し、専門的水準を維持できないまま我々は幅広い分野をカバーしようとしているため、このような結果が招かれているのだと考えられる。

この現状を多くの学生が認識していながら、バージョン2に移行しても、実質的な変化は生まれていない。その一つの原因としては我々自身のEXIT、VOICEが共に少ないことにあるであろう。

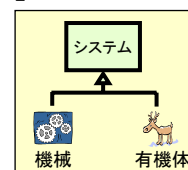
・・・現在、このSFCの状況を我々学生たちが再認識をし、そして個々のレベルからでも積極的なVOICEを続けることで、認識を大きな改革へとつなげていかねばならない・・・」



フィードバックコメント

「システムの構成について教えてもらいましたが、それが丸々コンピューターのプログラムの構成に置き換えても考えられるような印象を持ちました。例えば上のシステムと機械、有機体の関係は親クラス、派生クラスと置き換えて考えられるし、そもそもシステムの階層構造はそのままプログラムを作る際のモジュールの階層構造と置き換えられますし、またインプット→アウトプットといったキーワードもプログラムの考え方と似ています。まるでコンピューターで表現できるようにするために都合よくシステムを定義したような感じがしました。

ただし決定的に違うのが、「内部状態」はコンピューターでは表しにくい、ということなのではないでしょうか。そうすると内部状態を持つ組織のモデル化というのは途方もなく難しいことに思えてくるのですが、その方法も今後勉強していくのでしょうか。」





フィードバックコメント

システム
について

「正直授業の内容は、自分の中でなかなかイメージが湧かず、ピンときませんでした。そんな中、先日サッカーの日本代表がヨーロッパ遠征と題して、チュニジアと対戦しているのをテレビで見たときの事です。解説者の声と共に画面に映し出される日本代表のフォーメーションを見て、ピンと来るものがありました。サッカーの試合を考えれば、今回の授業の内容はほぼ全て理解できたのです。

例えば、よくテレビで見るサッカーのフォーメーションと言うのは、試合を見る側がある程度、単純化・モデル化して作ったもので、実際はお互いの選手が影響しあって、めまぐるしくその形を変えていくまさに組織化された複雑系だと感じた・・・

・・・チームという大きなシステム(マクロ)と、その中で動く選手という小さなシステム(ミクロ)が、各階層の中だけではなく、互いに強く影響しあっているのだとも感じた。」



フィードバックコメント

システム
について

「今回の授業の後「複雑系入門」を購入させていただきました。それと、授業を合わせて、漠然としていた複雑という言葉がだいぶ具体的に、分かるようになってきたような気がします。・・・」

「興味があったので、ルーマンのシステム論を読んでみました。解説を読んでも詳しく理解できていないのですが、わかった範囲で書くと・・・」

ルーマンの社会理論の定番と言われている本
『ルーマン 社会システム理論—「知」の扉をひらく』
ゲオルク クニール, アルミン ナセヒ, 新泉社, 1995

企業と市場のシミュレーション(第3回)

1 カオス

2 シミュレーション

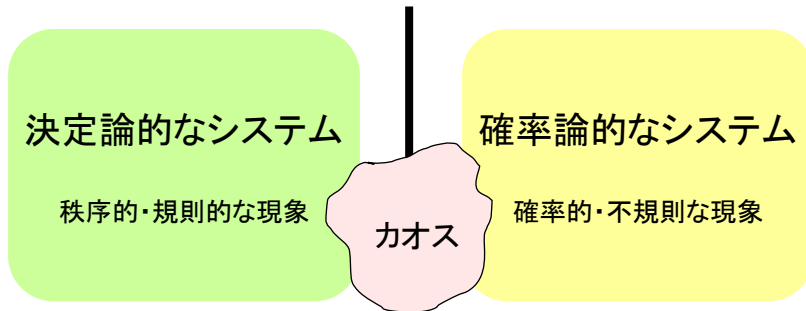
企業と市場のシミュレーション(第3回)

1 カオス

2 シミュレーション

「ながらく信じられてきた現象の「分け方」

- 決定論的なシステムには、秩序的・規則的な現象が現れる。
- 確率論的なシステムには、確率的・不規則な現象が現れる。



「カオス」(chaos)

- 規則に従って発生したにもかかわらず、不規則に見える振舞いを示す現象のこと。

簡単な例 メイの生態モデル

親世代と子世代の個体数の関係

■ 数理生態学者 ロバート・メイ

■ 生物の親の世代と子供の世代の個体数の
関係

親世代と子世代の個体数の関係

■現在の個体数と次世代の個体数との関係

$$X_{n+1} = a X_n (1 - X_n)$$

次世代の個体数 定数 現在の個体数 現在の個体数

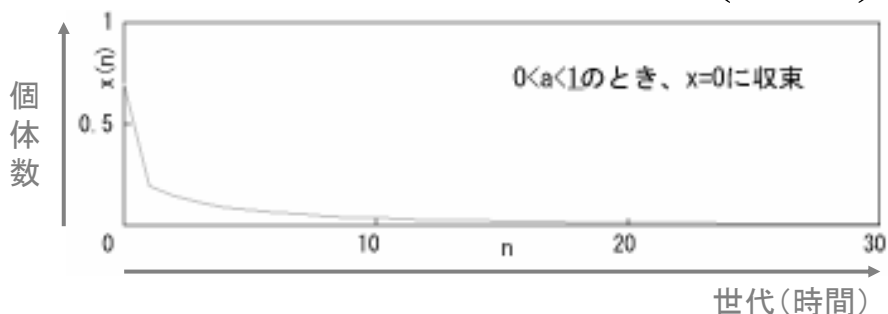
↑ ↑ ↑

増減のバランス 個体数が多いほど次世代を増やす 個体数が多いほど次世代を減らす

メイの生態モデルの振る舞い

- 増減バランスを決める定数 a の値が $0 < a < 1$ のとき
- 絶滅してしまう。

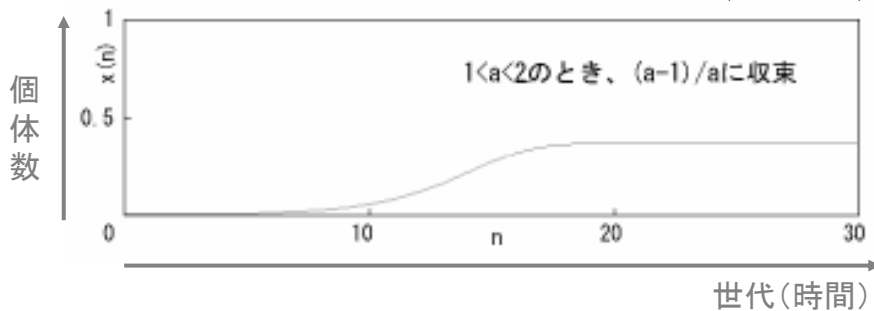
$$X_{n+1} = a X_n (1 - X_n)$$



メイの生態モデルの振る舞い

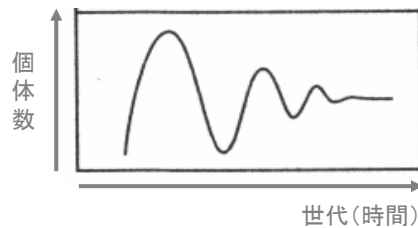
- 増減バランスを決める定数 a の値が
 $1 < a < 2$ のとき
- ある個体数に落ちつく

$$X_{n+1} = a X_n (1 - X_n)$$

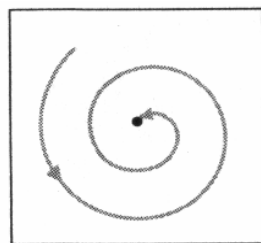


複数の個体数を振動するというのは

時系列でみると...



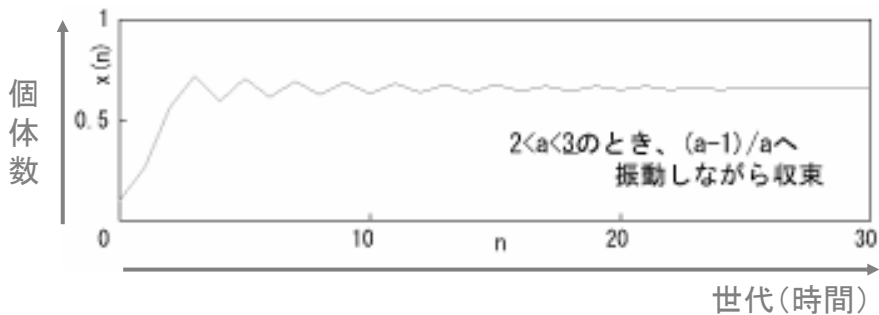
イメージでいうと...



メイの生態モデルの振る舞い

- 増減バランスを決める定数 a の値が $2 < a < 3$ のとき
- 振動したのちに、ある個体数に落ちつく。

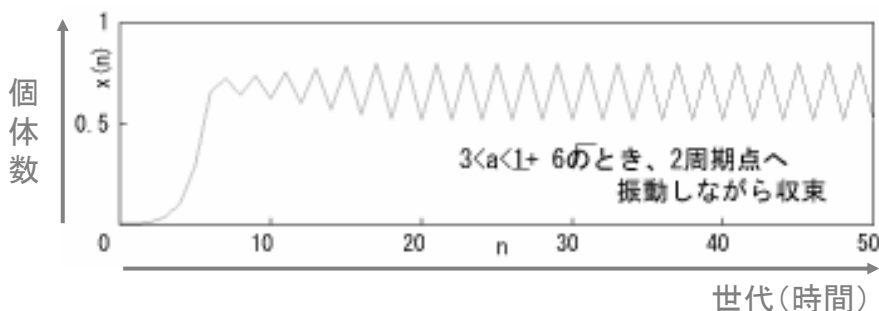
$$x_{n+1} = a x_n (1 - x_n)$$



メイの生態モデルの振る舞い

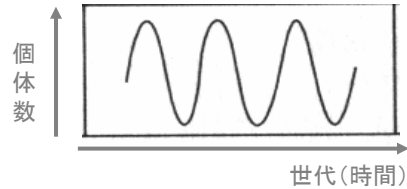
- 増減バランスを決める定数 a の値が $3 < a < 1 + \sqrt{6}$ のとき
- 二種類の個体数を交互に繰り返す(振動)。

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

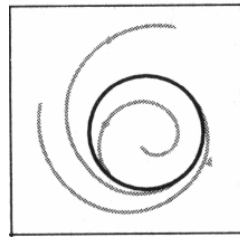


ある個体数に落ちつくということは

時系列でみると・・・



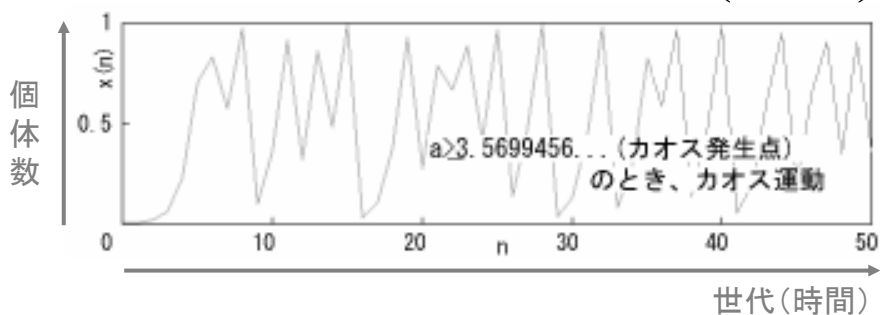
イメージでいうと・・・



メイの生態モデルの振る舞い

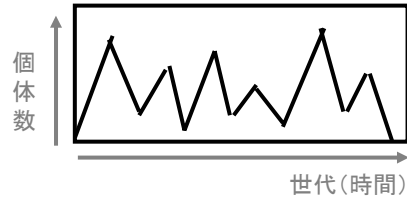
- 増減バランスを決める定数 a の値が $a > 3.5699456$ のとき
- 個体数の変化が不規則になる。

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

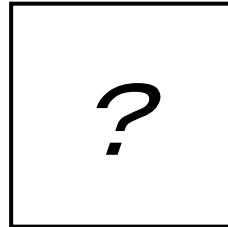


個体数が不規則に変化することは・・・!?

時系列でみると・・・



イメージでいうと・・・



メイの生態モデルが与えた衝撃

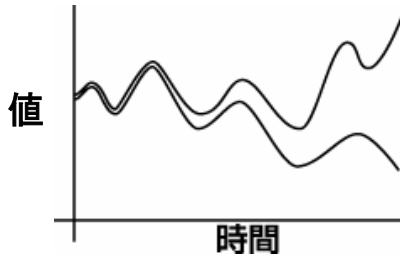
- モデルの数学的な意味での単純さと、結果が示す複雑さの間の驚くべきコントラスト
- 「単純な法則から生じる単純な現象」という信念に動揺を与えた。

カオス (chaos)

規則に従って発生したにもかかわらず、不規則に見える振る舞いを示す現象。

カオスを生成するシステムの特徴

- カオスを生成するシステムでは、初期値に対する鋭敏性がある。
→「バタフライ効果」と呼ばれる

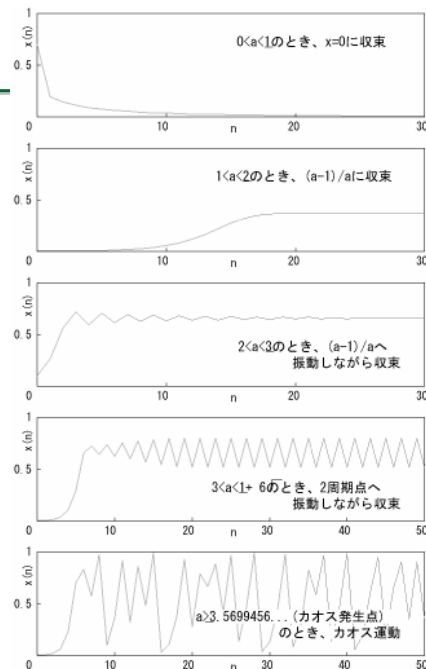


分岐現象

- パラメータの値の変化に対して、安定周期解が現れたかと思うと、カオスが現れる
- システムの外的要因を定めているパラメータの値が変動すると、システムはまったく異なった性格を示す。

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

コントロール・パラメータ



カオスの構造

ローレンツモデル

システムの内部状態と内部変数

- システムの内部状態は、内部変数といわれるいくつかの数値の組によって表される。
- 内部状態の変化はその内部変数の変化として表される。
- システムがもつ変動のメカニズムは、内部変数の変化を表す式(差分方程式や微分方程式)で表される。

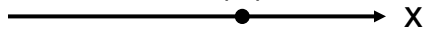
相空間(Phase Space)

■ 内部変数の組をある空間上の点として表す。

1変数の場合

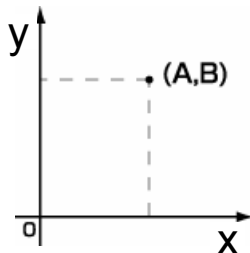
$x=A$

(A)



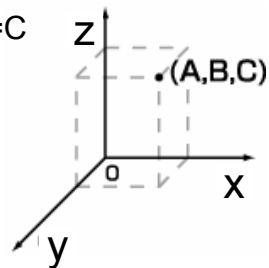
2変数の場合

$x=A, y=B$



3変数の場合

$x=A, y=B, z=C$



ローレンツモデル

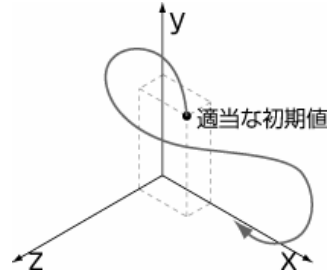
■ 気象学者ローレンツ

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -10x + 10y \\ \frac{dy}{dt} &= 28x - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \frac{8}{3}z\end{aligned}$$

ローレンツモデルの振る舞いを相空間で見る

- ローレンツ方程式は3変数。
- システムの状態の時間的変化は、3次元の相空間での流れとして表現される。

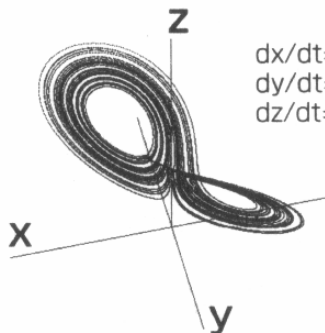
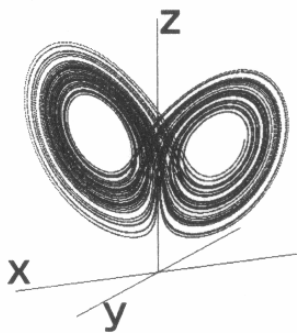
$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= -10x + 10y \\ \frac{dy}{dt} &= 28x - y - xz \\ \frac{dz}{dt} &= xy - \frac{8}{3}z\end{aligned}$$



ローレンツアトラクター

ローレンツアトラクター(初期値の鋭敏性)

ローレンツアトラクター



$$\begin{aligned}dx/dt &= -10x + 10y \\ dy/dt &= 28x - y - xz \\ dz/dt &= xy - 8/3z\end{aligned}$$



指数関数的な誤差拡大の例

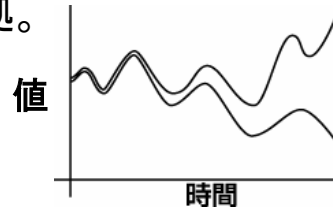
- 指数関数的な増大がいかに大きな結果をもたらすか
- 1時間で差が2倍になる場合では、3日経過するとその差は初めの差の約 10^{21} 倍という膨大な差に成長する。この増大率は、原子の大きさほどしか離れていなかったものが、太陽から地球までの距離の約3倍に拡大することを意味している。

複雑系の事典編集委員会編、『複雑系の事典：適応複雑系のキーワード150』、朝倉書店、2001

カオス理論が
もたらすインパクト

「カオス」(chaos)

- 規則に従って発生したにもかかわらず、不規則にみえる振舞いを示す現象のこと。
- カオスでは、最初の状態のわずかな差違が後の巨大な状態の差違を引き起こす(バタフライ効果)。
- それが予測不可能性の根拠。



科学へのインパクト①

- 従来、不確定性の理由と思われたのは、
 - 量子レベルの原理的に内在するもの
 - きわめて多数の要素が複雑に絡む場合
- カオスは、少数の要素からなるシステムでも、普遍的に現れることを明らかにした

科学へのインパクト②

- カオスは、不規則性に加えて、内在的な秩序構造をもっている。
- 一見でたらめに見えるものにも、ある種の構造を把握できる可能性がある。

予測に対してのインパクト①

- 厳密に定義された数学的なモデルが存在する場合にさえ、私たちの予測力は根本的に制約され得る。

生徒たちよ、申し訳ない。われわれはカオス理論を学んだ結果、きみたちを助けることができないという結論に達した

キース・ヴァン・デル・ハイデン、『シナリオ・プランニング：戦略的思考と意思決定』、ダイヤモンド社、1998

天気予報は1週間先はわからないから、1週間先の計画は立たないかという、そんなことはない。

予測に対してのインパクト②

- システムがランダムに振る舞っているようにみえても、短期における予測をより正確にする手段となるかもしれない。

企業と市場のシミュレーション(第3回)

1 カオス

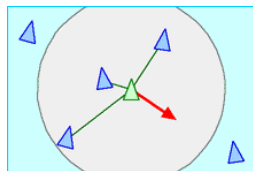
2 シミュレーション

まず最初に。

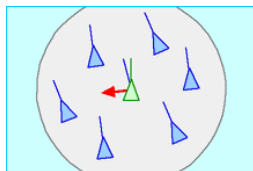
■ 鳥の群れムービー

■ Boid 3D (by Craig Reynolds)

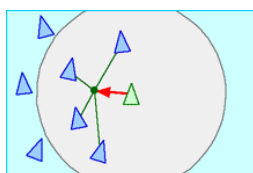
鳥の群れシミュレーションのメカニズム



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

Boid 障害物 (by Craig Reynolds)

ヴァーチャル (Virtual)

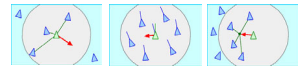
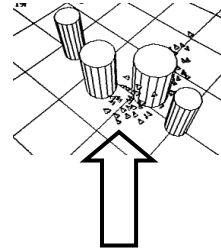
- Virtual = 「事実上の」
- 語源は、ラテン語「virtus」(力, エネルギー)
 - あるものをそうたらしめる潜在能力という意味



現象



内部メカニズム



シミュレーションによる 内部メカニズムからの現象の生成(1)

- 2物体の衝突
- 波のシミュレーション

第3回フィードバックコメント

(10月15日)

水

木

金

(10月18日)

土

日

月

火

水



講義



授業ページ

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

フィードバックコメント



電子メールで提出



【今回のテーマ】
・今日出てきた話題
についての再考・感想など。



次回に
補足等



授業ホームページ
で全員分公開



今回から、
名前等とコメント
が公開されます。

※分量は自由

第3回フィードバックコメントの送り方

■ アドレス(宛先)

ハイフン

simu-staff@sfc.keio.ac.jp

担当教員および
SA/TA宛て。

■ サブジェクト(題名)と 本文1行目

0123456,山田花子,FC03

カンマ
(半角)

学籍番号
(半角)

姓名
(全角漢字)

FC
(半角)

何回目の授業か
(半角)

今回は第3回の
授業なので、03

■ 締切

■ 10月18日(土) 23時30分

※CNSのアドレス以外からの提出でもよい。ただし携帯メールは不可。

今日のテーマに関係するおすすめの本・文献

■ カオス

- 『数学は世界を解明できるか:カオスと予定調和』(丹羽敏雄, 中央新書, 1999)
- 『カオス—新しい科学をつくる』(ジェイムズ・グリック, 新潮文庫, 1991)
- 『カオス・インパクト—カオスは自然科学と社会科学に何をもたらしたか』(Celso Grebogi, James A. Yorke (編), 森北出版, 1999)
- 『カオスとフラクタル—Excelで体験』(臼田 昭司, 井上 祥史, 葭谷 安正, 東野 勝治, 伊藤 敏, オーム社, 1999)

■ シミュレーション

- 『人工生命—デジタル生物の創造者たち』(スティーブン・レビー, 朝日新聞社, 1996)
- 『シミュレーションの思想』(広瀬 通孝, 東京大学出版会, 2002)