

# 複雑現象の学習を支援する道具 ——コンピュータ・シミュレーションを用いた体験と内省

井 庭 崇<sup>†1</sup>

本論文では、直感に反する振舞いをみせる複雑現象の学習において、従来の「説明を聞いて理解する」という受動的な方法に対し、自らがシミュレーションを「動かして理解する」という能動的な方法を提唱する。そして、体験的認知と内省的認知の両方を支援する「学びの道具」として、シミュレーションプラットフォームとシミュレーションモデルを提案する。本論文で提案する方法と道具の有効性を示すために、大学の授業に導入した事例を取り上げ、履修者のフィードバック・コメントの分析を行う。

## A Tool for Learning Complex Phenomena: Experiential and Reflective Learning with Computer Simulations

TAKASHI IBA<sup>†1</sup>

In this paper, we propose a new learning method of complex phenomena, which it is difficult to understand intuitively because of their complex consequence. In our method, the students learn the complex phenomena not only by listening teacher's lecture, but also by simulating the models with his/her computer. For the purpose, we also propose the simulation platform and simulation models as a tool for learning the complex phenomena with both of experiential cognition and reflective cognition. Then, we report our practice with using the proposed tool in the university, and analyze their feedback comments in order to show the effectiveness.

### 1. はじめに

近年、多くの大学・大学院において複雑現象に関する授業が行われ、テキストもいくつか出版されている<sup>1)</sup>。しかし、複雑現象では直感に反する振舞いをすることが多いため、単に現象や理論を知るだけでは、深い理解につながらないという問題がある。そこで本論文では、従来の「説明を聞いて理解する」という受動的な学習方法に対して、自らがシミュレーションを「動かして理解する」という能動的な学習方法を提唱する。そして、そのための「学びの道具」として、シミュレーションプラットフォームおよびシミュレーションモデルを提案する<sup>2)</sup>。本論文で提案した方法と道具の有効性を明らかにするために、大学の授業においてアクション・リサーチを行い、履修者のフィードバック・コメントを分析する。

### 2. 学習における体験と内省

学習を支援する道具をデザインする際には、より効果的な学習を促すために、人間の認知の特性を考慮する必要がある。かつて、D. A. ノーマンは人間の認知活動を考えるためには「体験的認知」(experiential cognition)と「内省的認知」(reflective cognition)の2つの認知モードについて考える必要があると指摘した<sup>3)</sup>。

体験的認知とは、外界の変化に対して意識的ではなく反動的に対処することであり、面白さなどの感情が生み出されるモードである。このモードには、「見る人をつかまえて離さず、人を楽しい気持ちに引き込み、時の経つのを忘れさせ、努力もいらぬ<sup>3)</sup>」という特徴がある。これに対し、内省的認知とは、ものごとの意味を吟味したり、体験を振り返ったりすることで、深い理解につながるモードである。このモードには、「人は新たな解釈を見つけたり別の案がないか吟味したりして、その体験の意味を深く考え、さらにはそれ以上の理解を求める<sup>3)</sup>」という特徴がある。学習を行うためには内省が不可欠であるが、問題は「内省する

<sup>†1</sup> 慶應義塾大学総合政策学部  
Faculty of Policy Management, Keio University

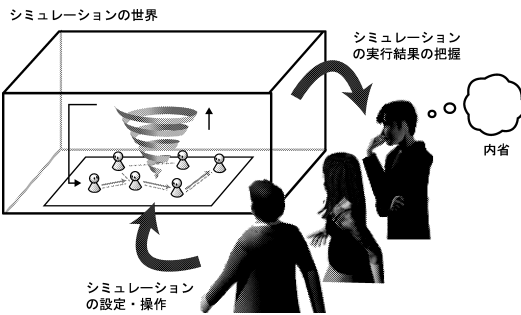


図1 シミュレーションによる学習のメカニズム

Fig.1 Learning mechanism with computer simulation.

のに必要な骨の折れる仕事を学生に進んでやらせること<sup>3)</sup>である。そこで、体験的なアプローチで学習を動機づけて、内省する対象に興味を持ってもらうことが重要となる。

以上をふまえて、本論文では、提案する学びの道具を「体験的認知を支援しているか」、および「内省を支援しているか」という2つの観点で評価することにしたい。

### 3. 複雑現象の学習を支援する道具の提案

複雑現象の学習を支援するために、自らがシミュレーションを「動かして理解する」ことができる「学びの道具」を提案することにしたい。学習者は、この道具を用いて複雑現象のシミュレーションを実行する。いろいろな初期設定のもとでシミュレーションを行うことで、その現象についての知見を深めることができる(図1)。

ここで提案する学びの道具は、シミュレーションプラットフォーム「PlatBox Simulator」と、その上で動作するシミュレーションモデルの組合せで実現される。PlatBox Simulatorは、マルチエージェント型(自律的な主体が相互作用するモデル)のシミュレーションを実行するための科学研究用プラットフォームである<sup>4),5)</sup>。これに、学習用のシミュレーションモデルを組み合わせることで、学習を支援する道具となる。以下では、まずシミュレーションプラットフォームの構造と特徴を述べ、その後、教育用のシミュレーションモデルの紹介を行う。

#### 3.1 シミュレーションプラットフォーム

PlatBox Simulatorの基本的なアーキテクチャは、プラットフォーム構造である(図2)。このプラットフォームに、目的に応じて必要なコンポーネントを組み込むと、そのシミュレーションが実行できるようになっている。組み込むことができるコンポーネントは、大きく分けて「モデルコンポーネント」と「プレゼン

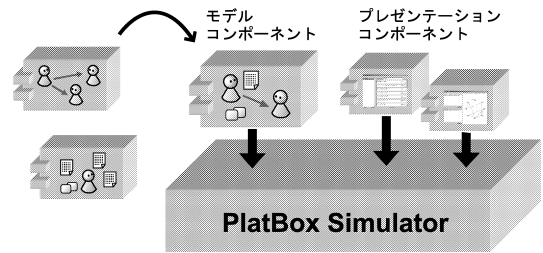


図2 PlatBox Simulatorのプラットフォーム構造

Fig.2 Platform architecture of PlatBox Simulator.

テーションコンポーネント」の2種類がある。前者は、シミュレーションモデルを部品化したものであり、後者は、シミュレーションの操作や表示、および記録を行うための部品である。

プレゼンテーションコンポーネントには、モデルに依存せずに利用できる汎用のものと、モデルに特化した専用のものがある。汎用のものには、たとえば、シミュレーションの初期値を設定するための「World Initializer」がある。このようなコンポーネントは、体験のためのインタフェースとなるとともに、内省のための構成可能性や比較可能性を提供する。専用のものには、待ち行列モデルの状況が視覚的に分かるビューアなどがある。このようなコンポーネントは、そのモデルの対象が持つ空間的・概念的な関係を可視化するので、体験的認知を支援することができる<sup>3)</sup>。

学びの道具がプラットフォーム構造になっている利点は、次の2点にある。第1に、複数のモデルで操作や表示機能などを統一できるので、徐々に操作を体得・蓄積していくことができるという利点である。第2に、必要に応じて拡張ができるので、授業内容やレベルに合わせて、新しく独自のモデルや機能を追加することが容易になるという利点である<sup>\*1)</sup>。

#### 3.2 シミュレーションモデル

提案プラットフォーム上で動作する学習支援モデルとして、「カオス生成モデル」、「待ち行列モデル」、「鳥の群れモデル」、「セルオートマトンモデル」、「協調的問題解決モデル」、「成長するネットワークモデル」、「ニューラルネットワークによる学習モデル」、「遺伝的アルゴリズムによる進化モデル」、「カオス結合系モデル」を提案する。次節では、各モデルの詳細について紹介することにしたい。

\*1 筆者らは、PlatBox Simulator上で動くシミュレーションモデルを作成するための支援ツール「Component Builder」を提供している<sup>6)</sup>。この支援ツールを用いることで、モデリング言語によってデザインするだけで、実行可能なシミュレーションモデルを開発することができる。

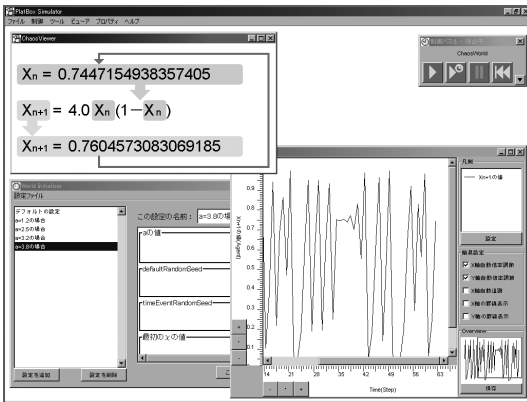


図 3 カオス生成モデルのシミュレーション実行画面  
Fig. 3 Screenshot of chaos-generation model.

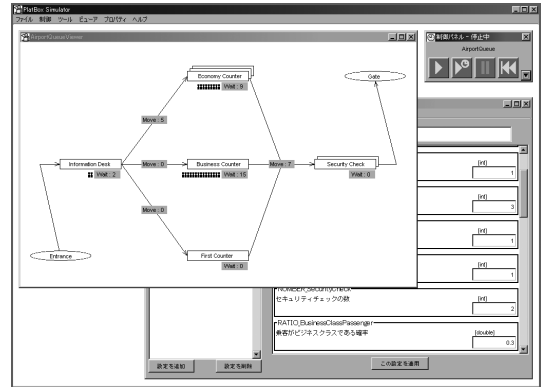


図 4 待ち行列モデルのシミュレーション実行画面  
Fig. 4 Screenshot of queuing model.

## 4. 各シミュレーションモデルの概要

### 4.1 カオス生成モデル

カオス生成モデルは、生態系の簡単なモデルになっているロジスティック関数を用いて、カオスの生成を学習するためのシミュレーションモデルである<sup>\*1</sup>。ロジスティック関数  $x_{n+1} = ax_n(1 - x_n)$  のコントロール・パラメータ  $a$  の値によって、固定点、周期、カオスというように振舞いが変化することを体験できる。また、変数  $x_n$  の初期値のわずかな差異から、それらの振舞いに大きな違いが生まれてくるという「初期値の鋭敏性」も体験できる。カオス現象は、「単純な式」にもかかわらず「複雑な振舞いをする」という点で直感に反する現象である。また、初期値の鋭敏性についても、「ごくわずかな差異」が「非常に大きな違い」を生み出すため、直感に反する現象となっている。

カオスモデルのシミュレーション実行画面は、図 3 のようになる。画面の左上に配置されているのが、ロジスティック関数の計算式と、変数  $x_n$  と  $x_{n+1}$  の値が表示されている専用ビューアである。画面の右に配置されているのが、変数  $x_n$  の値の推移を表すグラフ（汎用）である。また、画面の左に配置されているのが World Initializer で、ここでシミュレーションの初期設定を行うことができる。

### 4.2 待ち行列モデル

待ち行列モデルは、要素の流れと滞りのプロセスをモデル化したものであり、ボトルネックの発見と解消について学習するためのシミュレーションモデルである。ここで取り上げるのは、空港の待ち行列をモデル

化したものである<sup>\*2</sup>。乗客は、最初にインフォメーションデスクの待ち行列に並んだ後、自分が行くべきカウンタ（エコノミークラスカウンタ、ビジネスクラスカウンタ、ファーストクラスカウンタ）の待ち行列に並び、そして最後に、セキュリティチェックの待ち行列に並び、搭乗口に向かう。複数の待ち行列を含む場合、ボトルネックを解消するためには、個別の対策だけでなく、複数の対策を同時に行わなければならない点で、直感的に理解することは難しい。

待ち行列モデルのシミュレーション実行画面は、図 4 のようになる。画面の左上に配置されているのが、待ち行列の全体像を表示するための専用ビューアである。待ち行列の長さが数値で表示されるだけでなく、人が行列をつくって並ぶ様子がグラフィカルに表示されるようになっている。

### 4.3 鳥の群れモデル

鳥の群れモデルは、自律分散的な構成要素が局所的に相互作用するだけで、全体的な秩序が形成できることを学習するためのシミュレーションモデルである<sup>\*3</sup>。それぞれの鳥は、基本的には自分の進んできた方向へ進むのだが、(1) 視野内の仲間の中心地へ向かい、(2) 視野内の仲間の進む方向と同じ方向へ進み、(3) 危険範囲内の他の鳥と近づきすぎたら離れる、という 3 つのルールでその方向を調整する<sup>(8)</sup>。このルールに従う鳥が並列的に動くことによって、全体として群れが実現される。局所的な視野しか持たず、全体を統括するリーダーがない場合でも、全体の秩序を形成・維持できるという点は、直感的には理解が難しいといえる。

\*1 カオス生成モデルの概要については、『複雑系入門<sup>1)</sup>』の第 6 章「カオス」を参照。

\*2 空港の待ち行列モデルの概要については、『社会シミュレーションの技法<sup>7)</sup>』の第 5 章「待ち行列モデル」を参照。

\*3 鳥の群れモデルの概要については、『複雑系入門<sup>1)</sup>』の第 13 章「人工生命」を参照。

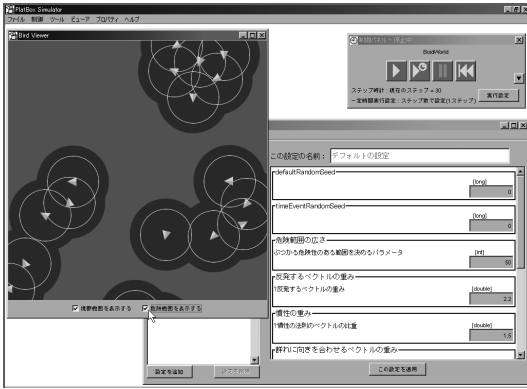


図 5 鳥の群れモデルのシミュレーション実行画面  
Fig.5 Screenshot of boid model.

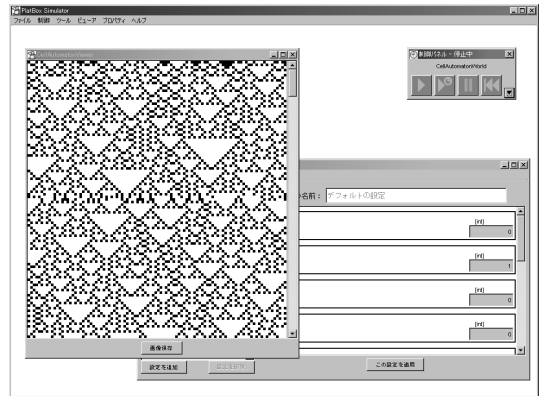


図 6 セルオートマトンモデルのシミュレーション実行画面  
Fig.6 Screenshot of cellular automata model.

鳥の群れモデルのシミュレーション実行画面は、図5のようになる。画面の左側に配置されているのが、飛行している鳥の空間的配置を表す専用ビューアである。鳥は三角形の形状をしており、向きが分かるようになっている。また、危険範囲の表示/非表示と、視野の表示/非表示の選択ができるようになっている。

4.4 セルオートマトンモデル

セルオートマトンモデルは、局所的な相互作用から複雑なパターンが生み出されるということを学習するためのシミュレーションモデルである\*1。ここで取り上げるのは、1次元セルオートマトンのシミュレーションである。セルオートマトンでは、局所的な相互作用から、固定・周期的とカオス的な振舞いをみせるほか、「クラスIV」の領域（カオスの縁）において複雑なパターンが生じるという点で、直感に反するといえる。

セルオートマトンモデルのシミュレーション実行画面は、図6のようになる。画面の中央に配置されているのが、各セルの状態を表示する専用ビューアである。

4.5 協調的問題解決モデル

協調的問題解決モデルは、自律分散的に配置された構成要素が相互作用することによってボトムアップに問題を解決できることを学習するためのシミュレーションモデルである\*2。ここで取り上げる問題は、「N×Nのチェス盤上にN個のクイーンを、互いに効きがあたらないように並べる」というN-クイーン問題である。この問題は、トップダウン的に解くのは難しいが、各チェスのマス目が協調して解くようにすると、比較的

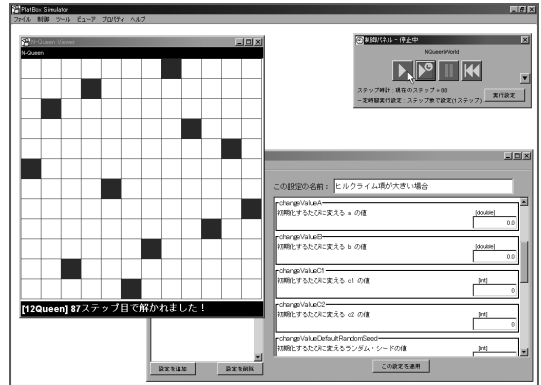


図 7 協調的問題解決モデルのシミュレーション実行画面  
Fig.7 Screenshot of cooperative problem solving model.

短時間に解を得ることができる<sup>9),10)</sup>。単純な法則で計算を行う構成要素が並列的に動くことによって、複雑な問題を解決できてしまうという点で、直感に反する内容となっている。

協調的問題解決モデルのシミュレーション実行画面は、図7のようになる。画面の左上に配置されているのが、盤の状況を表示するための専用ビューアである。発火しているマスは黒くなり、それ以外は白となる。各マスをクリックすると、その効き筋が分かるようになっている。

4.6 成長するネットワークモデル

成長するネットワークモデルは、現実世界で見られるようなスケールフリーネットワークの形成の仕組みについて学習するためのシミュレーションモデルである\*3。スケールフリーネットワークは、リンクに関し

\*1 セルオートマトンモデルの概要については、『複雑系入門<sup>1)</sup>』の第7章「カオスの縁」を参照。

\*2 協調的問題解決モデルの概要については、『ニューラルコンピューティング<sup>9)</sup>』および『応用事例ハンドブックニューラルコンピューティング<sup>10)</sup>』を参照。

\*3 成長するネットワークモデルの概要については、『新ネットワーク思考<sup>11)</sup>』を参照。

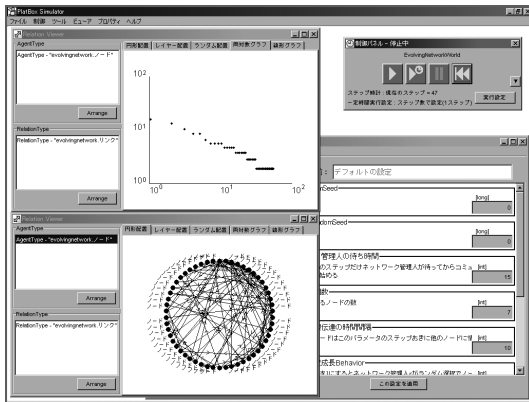


図 8 成長するネットワークモデルのシミュレーション実行画面  
Fig. 8 Screenshot of evolving network model.

てべき乗の結合分布を持つネットワークのことであり、優先的選択成長アルゴリズムによって形成できることが知られている<sup>11)</sup>。優先的選択成長アルゴリズムでは、新しいノードを追加する際に、多くのリンクを持っているノードが優先的に選択される。小さなネットワークから始めて徐々にノードを追加していくので、ネットワーク全体の特性としてべき乗分布が現れるということ、直感的に理解することは難しい。

成長するネットワークモデルのシミュレーション実行画面は、図 8 のようになる。画面の左下に配置されているのが、ネットワークの全体像を表示するための汎用ビューアである。左上のグラフは、このビューアの他の表示形式であるが、リンクの度数と頻度を線形グラフと両対数グラフで表示することができる。

4.7 ニューラルネットワークによる学習モデル

ニューラルネットワークによる学習モデルは、脳の神経回路網をモデル化した学習の仕組みについて学習するためのシミュレーションモデルである\*1。ここでは、入力層、中間層、出力層の 3 層からなる多層パーセプトロンを用いる。学習は、出力値と正しい答え(教師信号)の誤差を小さくするように、結合の重みを変化させていく「誤差逆伝播法」によって行う。入力と出力の組合せを、記号的な表現ではなく、ニューロン間の結合の重みで表現する点と、その結合重みの調整によって学習が可能であるという点が、直感的に理解しにくい内容となっている。

ニューラルネットワークによる学習モデルのシミュレーション実行画面は、図 9 のようになる。画面の右下に配置されているのが、ニューラルネットワークの

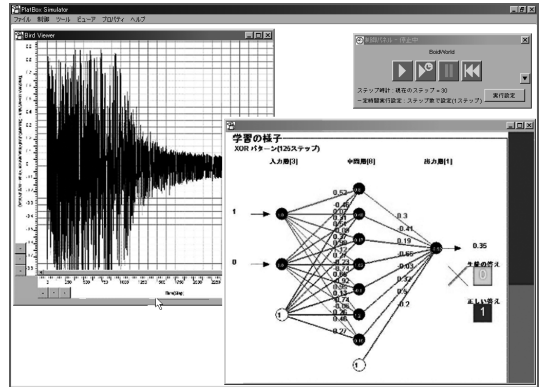


図 9 ニューラルネットワークによる学習モデルのシミュレーション実行画面

Fig. 9 Screenshot of neural network model.

状況を表示するための専用ビューアである。ニューラルネットワークの構造のほか、各結合の重みの値や、入力値、出力値、正誤の判定、誤差、正答率などが表示される。

4.8 遺伝的アルゴリズムによる進化モデル

遺伝的アルゴリズムによる進化モデルは、生物の遺伝のメカニズムを模倣した計算手法を用いて、進化の仕組みを学習するためのシミュレーションモデルである\*2。遺伝的アルゴリズムでは、遺伝的表現を決め、初期集団の生成を行った後、適応度の評価、親の選択、交叉、突然変異によって次世代の個体群を生成するということを繰り返していく<sup>12),13)</sup>。数値列や文字列を染色体のように扱い、それらを用いて探索的に適応度の高い解を得ることができるという点が、直感では理解が難しいといえる。

遺伝的アルゴリズムによる進化モデルのシミュレーション実行画面は、図 10 のようになる。画面の右側に配置されているのが、進化の結果を表示するための専用ビューアである。染色体上の遺伝子の内容や適応度のほか、どの染色体が交叉したのかも表示する。画面の左側に配置されているのが、重要な設定や凡例を表示するための専用ビューアである。

4.9 カオス結合系モデル

カオス結合系モデルは、カオスを生み出す構成要素をつなげたネットワークを用いて、高自由度系の振舞いを学習するためのシミュレーションモデルである\*3。ここで取り上げるのは、隣接する要素とのみ相互作用する CML (Coupled Map Lattice: 結合写像格子)

\*1 ニューラルネットワークによる学習モデルの概要については、『複雑系入門』<sup>1)</sup>の第 11 章「ニューラルネットワーク」を参照。

\*2 遺伝的アルゴリズムによる進化モデルの概要については、『複雑系入門』<sup>1)</sup>の第 9 章「進化と遺伝的アルゴリズム」を参照。

\*3 カオス結合系モデルの概要については、『複雑系入門』<sup>1)</sup>の第 14 章「カオス結合系」を参照。

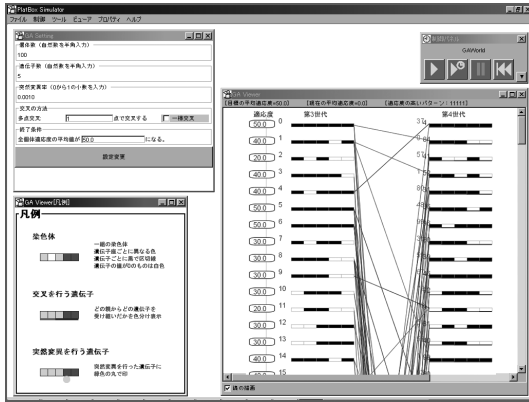


図 10 遺伝的アルゴリズムによる進化モデルのシミュレーション実行画面

Fig. 10 Screenshot of genetic algorithm model.

と、すべての要素と相互作用をする GCM (Globally Coupled Map: 大域結合マップ) である<sup>14)</sup>。カオス結合系では、ある程度秩序を持った状態と乱れた状態の間を行き来するという「カオスの遍歴」の振舞いが見られる。秩序の生成と崩壊が収束することなく繰り返されるといふ点で、直感に反するといえる。

カオス結合系モデルのシミュレーション実行画面は、図 11 のようになる。画面の中央に配置されているのが、各要素の変数  $x_n$  の値をプロットして表示する専用ビューアである。

### 5. 研究アプローチと実践事例

本論文で提案した方法と道具を用いて、複雑現象の学習についてのアクション・リサーチを行った。ここで取り上げるのは、筆者が担当する大学の授業での実践である。以下では、まず最初にアクション・リサーチのアプローチについて説明し、その後、今回取り上げる事例について紹介することにした。

#### 5.1 アクション・リサーチ

アクション・リサーチとは、「対象者の実践に積極的に関与し、対象者の変容過程を実践的に研究する」<sup>15)</sup> 研究方法である。「現状に対して何らかの批判的見解を持って変革をする」<sup>15)</sup> ことが前提であり、その変革方法についての仮説を、実践のなかで評価していくという特徴がある。アクション・リサーチは、最初、社会心理学の分野で提唱・導入され<sup>16)</sup>、その後、教育や経営、社会運動の分野で採用されてきた<sup>17)-19)</sup>。これらの分野では、実証主義的な研究で通常行われるような統制群と実験群の比較が、倫理性や実現可能性の理由で困難であるため、その代替的アプローチとしてアクション・リサーチが発展してきた。このような経緯か

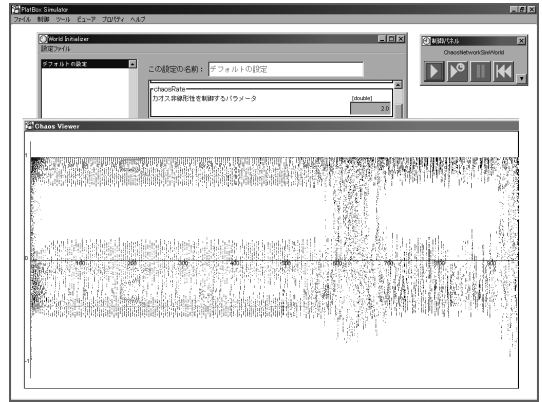


図 11 カオス結合系モデルのシミュレーション実行画面

Fig. 11 Screenshot of coupled chaotic systems model.

ら、アクション・リサーチでは、仮説に基づく働きかけを行った「単一事例を時間的変化をとおし連続してとらえる」<sup>15)</sup> というアプローチとなる。

本論文では「説明を聞いて理解する」という受動的な学習方法では、複雑現象の理解は難しいという問題意識のもと、自らがシミュレーションを「動かして理解する」という学習方法によって効果的な学習が行われるという仮説を立てた。そしてそれを大学の授業で実践し、評価を行った。

#### 5.2 大学の授業での実践事例

本論文で取り上げる事例は、慶應義塾大学総合政策学部/環境情報学部において 2004 年度から 2006 年度に開講した「モデリング・シミュレーション入門」という授業である。この授業は、週に 1 コマ (90 分) 開講され、1 学期間 13 週にわたって実施された。各年とも、学部 1 年生から 4 年生までの約 100 人が受講している (図 12)。これらの学部は、文理融合型の学部であるため、履修者の興味範囲は多岐にわたっている\*1。授業では、『複雑系入門』<sup>1)</sup> を教科書として使用し、複雑現象に関する講義と、各自のノート型パソコンを用いたシミュレーション演習を行った (図 13)。

2004 年度、2005 年度、2006 年度の授業内容は、表 1、表 2、表 3 のようになっている。下線部分が、本論文で提案した学びの道具を用いた授業である。それぞれ、授業中の演習時間で使用するか、もしくは宿題で使用

\*1 具体的には、国際関係・国際政策、経済、マーケティング、経営、プランニング・マネージメント、地域開発・政策、都市開発・政策、建築、環境問題、環境デザイン、組織・コミュニティ、社会システム、社会ネットワーク、コミュニケーション、メディアデザイン、小説、IT、認知科学、脳科学、バイオインフォマティクス、数学、心理学、カウンセリングなどである。なお、ここにあげた興味関心分野は、履修者アンケートより抜粋したものであり、重複しているものや類似しているものはまとめてある。



図 12 「モデリング・シミュレーション入門」の授業風景  
Fig. 12 Lecture “Introduction to Modeling and Simulation”.

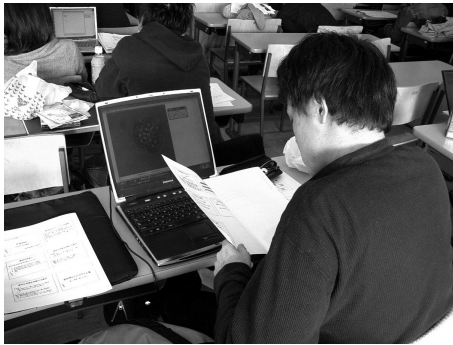


図 13 授業中のシミュレーション演習の風景

Fig. 13 Exercise in the lecture “Introduction to Modeling and Simulation”.

している。

## 6. 実践事例の分析と評価

ここでは、授業で取り上げたモデルのうち「カオス生成モデル」について詳細に取り上げることになり、取り上げるのは、2006年度の事例である。このほかのモデルについては、紙面の都合上、簡単な紹介にとどめることにしたい。

### 6.1 カオス生成モデルに関する詳細分析

カオス生成モデルを用いた授業では、カオス現象について教科書<sup>\*1</sup>の読解（予習の宿題）と口頭説明を行った後、次のような宿題を課した。

「(1) メイの生態系モデルを用いて、コントロール・パラメータがどのような値をとるときに、固定点や周期、カオスなどが生じるのかをまとめてください。また、初期値の鋭敏性についてまとめてください。どちらの場合

表 1 2004 年度の授業進行

Table 1 Lecture topics in academic year 2004.

週	内容
第 1 回	イントロダクション
第 2 回	モデリングとは
第 3 回	数理モデリング
第 4 回	非線形とカオス
第 5 回	オートマトン（状態機械）
第 6 回	オブジェクト指向モデリング
第 7 回	オブジェクト指向モデリングとプログラミング
第 8 回	シミュレーションによる分析
第 9 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
第 10 回	成長するネットワークのシミュレーション
第 11 回	ゲストスピーカー講演（物語としてのソフトウェアと社会システム）
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
第 13 回	遺伝的アルゴリズムによる進化のシミュレーション

表 2 2005 年度の授業進行

Table 2 Lecture topics in academic year 2005.

週	内容
第 1 回	イントロダクション
第 2 回	モデルによる思考とシステム論
第 3 回	非線形とカオス (1)
第 4 回	非線形とカオス (2)
第 5 回	カオスの縁
第 6 回	シミュレーションによる理解
第 7 回	自己組織化と隠れた法則性
第 8 回	成長するネットワーク
第 9 回	ゲストスピーカー講演（地域通貨のネットワーク分析とベキ法則）
第 10 回	オブジェクト指向と概念モデリング
第 11 回	シミュレーションデザイン演習 (1)
第 12 回	シミュレーションデザイン演習 (2)
第 13 回	総括

表 3 2006 年度の授業進行

Table 3 Lecture topics in academic year 2006.

週	内容
第 1 回	イントロダクション：モデルによる思考
第 2 回	シミュレーションによる理解
第 3 回	複雑性とカオス (1)
第 4 回	複雑性とカオス (2)
第 5 回	セル・オートマトンとカオスの縁
第 6 回	シミュレーションによる理解
第 7 回	ゲストスピーカー講演（複雑ネットワーク：導入から最新の動向まで）
第 8 回	自己組織化
第 9・10 回	ゲスト対談（新しい時代の新しい社会分析装置）
第 11 回	モデリング・シミュレーション演習 (1)
第 12 回	モデリング・シミュレーション演習 (2)
第 13 回	総括

も、PlatBox Simulator 上でカオスのモデルを実行グラフを表示し、そのグラフをファイル出力して、宿題レポートに組み入れてくだ

\*1 『複雑系入門』<sup>1)</sup> の第 6 章「カオス」。

さい。

(2) 宿題の作業を通じて新しく分かったこと、考えたこと、感想」

以上の課題について、A4 用紙 1 枚（表裏使用可）にまとめ、次回の授業開始時に提出してもらった。

6.1.1 宿題への回答とその正誤

この宿題に回答した人は 79 人であった。そのうち、(1) の前半の課題に適切に回答した人は 70 人、不適切な回答は 6 人、この課題への言及がない人が 3 人であった。このうち不適切な回答には、グラフが示されていないものが半数、カオスが発生する条件での実験を行っていないものが半数であった。

次に、(1) の後半の課題に適切に回答していた人は 44 人、不適切な回答の人は 18 人、この課題への言及がない人が 17 人であった。このうち不適切な回答には、グラフが示されていないものが約 7 割、初期値の鋭敏性がコントロール・パラメータの差異によってもたらされるものだど勘違いしている人が約 3 割であった。この課題への言及が少ないことやグラフが示されていないということから、出題の仕方に問題があった可能性があり、この点については今後修正をはかりたい。

6.1.2 フィードバック・コメントの全体像

次に、宿題 (2) の「新しく分かったこと、考えたこと、感想」への回答（以下、フィードバック・コメントと呼ぶ）を、体験的認知と内省的認知の観点から分析することにしたい。ここではその分析結果のみを示すことにし、それぞれのフィードバック・コメントについては、本論文の付録 A.1 にすべて掲載しておく。

まず、体験的認知に関係するコメントをしたのは 69 人であり、内省的認知に関係するコメントをしたのは 50 人であった。ここで、内省的認知について詳しくみるために、学習の「内容」に関する内省と「方法」に関する内省の 2 つに分けて分析すると、内容についての内省は 34 人、方法についての内省は 16 人であった。以上をまとめると、表 4 のようになる。

6.1.3 体験的認知に関するコメントの分析

体験的認知に関するコメントには、たとえば「入れる数値によってグラフがどんどん変わっていくところがしっかり見えて面白かった」（付録 A.1 のコメント 1-1）、「PlatBox Simulator を用いることで自分の手でカオスを創り出す楽しさを知った」（1-8）、「本を読むだけではなかなか実感がわかなかったことが、実際に何度も数値を入れ替えて何度も試してみることで少しでも分かったと感じられたことが嬉しかった」（1-32）、というように、面白かったという感想があった。

表 4 フィードバック・コメントにおける体験的認知と内省的認知の組合せ

Table 4 Combination of comments about experiential and reflective cognition.

体験的認知	内省的認知 (内容面)	内省的認知 (方法面)	該当する コメント数
			27
			31
			11
			2
			3
			3
			2
69	36	16	79

また、「リアルタイムで動くグラフが非常に分かりやすく.....実際に動かしてみても理解が増したと感じました」（1-65）、「実際に自分でカオスを作ることによって、初めて本当の意味のカオスを知ることが可能になったと思った」（1-37）、「今回の宿題の作業を通じて『初期値に対する鋭敏性』をグラフ上で確かめることで、『ああ、こういうことなのか...』と、ようやく納得できた気がします」（1-38）というように、実感理解が深まったというコメントもあった。さらに、「頭のなかで物事を考えているだけでは味わえないような体験をしました」（1-50）、「カオスの基盤が規則性にあることを再確認できたことに、素直に感動している」（1-3）、「自分のパソコンの中で本当にカオスが発生したときには感動しました」（1-47）といったコメントもあった。

フィードバック・コメントから体験的認知に関するキーワードを抜き出してみると、その上位には「分かった」（18 人）、「驚いた」（18 人）、「実感した」（17 人）、「面白い」（14 人）、「興味深い」（11 人）などがあげられる（図 14）。詳しく調べると、体験的認知に関するコメントをしている人の約半数が、体験的認知に関するキーワードを複数あげていることが分かる。どのキーワードどうしが同一人物によって言及されているのかの共起関係をネットワークとして可視化すると、図 15 のようになる。この図から、「面白い」と「驚いた」ということが、「実感した」、「分かった」、「理解が深まった」ということにつながっていることがうかがえる。

また、似たような意味のキーワードをまとめると、図 14 に示したように、「面白さ」、「理解」、「感動」、「驚き」のカテゴリに分類することができる。そのカテゴリどうしの共起関係をネットワークとして可視化する



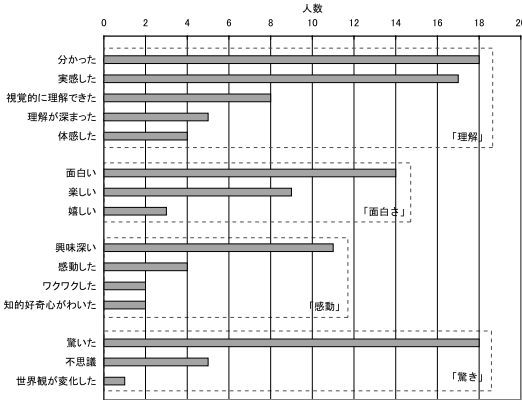


図 14 体験的認知に関するコメントの内容と回答数  
 Fig. 14 Quantitative analysis of comments about experiential cognition.

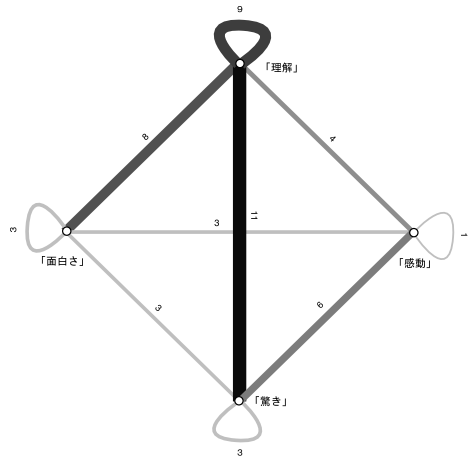


図 16 体験的認知に関するカテゴリどうしの共起関係ネットワーク  
 Fig. 16 Co-occurrence network of categories of comments about experiential cognition.

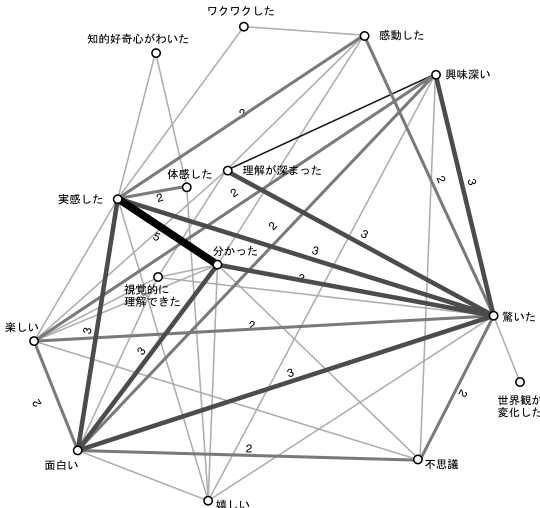


図 15 体験的認知に関する言葉どうしの共起関係ネットワーク  
 Fig. 15 Co-occurrence network of comments about experiential cognition.

と、図 16 のようになる。この図をみると、「面白さ」および「驚き」は「理解」と同時に言及されていることが分かる。また「驚き」と「感動」も同時に言及されていることが分かる。

6.1.4 内省的認知に関するコメントの分析

内省的認知に関するコメントには、内容面では「このような 1 つの式で表される動きでも、カオスが起きたりするのだから、現実の現象を予測していくことの大変さを感じました。そして逆に、複雑な現象もうまくやれば単純な規則性が見出せる可能性を感じてワクワクしました」(1-5)、「生態系、また地球環境というのはいかにデリケートであるかが少し分かった気がした」(1-9)、「今回の作業で、カオスというものは、値

を少し変えただけで劇的に形が変化するという、デリケートなものであると感じた。実際の生物が何らかの外的要因（木の伐採など）で生態系が劇的に変化するのもやむをえないということであることを実感した」(1-72)、「微妙な違いが結果にもたらす影響についてつねに意識することが大切だと思った」(1-19)、というように、現実世界についてのインプリケーションを導きだしているものがあつた。

このほか、カオスやそのコントロール・パラメータに関する理解の深化もみられる。「今回の実験によって、おそらくどこで周期点が増え、どこでカオスになるかというのは感覚的にはあまり理解できるものではないことが分かりました」(1-25)、「今回演習したことで考えたことは、カオスに至る系とそうでない系はどのようなものであるのだろうかということである。このグラフは a によって動きが左右され、安定するものも、周期を持って振動するものも、そしてカオスが発生するものもすべては a の値次第である。その a は現実にはどのようなものなのかという疑問を今回の学習で私は持った。今後はカオスが発生しどのような値をとるかというようなカオスの内部だけではなく、カオスを発生させる内部の系の要因や外的要因なども学習していきたいと思う」(1-9)、「数式など、数学（算数？）の世界からは離れて久しいのですが...今回はこの作業を通じてこういう科学の不思議さ、面白さに気づきました」(1-12) などである。

あとは、方法面についての内省には、「このように理解をより鮮明なものにするためにシミュレーションは大切な役割をするのだと考える。改めてモデリング・シミュレーションの意義を認識することができ、

今後の授業または研究において活かせるような、考えかたと技術をこの授業で身に付けられたらよいと思う」(1-32)、「何度も値(aとx)を変え、そのつど実験し、観察する.....という地道な作業があって初めてこういった「パターン」を見つけることができるのだなあ.....と改めて感じました」(1-38)、「宿題の作業を通じて感じたことは、値を少しずつ変えてあてはめていくのは、少々手間がかかる作業だが、得られることは多い、ということ」(1-70)などのコメントがあった。

フィードバック・コメントから内省的認知に関するキーワードを抜き出してみると、内容面では「実世界の他の事例への適用」(11人)、「コントロール・パラメータ」(11人)、「予測の困難性」(7人)などがあげられる(図17)。また、方法面では「シミュレーションによる理解の有効性」(6人)、「視覚的な理解の有効性」(4人)などがあげられる(図17)。内省的認知に関するコメントにおいて、どのキーワードどうしが同時に言及されているのかの共起関係ネットワークは、図18のようになる。この図をみると、「予測の困難性」が「実世界の他の事例への適用」へとつながっていることが示唆される。

また、似たような意味のキーワードをまとめると、図17に示したように、「現実世界の理解」、「カオス現象の含意」、「モデル化とその意味」、「複雑現象の探究」、「シミュレーションの有効性」、「シミュレーションのプロセス」、「世界の設定」のカテゴリに分類できる。さらに、体験的認知と内省的認知の関係をみるために、体験的認知と内省的認知のそれぞれのカテゴリの共起関係ネットワークを描いてみると、図19のようになる。この図から、どの体験的認知もほとんどすべての内省カテゴリにつながっているということが分かる。そのなかでも特に「理解」の体験カテゴリが「現実世界の理解」や「カオス現象の含意」のような内容面の内省と「シミュレーションの有効性」のような方法的な内省にとともにつながっていることが分かる。

6.1.5 学びの道具を用いる前後の変化

以上の分析は、学びの道具の使用後に得られたフィードバック・コメントの分析であった。次にみるのは、道具を用いる前後にどのような変化が起きたのかということである。

本節で取り上げてきた宿題を課す1回前の授業では、「説明を聞いて理解する」という受動的な学習を行った段階でのフィードバック・コメントを集めた。その結果、学びの道具の使用の前後でどのような変化があったのかを示すと、表5のようになる。受動的な学習の段階で「いまだにカオスが理解できているの

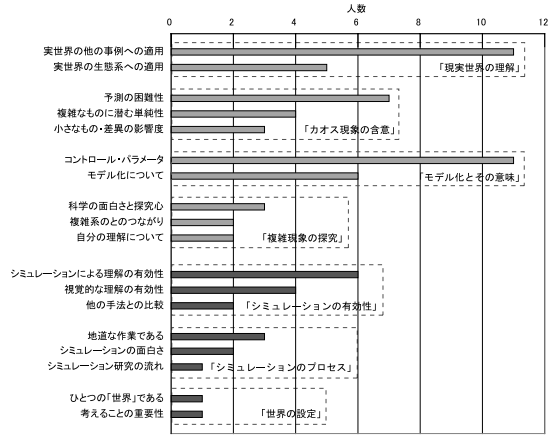


図 17 内省的認知に関するコメント内容と回答数  
Fig. 17 Quantitative analysis of comments about reflective cognition.

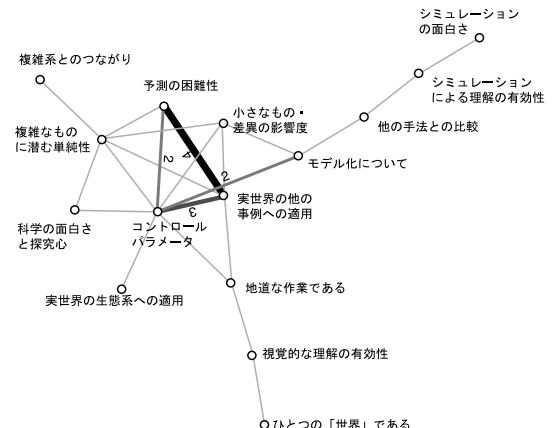


図 18 内省的認知に関するキーワードの共起関係ネットワーク  
Fig. 18 Co-occurrence network of comments about reflective cognition.

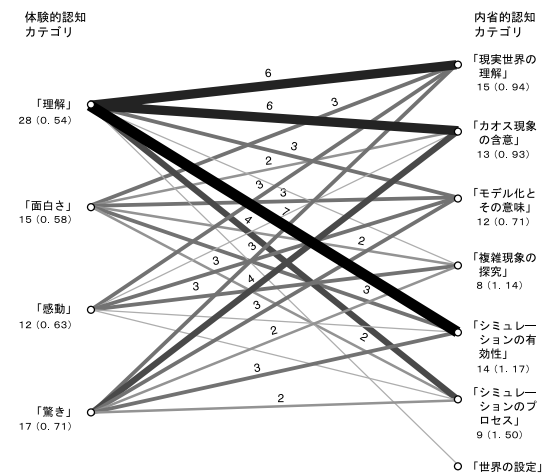


図 19 体験的認知と内省的認知のカテゴリ間の共起関係ネットワーク (各認知モード内のリンクは省略)  
Fig. 19 Co-occurrence network of categories of comments about experiential and reflective cognition.

表 5 学びの道具を用いる前後のフィードバック・コメントの変化  
Table 5 Analysis of feedback comments before and after using tools.

	説明を聞いて理解した段階でのフィードバック・コメント	動かして理解した段階でのフィードバック・コメント
A さん	「本日の授業は、かなりハードルが高かったです。家で GC (SFC Global Campus) と教科書を読んで復習しても、いまだにカオスの概念が理解できているのかどうか不安です (頭の中がカオス (一般的な意味での) です)。次回の授業で、さらに分からなくなってしまうまいや、頑張ってくださいたいと思います。」	「宿題の作業を通じて実際に「初期値の鋭敏性」を実感することができた。a の初期値をわずかに変えるだけでまったく違う形のグラフがでてきてしまうのは面白かった。PlatBox Simulator というソフトはパソコンが得意でない私でも操作が簡単です。シミュレーションを通してカオスや初期値の鋭敏性についての理解がしやすかった。」
B さん	「分かるのに分からない状況がもどかしい。根本的に数式や数学を拒否する体質なので、途中で失速します。問題なので、以降改善したいと思います。来週からのシミュレーションが楽しみです。」	「おもしろかった。結果としてカオスがでたとき、思わず「すげーー」と言ってしまった。3.56994 56...以下を地道に調べてみたいと思った。」
C さん	「メイの生態モデルの振舞いや分岐現象がとても興味深かった。「バタフライ効果」については以前からよく耳にしたけれど、グラフをみたり初期値鋭敏性など知ることができたりしてより理解を深めることができた。しかしまだ理解が理論にとどまっていた実感することができていないので、次回の実習に積極的に取り組みたいです。」	「演習を通じて、よりいっそう初期値の鋭敏性を感じることもできた。1にもみたくない数値によって結果が大分違ってしまいうのがとても面白い。また、シミュレーションという作業の面白さを知ることができた。これからのシミュレーションソフトを使った演習に積極的に取り組んでいきたいと思う。」

かどうかが不安です」「分かるのに分からない状況がもどかしい」「実感することができていない」と回答をしていた学習者が、学びの道具を用いた演習では「作業を通じて実際に『初期値の鋭敏性』を実感することができた」「おもしろかった」「演習を通じて、よりいっそう初期値の鋭敏性を感じることもできた」という感想に変わっている。ここで取り上げたのは少数の事例にすぎないが、ほかにも同様の変化は観察されており、学びの道具の有効性が分かる。

## 6.2 そのほかのモデルについて

そのほかのモデルについても、授業における演習や宿題で使用した。たとえば、鳥の群れモデルを用いた授業では、シミュレーションを実行し、初期設定の違いによって群れにどのような変化が現れるのかを確認した (2005 年度)。また、待ち行列モデルを用いた授業では、待ち行列モデルを用いて「この架空の空港に対して、ボトルネックを解消するためのコンサルティングを行う」という宿題を課した。宿題提出者 101 人のうち、99 人は自ら設定を考えてシミュレーション結果を考察している。残りの 2 人は設定が不明もしくは不明確であった。

さらに、ニューラルネットワークによる学習モデルでは、「学習係数や中間層の個数などの初期設定を変えて、学習効率はどう変化するかを観察して報告する」という宿題を課した (2004 年度)。学習係数と中間層の個数は、どちらも大きすぎても小さすぎても学習効率が下がるのであるが、授業ではそのことには言及せず、シミュレーションの結果を通じて自分で発見できるかどうかを調べた。宿題提出者 73 人のうち、72 人

が設定を変更して振舞いの違いを確認できていた。そのなかで、37 人が極小・振動を発見的に確認できていた。

各モデルについてのフィードバック・コメントの一部を付録 A.2~A.9 に抜粋しておく。これらのコメントからも、体験的認知と内省的認知を引き出していることが分かる。

## 6.3 全体を振り返っての内省

これまでの分析で、提案した方法と道具が個別の複雑現象の学習に対して効果的であることが明らかになった。しかし最終的には、個別現象を超えて複雑現象一般についての内省につながっている必要がある。また、モデル化やシミュレーションという方法についての深い理解にもつながっていることが望ましい。そこで、授業最終回後に提出してもらった「振り返り」のフィードバック・コメントを読み解くことにしたい。「振り返り」のフィードバック・コメントは、以下のような出題に対し、回答してもらったものである。

「今学期この授業を受けてきて、考え方がどのように変わったか、またどのような能力が向上したかなどについて、自己分析・自己評価してください。」

まず、典型的なコメントに、物事をシステムやメカニズムとしてとらえるようになったというものがある (A.10)。学習を支援する道具は「道具依存にならない道具」<sup>20)</sup> である必要があるので、道具から離れて思考ができる能力が身につくことは重要なことである。そして、モデルによって理解するということへの気づきについてのコメントもあった (A.11)。これらのコメ

ントから、モデルやシミュレーションの重要性を学ぶこともできたと判断できる。

毎回異なるシミュレータを使用するのではなく、同一のシミュレーションプラットフォーム上に、異なるシミュレーションモデルを載せて実行するという方法については、徐々に慣れたというコメントや、次のモデルへの期待が引き出されるというコメント(A.12)から、プラットフォーム構造の「操作の蓄積的な体得」という利点が実現できていることが分かる。

## 7. おわりに

本論文では、直感に反する振舞いをみせる複雑現象の学習において、「説明を聞いて理解する」という受動的な方法に対して、自らがシミュレーションを「動かして理解する」という能動的な方法を提唱し、そのための学びの道具を提案した。本論文での分析を通じて、その方法と道具が、体験的認知と内省的認知の両面を支援していることが分かった。

本論文で取り組んできたのは、「構成的な世界を通じて、現実世界についての理解を深める」という学習方法である。私たちは、本論文で提案したシミュレーションプラットフォーム上で動作するシミュレーションモデルを作成するための方法論や支援ツール「Component Builder」<sup>6)</sup>の開発も行っている。これらによって、授業担当者が新たなモデルを作成することを期待したい。また、これらのツールを履修者自身が利用することによって、複雑系のモデルを自ら構成し、理解するという試みも行っていきたいと思う。

謝辞 シミュレーションプラットフォームの開発をともし行った PlatBox Project (Boxed Economy Project) のメンバ、およびシミュレーション作成や授業準備にあたった井庭研究室のメンバ、特に津屋隆之介さん、青山希さん、赤松正教さん、笠井賢紀さん、宇佐美絢子さん、小林慶太さん、古川智樹さん、斎藤卓也さん、松浦廣樹さん、江馬裕子さん、野村奈津子さん、国友美千留さん、鈴木祐太さんに感謝したい。

## 参 考 文 献

- 1) 井庭 崇, 福原義久: 複雑系入門: 知のフロンティアへの冒険, NTT 出版 (1998).
- 2) 井庭 崇: 複雑現象の教育方法とその実践: コンピュータ・シミュレーションによる体験的学習, 情報処理学会計算科学シンポジウム (2005).
- 3) ノーマン, D.A. (著), 佐伯 胖 (監訳): 人を賢くする道具: ソフト・テクノロジーの心理学, 新曜社 (1996).
- 4) Iba, T.: Understanding Social Complex Sys-

tems with PlatBox Simulator, *The 5th International Conference on Computational Intelligence in Economics and Finance (CIEF2006)* (2006).

- 5) Iba, T., Aoyama, N., Takada, Y. and Murakami, Y.: A Collaborative Tool for Modeling and Simulating Social Complex Systems, *The 1st International Conference on Knowledge, Information and Creativity Support Systems (KICSS2006)* (2006).
- 6) 青山 希, 松澤芳昭, 井庭 崇, 大岩 元: モデリング言語による社会シミュレーション構築環境, 情報処理学会第 56 回 MPS (数理モデル化と問題解決) 研究会 (2005).
- 7) Gilbert, N. and Troitzsch, K.G.: *Simulation for the Social Scientist*, Open University Press (1999). 井庭 崇, 岩村拓哉, 高部陽平 (訳): 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, 日本評論社 (2003).
- 8) Reynolds, C.W.: Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model, *Proc. SIGGRAPH '87 Conference, Computer Graphics*, Vol.21, No.4, pp.25-34 (1987).
- 9) 武藤佳恭: ニューラルコンピューティング, コロナ社 (1996).
- 10) 武藤佳恭研究室, 武藤佳恭, 斎藤孝之 (監修): 応用事例ハンドブックニューラルコンピューティング, 共立出版 (2001).
- 11) Barabási, A.-L.: *LINKED: The New Science of Networks*, Perseus Book Group (2002). アルバート=ラズロ・バラバシ (著), 青木 薫 (訳): 新ネットワーク思考: 世界のしくみを読み解く, NHK 出版 (2002).
- 12) Holland, J.H.: *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, The MIT Press (1992). 遺伝的アルゴリズムの理論: 自然・人工システムにおける適応, 森北出版 (1999).
- 13) 伊庭 齊志: 遺伝的アルゴリズム, 医学出版 (2002).
- 14) 金子邦彦, 津田一郎: 複雑系のカオス的シナリオ, 朝倉書店 (1996).
- 15) 秋田喜代美, 恒吉僚子, 佐藤 学 (編): 教育研究のメソドロジー: 学校参加型マインドへのいざない, 東京大学出版会 (2005).
- 16) Lewin, K.: Action Research and minority problems, *Journal of Social Issues*, Vol.2, pp.34-46 (1949).
- 17) 秋田喜代美 (著), 心理学研究法 (南風原朝和, 市川伸一, 下山晴彦) (編): 実践研究の発展: アクションリサーチ, 放送大学教育振興会, pp.175-187 (2004).
- 18) 佐野正之: アクション・リサーチのすすめ: 新

しい英語授業研究, 大修館書店 (2000).

- 19) 佐伯 胖, 宮崎清孝, 佐藤 学, 石黒広昭: 心理学と教育実践の間で, 東京大学出版会 (1998).  
20) 佐伯 胖: 新・コンピュータと教育, 岩波新書 (1997).

## 付 録

本付録では, 本論文で取り上げた大学での実践事例におけるフィードバック・コメントを掲載する. カオス生成モデルへのフィードバック・コメントは 2006 年度の全回答を, そのほかのモデルについては 2004 年度と 2005 年度の回答から一部抜粋したものを掲載する. なお, コメントには, 体験的認知に関する部分に波線, 内容についての内省的認知に関する部分に点線, 方法についての内省的認知に関する部分に実践を引いてある.

### A.1 カオス生成モデルへのフィードバック・コメント

#### A.1.1 体験的認知 + 内省的認知 (内容面)

- 1-1. 「入れる数値によってグラフがどんどん変わっていくところがしっかり見えて面白かった。微妙な数値の差でカオスが発生したり, 規則性にしがっていたりなど, 違いが見えてくるんだなと思った。ということは, カオスという現象はいとも簡単に起こりうることであるのだ。規則正しく動く現象も, カオスも紙一重なのである。これが世の中の現象のすべてにあてはまることなのである。カオスとは何か? この答えがもうすぐ見つかるであろうか。」
- 1-2. 「課題が終わってから友人に話を聞いたところ, これは数 III の内容の問題であると話していた。収束や発散といった分野でありすでに学んでいたそうだ。しかし私にとっては初めての分野だったので逆に何の先入観も持たずに取り組めた。やって思ったことは, ある数値を境に, カオスになったり周期アトラクタを示したりと, 漸近線の役割をしているものがあるのではないかと予測した。分かるまでがけっこう辛い, 分かってくるととてもおもしろい作業だった。」
- 1-3. 「カオスの基盤が規則性にあることを再確認できたことに, 素直に感動している。また, 考えたこととして, わたしたちのそのような現実世界の生物も栄没も, このような 1 行の数式で表すことができるのだろうか, と思い, 少しワクワクした。これから先の演習も, 楽しくなりそうだと感じている。」
- 1-4. 「この宿題を行ったことで, 今まで, 授業や宿題の文献を通して頭で理解していたことが, 実感として「分かった」。まさに第 2 回の授業で先生がお話されていた「腑に落ちる」という感覚で, 「分かる」とはこのことなのか! と痛感した。特に今回は, 自分が少々勘違いをしていた点が明らかになったことが非常に良かった。 というのも, 図 3 のように, 最終的には収束するものでも, 最初に振動をしていることに目がいってしまったせい, これを「周期アトラクタ」だと思い込んでいた。これは私のアトラクタ (= 過渡期を過ぎた状態) に対する認識が間違っていたことが原因で

ある。また, 初期値の鋭敏性も, コントロール・パラメータ a の値の差によるものだと勘違いしていた。」「敏感も何も, 違って当たり前なのに...」とバカなことを思っていた。今回の宿題によってやっと, 変数 x の違いが与える差異だと理解できた。このように今回の宿題を通して, 文献を読んで分かった気になっていても分かっていない! (危ない!) と気づいたこと,

「分かる」という実感を得たことが, 大きな収穫だった。」

- 1-5. 「この方程式のような規則からこんな結果たちが出てくるのが目に見えて, 今まで話の上だけでなんとなく理解していたカオスへの実感がわきました。また, このような 1 つの式で表される動きでも, カオスが起きたりするのだから, 現実の現象を予測していくことの大変さを感じました。そして逆に, 複雑な現象もうまくやれば単純な規則性が見出せる可能性を感じてわくわくしました。」
- 1-6. 「コントロール・パラメータの値を少し変えるだけでグラフに様々な変化が起こることが分かった。また固定点をとる値から周期性を持つ値, カオス運動を起こす値のように値によってグラフの種類が決まって変わること大変驚いた。また初期値の鋭敏性も聞いただけでははっきり認識できなかったが, 実際にグラフを作成することで, これほどまで大きな差が生じることがよく分かった。しかし今回の宿題を通して疑問点もいくつか浮かんできた。たとえば, コントロール・パラメータの値によってこうもきれいにグラフの種類が分かれるのはなぜであろうか。そして初期値の鋭敏性にしても, なぜ 0.01 という小さな値の差が, バタフライ効果といわれるように大きな差を生じさせるのだろうか。そして, a や x の値は現実の世界ではどういったものが当てはまるのだろうか。こういった性質を知ることによって現実世界の何が分かるのだろうか。そうしたこともこれから学んでいけたらと考える。」
- 1-7. 「まず, カオス状態を実際に見ることができたことに感動した。これが同じ値を取らないとは信じられない。これほど簡単な式からこれほど複雑な計測値が観察されるのはすごい。また初期値の鋭敏性についてもかなり実感をともなった理解ができた。たった 0.01 であれほどの違いがでるといことは, 上のグラフをそのまま風力と考えると, バタフライ効果はまったく大きな話ではないと思った。また逆に, 5 分くらい観察していると, 2 つのグラフがほぼ同じ周期を取ったりしたのも観測できた。本当に世界は複雑にできている。」
- 1-8. 「PlatBox Simulator を用いることで自分の手でカオスを創り出す楽しさを知った。また, ダブルカオスモデルから感じた「初期値の鋭敏性」をこの実世界に移し変えてみて考えてみた。70 億人と 70 億 1 人というその 1 人が違っただけでその後の値 (こちらで言えば未来) が大きな変化を見せてしまうことから, この地球上にいる生物 1 つ 1 つの重要性や尊さを感じずにはいられなかった。また最初読んだとき全然意味が分からなかったカオスを「バイコネ変換」で考えることもこの宿題を通じ「複雑系入門」の 6 章を熟読することで理解できた。どんな複雑に見える事象でも根元を省みてみれば, それは単純なモノかも知れないということを知れたことは私にとって大きな新しい一歩を踏み出したことになると思う。」

- 1-9. 「今回 PlatBox を用いてこれらの作業をしてみて、高校の一生使わないと思っていた数学 III の微分方程式や、収束、振動...といった知識が役に立ってびっくりした。さらに、生物の生態系モデルがこのような漸化式の関数で表すことができ、しかもパラメータの値が少し違って、変数が微妙に違ってまったく異なった結果になってしまうことを目の当たりにして、世界が変わった気分になった。生態系、また地球環境というのはいかにデリケートであるかが少し分かった気がした。次回からどんなモデルをシミュレーションできるのか、またどんな風に世界が変わっていくのが楽しみだ。」
- 1-10. 「今回の内容を勉強して分かったことは、カオスに至るメイの生態系モデルでも、 $a$  の値がカオス点に至らない場合は固定点や周期など非常に安定したものであり、カオス発生点を境に突如カオスが発生すること、初期値の鋭敏性は初期値の差がわずかなことだけではなく、明確な差が生じるのにほとんど時間がかからないものであるということである。今回演習したことで考えたことは、カオスに至る系とそうでない系はどのようなものであるのだろうかということである。このグラフは  $a$  によって動きが左右され、安定するものも、周期を持って振動するものも、そしてカオスが発生するものもすべては  $a$  の値次第である。その  $a$  は現実にはどのようなものなのかという疑問を今回の学習で私は持った。今後はカオスが発生しどのような値をとるかというようなカオスの内部だけではなく、カオスを発生させる内部の系の要因や外的要因なども学習していきたいと思う。初期値の鋭敏性は自分で実施に数字を入れてグラフを作ってみてはじめて、結果への影響の大きさが理解できた。結果が近い数字になるのはごく短い期間であり、類似したカオスのモデルを用意してもカオスの予想というのは初期値の精度に大きく影響され、短期に限定されているものであるということを実感した。」
- 1-11. 「コントロール・パラメータに様々な値を入れて変化を観察すると、同じ式なのにまったく異なったグラフの形になって楽しかったし、固定点や周期、カオスが生じるのは、それぞれどのような値をとるときなのかを見ることができて良かった。少子化が進んでいる日本の人口について考えると、このままでは  $a=0.7$  のときのグラフと同じように、最終的には  $0$ 、すなわち日本人は絶滅という事態に陥るのだと思った。初期値の鋭敏性についてのシミュレーションでは、微々たる違いが本当に大きな差を引き起こすという現象を見ることができて、天気予報の先の予報になればなるほど不正確になることを実感できて面白かった。」
- 1-12. 「まず世界とか、そういったものをコンピュータ上に表せるといったことがとても楽しかったです。そして、パラメータという、ある一定の数字を与えることによって、グラフにここまで大きい変化が出るものだと、驚かされました。グラフの数値くらいならわたしには想像できるのですが、グラフの形状までは予想しませんでした。カオスについては本当に不思議です。数式など、数学(算数?)の世界からは離れて久しいのですが、今回はこの作業を通じてこういう科学の不思議さ、面白さに気づきました。」
- 1-13. 「今回の授業、および考察の内容は、前回は書面や教科書のみでしか理解できなかった、メイの生態系モデルや、ロジスティック方程式を体感的に理解することができた。特に初期値の鋭敏性に関しては、社会的な現実考察にあてはめてみると、おそろしいことになるだろう。メディア社会モデルの偶発性?誘発的?なものの考察にさらにつなげていけばおもしろいのではないだろうか。」
- 1-14. 「コントロール・パラメータのとり値によって、大きくグラフに変化が生じることは、もうすでに前回の授業でカオスについて初めて学んだときに理解していた。よって、今回の宿題はもうすでに分かっていたことに関する確認のような宿題になった。しかし、ただ、文を読んだり講義を聞いたりして理解するよりも実際自分の手で、コンピュータ・シミュレータを起動して値を代入して結果を見ているということから、もうすでに予想はつく結果なのにもかかわらずいちいち驚いてしまった。カオスの初期値の鋭敏性も DoubleChaos モデルをみれば分かりやすくなり、天気予報や経済事情などの先読みがどんなに難しいことかを改めて感じることができた。」
- 1-15. 「 $a$  の値が  $1$  違うだけで、グラフの形がこんなにも変化することに驚きつづ、とても不思議に感じた。またそれと同時に生態系への未知なる不思議さも感じることもできた。今まで絶滅という言葉を学んではいても、数字として知ることにはなかった。しかし、今回このソフトを経験することで、生態系の変化というのを実際に学ぶことができてよかったと思う。そして初期値の鋭敏性をグラフにしてみる作業もとても面白かった。たった  $1$  万分の  $1$  の違いが、こんなにもグラフへの変化に影響を及ぼすとは思いませんでした。」
- 1-16. 「メイの生態系モデルが示すとおり、グラフがカオスを示していく様子が、非常におもしろかった。これが現実世界での私たちの「動き」のグラフ化かと考えると、自分のパソコンの中でカオスが生じた(自分が生じさせた)ということが嬉しい。このように、私たちが紙に暗記して書くことのできるような単純な数式から、定数の違いによってまったく異なる複雑な結果が生じることは、驚きであり興味深いことである。また、私はこの作業を通して、やっとならばこれまでに学んできた複雑系、創発、カオスというものも、私の中でつながってきたように思う。これから複雑系のさらに内部まで実践を通して学んでいくことにより、カオスの世界を興味深く観察していきたい。」
- 1-17. 「薄べらい言い方だが、やはりカオスが一番自然らしかった。他の数値も安定するのを見つけたところやっとならば保たれるのかとか、 $0$  になってしまおうを見ると絶滅してしまった、と思うなど出てきたシミュレーション結果を実際の生態系の状況にあてはめていくのが自分としてはとても興味深い過程だった。「絶滅してしまった」時は画面上では数字が  $0$  になるだけだが、人間が自分たちの都合で定数  $a$  をいじるたび、生物たちはその生死を左右されている。世界を初期化すれば死んでしまった生物たちは再び頭数をそろえたりはしない。自然を守ることは大事である。」
- 1-18. 「今回初めて自分でモデルを操作して、カオス的な振舞いや安定に入るという現象を実際に体感できた。これまで本で読んだり話して聞いたりするだけだったので、いまいち実感がわかない部分もあったが、今回のことで実感でき、自然と学習意欲もわいてきた。そしてコントロール・パラメータの値がなぜ  $3.9$  をとるとカオス的な振舞いを見せるのかをもう少し詳しく知りたいと感じた。また、自分で適当な数を入れてみた場合にほとんどが絶滅状態になったことも興味深

く、そのことはこの世の中の現象はすべてとも繊細で崩れやすいものであるということを示唆しているようにも感じられた。これからもっとソフトについての操作方法を学んでいき、本で読んだようなモデルを自分で作りたいと考えている。」

- 1-19. 「PlatBox Simulator 上でカオスのモデルのグラフを実行すると様々なグラフが作成できて面白かった。複雑系というものを論理上ではおそらく理解していたものの、実態をつかめていなかった。しかし、カオスが現れるグラフをみると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するということを視覚的にとらえられた。初期値の鋭敏性についても、千分の一の誤差がグラフ上には大きな違いを生み出すことに驚いた。微妙な違いが結果にもたらす影響についてつねに意識することが大切だと思った。」
- 1-20. 「ミクロがマクロに与える影響はとてつもなく大きいことを学びました。いわゆるバタフライ効果ですが、このようにシミュレーションを通して個体数の世代間にわたる増減を観察したことによって、その状況を実感しました。ただこのシミュレーションを現実的に価値あるものとするにはこのコントロール・パラメータの値の設定が非常に重要であり、かつその設定が非常に難しいのではないかと考えました。このコントロール・パラメータには天候や気温・天敵の数など様々な現実的要因が寄与することによって変動します。このような要因を果たして数値で設定することが可能なか、もし可能であったとしてもその値をたった1つの変数で表すことが可能なか。今後の授業に期待します。」
- 1-21. 「今回、作業していて、初期値の鋭敏性が、かなりはつきりと理解できた。さらに、カオスが生じる値の途中に、周期性が現れる箇所があること、そしてそれを確認できたことは非常に面白かった。私は、この複雑系の理論が、教育制度にあてはまるのではないかとこの講義を受講した。今回の授業で、もしかしら、教育における初期値、つまり教育を受ける前の生徒が持つ学力の差が、最初は小さいものでも、やがて大きな差異になって現れているのでは、と思った。そんなにうまくはいくはずはないのだが、とにかく、この授業を受講し、今の日本の教育モデルを作り、シミュレーションしたいと今、強く思っている。」
- 1-22. 「上記の a の値のほかにも、思いつく数字を代入してみ、様々なグラフを作ってみて、カオスの魅力に知的好奇心がくすぐられた。時間が許す限り、思いつく数字をいれてみようかとまで考えた(時間がいくらでも足りないので諦めたが)。私はまだカオス、ひいては複雑系を学び始めたばかりの初心者だが、何が人々の探究心を刺激するのか、漠然とだが分かる気がした。」
- 1-23. 「今回実際に自分でシミュレータを使って設定を変えてグラフとして現象の変化を見たことによって、そもそもカオスというものが実際にはこういうものなのか、ということを知ることができたし、今この授業で勉強していることがどういうことなのかということよく分かった。そして実際にグラフで見ることによって生態系の現象が初期値に依存するということがよく分かった。...複雑系というものを、勉強し始めてから苦手な数学的な分野のように思えて、少しついていけない、難しいな、と感じていたが、先週

の課題で本を読んだことと、今回こうして自分の手で実際に現象を自分のコンピュータの中の世界で実行することによってカオスというものがどういうものなのかを知り、複雑系という学問を感覚的に理解することができた気がしたのでよかった。また、この分野は今まで式や規則としては計算できないと考えられていたものを計算できるようにする学問なので、この分野が世界の中に与える新しい影響というものは多大だと思いました。」

- 1-24. 「まず、コントロールパラメータを定めることは生態系の存在する環境を定めることと同じであると分かった。数学が大の苦手というか、算数からできないが、これは面白いと感じた。初めて数学の楽しさというものを感ずることができた気がする。数値を変えるだけで2度と同じグラフが出てこないカオスは非常に魅力的で、このようなシミュレーションを経済学で使えば、景気の動向も一発で分かるのであろうと期待している。」
- 1-25. 「今回の実験によって、おそらくどこで周期点が増え、どこでカオスになるかというのは感覚的にはあまり理解できるものではないことが分かりました。どこからがカオスと呼ぶのか、周期点がいきなり増えるのか。それを考えると、厳密にどこからグラフの特徴が変わるのかは数学という形式に頼る必要があると感じました。ですが、私は数式のような形式的なもの単なる手段の1つであると思うので、誤ってそれだけですべてを証明することのないように気をつけなければならぬと、改めて痛感させられました。とても興味深い実験でした。」
- 1-26. 「今回の PlatBox Simulator による作業で、初期値のわずかな違いによってカオスが生成されることが分かった。初期値の鋭敏性が発見されたことで、長期的な予測が困難であることが分かってしまった。われわれの身の回りで見られる社会現象にも、初期値の鋭敏性を示しているものはたくさんある。高安秀樹は『経済物理学の発見』の中で、人工市場のシミュレーションによって、初期条件の小さな誤差が市場に大きな変動をもたらす、市場内カオスが発生することを示している(高安, 2004; p.81)。高安秀樹は初期値の鋭敏性が発見された現在において、従来の経済学のフレームでは複雑な経済現象を分析することは限界があると述べられている。そして、この経済の複雑性を解く鍵になるのが、コンピュータ・シミュレーションと物理学であると主張する。今後の授業では、社会分析をする際にコンピュータ・シミュレーションがどのように役立つかを、より意識的に学んでいきたい。」
- 1-27. 「今回の宿題を通して特に実感したことはカオスのグラフの初期値に対する鋭敏性である。今まで、私が身近に接してきたのは(1)や(2)のような収束するタイプのものばかりであったために、どこかでバタフライ効果などに対しては甘く見ていた節があるように思われる。実際に(1)のグラフでは初期値の違いは(3)とは比べものにならないほど大きいのに固定点と等しく、同じ値をとっている。それが(3)のようにカオスのグラフとなると唐突に初期値に対して過敏に反応するようになる。私が特に驚いたのは25ステップほどでこれほどの大きな値の変化が見られることではなく、25ステップもしないうちにはつきりとグラフで分かるほどに値が違ふことである。確かにこれほど簡単な式( $X_{n+1} = ax_n(1 - x_n)$ )

でこれほどまでに違う結果が出るというのであれば天気予報などのさらに複雑なモデルでは正確に予測できるはずがないし、人類は当分の間(もしくはは未来永劫)未来を完全に予測するのは不可能であると実感することができた。また(2)と(3)の狭間の近くの値にパラメータ  $a$  を設定したときに、計算する桁数がシミュレータの表示可能桁数を上回ったために本当に周期しているのかの確認ができなかったのが、残念であった。カオスは二度と同じ値をとることはない、と説明されたがその数学的証明を自分で導くだけの時間と余裕がなかったのが残念だった。もし、時間があれば多少のイメージはできているのでそのことに対しても考察していきたいと思った。」

- 1-28. 「カオスの中にもところどころ似たような形が現れているのがとてもおもしろいと思いました。規則性の中に現れる不規則性、そしてその不規則性の中に現れる規則性。学者たちもきくと血沸肉踊るような感覚を味わったのでしょね。さほど複雑でもない1つの公式からこれだけ様々なグラフの結果が得られるのは本当に不思議な感じを受けます。  $a=2.9$  のときは始めは揺れていてもやがて種が安定してある一定値を保てるのになぜ  $a=3.2$  のときは交互に栄枯がきて、なぜ  $a=3.8$  のときはこんなに大きく不安定な値が揺れるのでしょうか。なにか神が多すぎず少なすぎずちょうどよい個体数の値を決めているのでしょうか。非常に興味深いです。」
- 1-29. 「今回、メイの生態系モデルをシミュレーションしたのだが、実際にカオスの世界をPC上で実験し、カオスの複雑性に驚嘆した。まず、ロジスティック方程式の初期値  $a$  を変更することで興味深い挙動が観察できることである。... $a$  の値が違うだけでこんなにも様々な挙動をとる。前回の授業で理論的には分かっていた話であるがカオスの世界を端的に表現しているロジスティック方程式の素晴らしさ、数学の偉大さに感服した。初めてこの方程式を発見した人の思考回路を知りたいくらいである。...次の初期値に対する鋭敏性をあげる。...たった  $0.000000001$  の差であるが初期値が違つとこんなにも異なるグラフを描く、短期予測可能であるが長期予測が不可能であるカオスのシミュレーションを垣間見ることができた。」
- 1-30. 「今回のシミュレーションのように、単に初期値を数値で定義して、カオスにおける初期値鋭敏性を見ると、意外に感じる。しかし、これを実社会での初期条件、たとえば、ある人の生まれた場所、性別などに置き換え、その人の購買行動にあてはめると「鋭敏性」を理解することが容易であるように感じた(前提として、購買行動=カオスが必要だが)。」
- 1-31. 「PlatBox Simulatorの使い方は分かりましたが、グラフやパラメータの読み方などが分からないままだったので、課題で苦労しました。特に、 $a$  が自然要因を示していることは分かったのですが、この数値の高低がどのような意味なのかがよく分かりませんでした。」

#### A.1.2 体験的認知 + 内省的認知 (方法面)

- 1-32. 「今回はPlatBox Simulatorを使って作業をすることを通じて、どのようにしたらカオスになるのか、または初期値の鋭敏性とはどのくらい敏感なのか、ということを実感として分かることができた。シミュレ-

ータほんのわずかに数値を入れ替えるだけで、結果として大きく違う振舞いを見せたり、不規則な振舞いを見せるカオスも元はといえば規則から発生しているということなど、本で読むだけではなかなか実感がわかなかったことが、実際に何度も数値を入れ替えて何度も試してみることで少しでも分かったと、感じられたことが嬉しかった。このように理解をより鮮明なものにするためにシミュレーションは大切な役割をするのだと考える。改めてモデリング・シミュレーションの意義を認識することができ、今後の授業または研究において活かせるような、考えかたと技術をこの授業で身に付けられたらよいと思う。」

- 1-33. 「この前までのカオスについての授業内容をPlatBox Simulatorでグラフにすることににより、より理解を深めることができた。コントロール・パラメータの値がある一定以上の値になったときに、グラフが突然変わるということは本当に驚いたが、初期値がほんの少し変わっただけでグラフがまったく違ったものになってしまうということにも改めて驚いた。そして自分で初めて実際にシミュレーションをしてみても、シミュレーションが、楽しく、興味深いものであると感じた。同時に、シミュレーションが現象をより細かく理解するために大切で、すばらしいものだと知ることができた。今後も自分で様々なことについてシミュレーションをしてみたいと思う。」
- 1-34. 「演習を通じて、よりいっそう初期値の鋭敏性を感じることができた。1にもみたくない数値によって結果が大分違ってしまうのがとても面白い。また、シミュレーションという作業の面白さを知ることができた。これからのシミュレーションソフトを使った演習に積極的に取り組んでいきたいと思う。」
- 1-35. 「前回はカオスを本で読んで理解するにとどまったが、実際にコンピュータでグラフを書くことによって理解が深まった。ローレンツ方程式の3変数についてイマイチ理解できなかったので、このようにコンピュータを介することができたら理解できやすいのではないだろうかと感じた。」
- 1-36. 「カオスが生じるまでにはいろいろな過程があり、いろいろな種類のグラフの見られておもしろかった。前回の宿題でアトラクタを本で読んで何となくしか分からなかったが、今回自分で体験してみても具体的に理解することができたように思える。やはり、自分で体験してこそ本当に理解したといえるだろう。頭の中で考えるのも限界があるし、このシミュレーションはカオスを理解するのにとっても役立つと感じた。」
- 1-37. 「PlatBoxを使用して初期値を変化させて実際にカオスの世界を自分で作ることができることにとても驚きました。実際に自分でカオスを作ることによって、初めて本当の意味のカオスを知ることが可能になったと思った。PlatBoxを使用して多くのシミュレーションができるようになると、今までの思考の幅がとてつもなく広がり、科学の世界のみならず、多くの役立つシステムになると考える。個体数でなく自分で実際にシミュレーションをする際にどうしたら良いのがまだ理解できていないので、これからの演習でできるようになりたい。」
- 1-38. 「今回の宿題の作業を通じて「初期値に対する鋭敏性」をグラフ上で確かめることで、『ああ、こういうことなのか...』と、ようやく納得できた気がします。形



」(グラフ)として物事をとらえることで、その理解をより深めることができるのだと実感しました。また、 $x$ の値はコントロール・パラメータの値の変化に対して一見ランダムに動いているようですが、 $a$ の値が0~1のときは絶滅してしまったり、1~2のときには一定の値に収束したり……というパターンがあることを実際自分で数値を変え、その結果を観察することで再確認できました。何度も値( $a$ と $x$ )を変え、そのつど実験し、観察する……という地道な作業があって初めてこういった「パターン」を見つかることができるのだなぁ……と改めて感じました。」

- 1-39. 「コントロール・パラメータの数が少し変わっただけで、カオスグラフなのかそうでないのかがはっきりと出るということ、またカオスグラフであるときも、小数点以下がわずかに変わっただけで、グラフにはっきりと差が出るということにとっても驚きました。前回の講義のときに、コントロール・パラメータの  $a$  の値が、3.5699456 のとき…など、何でこんなに細かくしなければならぬのか疑問があったのですが、実際に PlatBox Simulator を使って実験してみると、小数点以下の数値のわずかな変化が重要になるということが分かったのが良かったです。しかし、同時に、モデリングシミュレーションとは予想以上に根気のいる作業であることが分かりました。ですから、地道にデータを作れるような精神力などもこの授業でつけていきたいと思います。」
- 1-40. 「コントロール・パラメータや初期値を少しでも変えると、グラフの形が大きく変化して頭で理解するのではなく目で見て理解できる。微小の値の変化がまったく異なるグラフを生じているような結果を見ることができるので、始まりが「ファイブを開く」ではなく「世界を開く」という始まりも納得できる。PlatBox は初めて使うソフトであるが、指示どおりに操作すると簡単に、しかも正確にシミュレーションをできた。実際に実験するのではなく、パソコン上で実験が可能なので授業だけで用いるのにとどまらず、自分が進む分野に役立てたいと思う。」
- 1-41. 「このシミュレーターを用いることで、今まで図でしか見たことがなかったカオスを扱うことができた実感がわいた。カオスは定数  $a$  と初期値という 2 変数のみに依存し、値が少しでも違えばまったく異なる振舞いを見せるということであるが、値が違っても初めは似た振舞いを見せるが、途中からまったく別の曲線になってしまうほど振舞いが変わってしまった。このようなシミュレーターを使うことで、とても簡単にカオスが実感できた。エクセルでも作って見たが、シミュレーターほどスムーズにいかないため、シミュレーターの有効性を実感した。しかし、実際に 3.56... というようにカオスになる境目に近似してシミュレータを動かしたが、差が生まれる原因はまったく分からなかった。どうして 3.56... が閾値になるのかという理論があるならば知りたい。」
- 1-42. 「カオスは分かったんですが、 $a$  に新しい値を入れて他の世界を作り出すやり方が分かりませんでした。すいません。今回の宿題の作業では、漠然と計算式で分かったその生き物の未来が、はっきりと目に見えるグラフとなって現れて、とても驚きました。けれども、あまりに具体的過ぎて、なんだかそれがうさぎの数だという感じはせず、ただの実験のようなものに感じてしまいました。けれどもこのようにしっかりとグラフに現れるのならば、生物の繁殖など

の研究にとっても役立つのかなぁ、と思いました。あと、もっとパソコンを使えるようにならなければと思いました。」

### A.1.3 体験的認知

- 1-43. 「たとえば、絶滅するプログラムとして  $a$  の値が設定された場合、最初にどれだけの個体数があったとしても、同じ結果にたどり着くことに驚いた。また、設定値のわずかな差異が、グラフの線を大きく動かすことを実感して感動した。」
- 1-44. 「ほとんわずかにわずかに異なった初期値のコントロール・パラメータでもカオスを起こすことができる数値と、そうではない数値に分かれることが今回の宿題を通じて、肌で感じる事ができた。これからの授業で、もっと様々な現象においてのカオスの現象の成り立ちを体験していきたいと考えています。」
- 1-45. 「宿題の作業を通じて分かったことといえば、カオスにはやはり何らかの規則が生じることである。いずれのグラフも、ある一定の規則に従ったうえで、イレギュラな動きを示し、大変興味深いと思った。宿題の結果を自分で出すことができたのでよかった。」
- 1-46. 「初めてカオスをコンピュータ上で見ましたが、新しいことですごく面白かったです。はじめは、何をどうすればいいかも分からず慌てましたが、SA さんがいたおかげですごく助かりました。でも、この宿題をやるとともに今更疑問に思ったことがあります。Double Chaos モデルの 2 つの値は、Chaos モデルのときと一緒だけど、親ウサギの群れが 2 つあると考えればいいのか。そして、1 匹でも多かったり少なかったりすると、結果に大きく影響を起こすという考え方でいいのか分らなかったです。」
- 1-47. 「授業で習ったカオスや初期値の鋭敏性について、PlatBox Simulator を実際に動かしてみることで、よりいっそう理解が深まりました。自分でシミュレーションを行えるとは思っていなかったのですが、自分のパソコンの中で本当にカオスが発生したときには感動しました。また、初期値がほんの少し違うだけで後々大きく変わってしまうという初期値の鋭敏性にも、実際に自分で動かしてみることで改めて驚かされました。規則に従っているにもかかわらず不規則な動きをするなんて、このモデリングシミュレーション入門の授業を受けるまでは考えられませんでした。今回の作業を通じて、さらにモデリングシミュレーションに興味が増えました。」
- 1-48. 「コントロール・パラメータの数値のわずかな違いによって、ここまでも生態系の数の増減に影響が及ぼされることを、実際にシミュレートして見るができることは、臨場感があって、興味深い。今回のシミュレーションにおいて、 $a=3.2$  以下では、カオスが起こらなかったが、 $a=3.9$  ではカオスが起きた結果からして、3.2 から 3.9 のどこかの値を境にカオスが起ることが推測できる。」
- 1-49. 「1 つの値の変化でグラフの種類を 3 種類も生み出す(他の値で別種類のグラフも可能だと思うが)ことにビックリしました。同時にカオスを公式的に表現することの難しさを実感しました。」
- 1-50. 「今回の宿題を通じて、パラメータ  $a$  を少し変化させるだけで様々な異なった周期や変動を示すことが実感できて、頭のなかで物事を考えているだけでは味わえないような体験をしました。これらの作業を通じていろいろな現象をシミュレーションするとい

う方法にもっと興味が湧いてきました。」

- 1-51. 「今回は、実際に私たちのラップトップコンピュータを使って、前回の授業で学習したカオスのシミュレーションをすることができ、普段の授業とは違った意味で充実した授業だったと思う。特に、宿題にもなっているメイの生態系モデルにおいて、コントロール・パラメータの値を用いて実際に計算されて、それがグラフに反映されていく様子は、見ていて非常に興味深いものであり、身をもって体験することで、楽しみながらカオスのシミュレーションをすることができたと感じている。」
- 1-52. 「おもしろかった。結果としてカオスがでたとき、思わず「すげー」と言ってしまった。3.56994 56...以下を地道に調べてみたいと思った。」
- 1-53. 「実際にプラットフォームでシミュレーションを動かすのはとてもおもしろい作業だった。操作が思ったよりも簡単だったので、これからもどんどん使ってみたい。ただカオスはもっと派手な動きをするのかと思った。しかし他のグラフと比べたら違いは歴然としている。」
- 1-54. 「実際に PlatBox Simulator を使ってみての演習は楽しかった。授業で習った振舞いがここまできれいにグラフに反映されると、やはり理論に基づいているのだな、と思った。グラフにまとめてみると、自分の中でもモデルを理解しやすかった。」
- 1-55. 「自分でカオスを生じさせる体験ができたのは楽しかったです。コントロール・パラメータの値をプリントで設定された値でしかやらなかったの、どこからどの値ならば固定点・周期・カオスのそれぞれをとるのかということまではできませんでした。ただ、それを調べるとしたらものすごい量のシミュレーションをしなければならないので、可能なかどうかという疑問があったため、今回はプリントの値をそのまま用いることとしました。」
- 1-56. 「PlatBox Simulator の操作はパソコンが苦手な私にも意外に問題なくできた。やはり実際に自分で手を動かしてグラフにしてみると分かりやすい。ただ、なぜこういう結果になるのか不思議で仕方ない。」
- 1-57. 「今回の宿題では、今まで話で聞いたり本で見ていたものを実際にソフトでシミュレーションすることによって体感することができた。コントロール・パラメータを変えていき、上のような規則性を発見したときは凄く嬉しかった。」
- 1-58. 「実際にグラフを動かしてみる、という作業は実感がともなうのか、スムーズに理解できたように思います。ですが、初期値の鋭敏性のおかげで少しでも設定を間違えたと思ったらおりにグラフが動いてくれなくて大変でした。」
- 1-59. 「宿題の作業を通じて実際に「初期値の鋭敏性」を実感することができた。a の初期値をわずかに変えるだけでまったく違う形のグラフができてしまうのは面白かった。PlatBox Simulator というソフトはパソコンが得意でない私でも操作が簡単です。シミュレーションを通したカオスや初期値の鋭敏性についての理解がしやすかった。」
- 1-60. 「今回の宿題の作業でグラフを見た上で一番気になるのはやはり、初期値の鋭敏性についてでした。もちろん二度と同じ値を取ることのないカオスも気にはなるし、周期性を持ったものも気にはなります。しかしわずかな初期値の違いによって、グラフが進む

につれこんなにも違いが出てくるというのは、授業で聞いていたり教科書で読んでいたりしてもやはり不思議な感じがしました。その初期値の鋭敏性がどこから来ているのか、またこの初期値の鋭敏性が複雑系や私たちにとって、どのような意味を持っているのか完全には理解できないので、少しでも理解に近づけたらな、と思っています。」

- 1-61. 「今回の授業では、カオスに至るメイの生態系モデルについて少し理解できたような気がする。そして、ソフトに関してだが、私のパソコンでは、何回やっても全然起動せずに、どうかなってしまい、強制終了しかできなくなってしまった。」
- 1-62. 「以前の授業で紹介のあったメイの生態系モデルを PlatBox Simulator 上で動作させてみた。初期値の小さな変化にモデルが鋭敏に反応する様子を、実際に出力されたグラフを見て感じる事ができた。今後もカオスへの理解を深めていきたい。」
- 1-63. 「PlatBox Simulator の使い方がやっと分かってきたと思う。これからもっと使い込んでもっといろいろなところで活躍させたい。カオスの発生がこんなにも細かいところで区別されるのかと思っていたが、グラフにしてみるとすごく分かりやすかった。」
- 1-64. 「今回のシミュレーションではコントロール・パラメータ a が少し変化するだけで、大幅に結果が変わってしまいました。また、一見でたらしめに見えるカオスもところどころに周期性が現れてくるという性質が大変興味深かったです。このソフトはいろいろな場面で応用が利くと思いますので、これからも是非利用していきたいです。」
- 1-65. 「とにかく使用したソフトウェアの使用にてずりました。内容の理解としては、リアルタイムで動くグラフが非常に分かりやすく、助かりました。実際に動かしてみても理解が増したと感じました。」
- 1-66. 「まずまだシミュレータが使いこなせていないというのが正直なところだ。数値を変えたとほんの少しの差でも、グラフの形は大きく変わるということは分かるが、簡単な操作をするだけなので、いまいち手応えを感じることができなかった。しかし逆に、数値をほんの少し変えるだけでも、グラフは大きく変化し、カオスが生じるということとはとても興味深いことであると感じた。しかしいまいち理解できていない。また今回、実験したデータがうまく取り込めなかったり、うまくいかなかったため、考察することができなかった。ぜひ mac でも使えるようにしていただきたいです。」
- 1-67. 「カオスがいつ生じるのかを学んだ。グラフを利用することによって目でカオス現象を確認することができてカオスを理解するのにつながったような気がした。また上記のような現象が生じるのは a がどのような値をとるかによって決まるということが分かった。」
- 1-68. 「a 値を変えるだけで、こんなにもグラフが変わるのかと驚きました。まだ分からないことがたくさんあり、理解に苦しんでいるので、次はもっと時間を費やし、事細かに調べたいと感じました。」
- 1-69. 「前回までの宿題や授業によって、アトラクタにどのような種類があるかは理解していたが、今回実際にグラフ化して自分で見比べてみたことにより、さらに感覚的につかむことができたと思う。この演習の結果をもとに私なりに分析してみると、おそらく x は、a の値が 1 以下のときはすぐに 0 になって「絶滅」とい

うことになり、1 から 3 のときはある一定の値で平衡状態となり、3 以上のときは最初の方は周期的になるが、値が上がるにつれてカオス状態となっていくのではないだろうか」

#### A.1.4 内省的認知(内容面)+内省的認知(方法面)

- 1-70. 「宿題の作業を通じて感じたことは、値を少しずつ変えてあてはめていくのは、少々手間がかかる作業だが、得られることは多い、ということ。特に少子化や高齢化など、人口が問題として取り上げられることが多くなった現在、こうしたシミュレーションは非常に有意義だと感じた。他には、現実社会で a の値がどのようにして決められるのかが気になった。」
- 1-71. 「今回は初めて PlatBox Simulator を動かしてみた。最近、複雑適応系の本を読み、複雑なシミュレーションを実行するには、C言語などが必要だと書いてあったが、このソフトなら自分で使用できそうだと自信が**ついた**。またもともと入っている「世界」を動かしてみようという段階であるが、今後このソフトがどこまで思い描くモデルを実現できるか、そしてどのように自分の研究領域に応用できるかを考えていきたいと思う。カオスというのは、非常に不思議な状態である。グラフをみてみると、何度も 0 に近づいている(絶滅しかかっている)。このような生態系は本当にあるのだろうか。生態学に詳しくないので、現実をどれだけモデル化できているのかには、疑問が残る。」

#### A.1.5 内省的認知(内容面)

- 1-72. 「今回の作業で、カオスというものは、値を少し変えただけで劇的に形が変化するという、デリケートなものであると感じた。実際の生物が何らかの外的要因(木の伐採など)で生態系が劇的に変化するのモヤモヤをえなさいということであることを実感した」
- 1-73. 「今回の講義の内容が、宿題をやってみてよく分かっていないことが分かった。」
- 1-74. 「初期値が誤差に鋭敏であるということは、カオスであふれている現実世界はつねに予測不可能であり、それを解釈することはとても困難であるということを再確認させられた」

#### A.1.6 内省的認知(方法面)

- 1-75. 「(収束する a の場合は)初期値が 0.1 でも 0.9 でも同じ結果になるんですね。言われてみれば特性上当たり前のことなんですけど……。グラフいじってたらなぜか重なり合ったグラフができてしまったのであせってたら、そんな当たり前のことに気がきました。もっと考えてグラフを操作するということが大事なのだと思います。」
- 1-76. 「今回の演習で、パラメータを調節することで、結果を観察するという、シミュレーション データ考察 パラメータ調整 シミュレーションという流れを実感できたと思います。」
- 1-77. 「今まで、机上だけでカオスというものを考えてきたために、狭い思考に陥っていたということを改めて実感した。というのは、カオスを関数の振舞いとしてとらえたとき、カオスは大きな意味を持つからである。すなわちそれは、関数の振舞いとして、今まで自分が理解していた、収束、振動、単調増加、単調減少以外の振舞いに対しての、定義づけが可能になったということである。今回のようにカオスを言葉だけで考えるのではなく、視覚的に理解すること

はカオスの理解に対し、大きな役割を果たしていると思った。」

#### A.1.7 それ以外

- 1-78. 「パソコンの扱いはやっぱりとても大変だと思いました。でも複雑系のこととかはパソコンを使わないと分からないので、やっぱり複雑系のことをよく理解するには難しいパソコンの操作をちゃんと覚えなきゃあと思いました。あと今回の課題についてなのですが、ホントによく分からなくて、とんちんかんな解答してたらホントにごめんなさい。一応自分なりにがんばったつもりなのですが、全然課題できてないかもしれないです。でも!頑張りました!」
- 1-79. (感想なし)

#### A.2 待ち行列モデルへのフィードバック・コメント

- 2-1. 「今回コンサルティングを行った結果、1つの企画ではどこかでネックの部分が出てきてしまうが、様々な企画を相互的に作用させることで、全体の待ち行列が全体的に削除できることが分かった。1つの企画で結果がどうなるかは大体予想がつくものの、それがすべて組み合わさったときに、どのような挙動を示すか、その予想を可能としたのがコンピュータシミュレーションであることを、身をもって実感した。」
- 2-2. 「私は実際に空港という場所に行ったことがないため、各クラスの別もつかなかった。しかし、今回のシミュレーションにおいて、ビューアに分かりやすさに基づきぶん助けられた。見た目が簡素なので、どこをいじったらよいか分かりやすく、シミュレーションもしやすかった。今回の空港の待ち行列の混雑解消において、様々な要因によって混雑が作り出されていることを知り、またそうした混雑も様々な設定の差異により解消できるものであることが分かった。」
- 2-3. 「以前「ザ・ゴール」を読んだときに、登場人物がボトルネック解消に苦心していた様子を疑似体験できて面白かった。」
- 2-4. 「今回の授業では、空港の待ち行列を題材として、カウンタの数を変えてみたり、時間や、人数を変えてみたり、とても楽しかった。今回の課題も、課題をやっているという義務感はほとんどなく「PlatBox Simulator」を利用してゲームをしている感覚でとても楽しくできた。また、シミュレーションとはなにかという話など、先生が授業中にされていた話を思い出しながら課題をやっていたため、本当にシミュレータになったようなかじで課題を完成させることができ、とても楽しかった。」
- 2-5. 「非常におもしろい課題だった。「シミュレーションすることによって初めてわかることがある」という言葉の意味がよく理解できた。」
- 2-6. 「実際に空港における待ち行列でパラメータなどを変えながら、数値をいろいろ変える前に、自分の頭の中でも『この数値をこうしたら、こういう風にかわるのではないか』というように、空港の行列を思い浮かべ、想像で動かし、簡単なシミュレーションをしていたことを自分で意識し、体感することができた。その頭に描いた仮定を実際にシミュレーションで変えて動かしてみても、そこから信憑性のある具体的な数値を得ることで、説得力のある現象の起こった原因を主張できるのだと思った。」
- 2-7. 「まだ見ぬものを完全に予測することは不可能だとしても、暗闇に光を照らせば、手探りで道を切り開い

ていける可能性がでてくる。そのような意味でとらえたとき、私にはシミュレーションというものが本当の意味で「世界を開く」ための手段のように思えてきた。やや大げさかもしれないが、そんな学問の神秘性を感じさせてくれたのが、今回の授業と宿題だと思った。」

### A.3 鳥の群れモデルへのフィードバック・コメント

- 3-1. 「シミュレーションを視覚的にとらえることができたことが、とても興味深かった（中略）鳥の動きをシミュレートしてみて、とても感動した。」
- 3-2. 「鳥がなぜ群れているのか「本当に不思議だね」という域で、鳥の気持ちにならないと分からないだろうという意識だったのだが、複雑系によって鳥の群れがシミュレートされていたため、夢中になっていじってしまった。」
- 3-3. 「PCの中でまさかこれほどまで現実っぽい鳥の集団を作れるとは思っていませんでした。なので、最初に boid を起動させたときは感動しました。さらに自分のパソコンで速度などを自由に変化させたりして、もう一度感動しました。」
- 3-4. 「鳥の群れのシミュレーションでは、実際に鳥が群れるところがみられ、群れは何か全体として動きが決まっているのではなく、個々の動きによってできているのだと分かった。シミュレーションは、立てた仮説を実際に動かして現実と比較することができるので、その対象への理解が深まりとても有効的だと思った。」
- 3-5. 「今回の講義ではその一種である Boid のシミュレーションを行ったのだが、模倣でなく実際に群れを成している、と言われるだけあって、その動きはとても自然なものであった。私は知らずの内に、頭の中で三角を鳥に変換して、パソコンの画面で、空を飛んでいる鳥たちの姿を見ていた気がする。それはまったく息づくように鮮やかな映像であった。」
- 3-6. 「昨日鳥の群れをたまたま見ました。Boid でした!!」

### A.4 セルオートマトンモデルへのフィードバック・コメント

- 5-1. 「実際に 1 次元セルオートマトンの体験をしてみてよく理解することができた。」
- 5-2. 「セル・オートマトンを授業中に取り扱ったが、聞いていただけではイマイチ理解しづらかった。やはり公式とかがでてくると苦手意識から拒否反応が無意識的に出てきてしまうのだろうか……。しかし、実際課題をこなすことによって、自分の力でまとめてみるとじっくり時間をかけて理解することができるので、非常に面白いシステムだと分かった。」
- 5-3. 「セル・オートマトンの実験はとても興味深かった。あれだけのパターンをシミュレーションすることで、あれほどの振舞いが観察されるのはとても面白かった。しかもそれがフラクタル構造を持ったり、さらに何かの模様のようにになっているのはとても驚いた。しかもその模様は「模様を作ろう」というてきたのではない。ある法則にしたがったシステムの中でできているのである。自然界の模様が、たとえばある法則のシステムの中で描かれているのだとしたら（たとえば、遺伝子にそのシステムが書かれている）、「世界は記述されている」のかも知れない、とってしまう。」

### A.5 協調的問題解決モデルへのフィードバック・コメント

- 6-1. 「自律分散協調の考え方をうけると、N クイーン問題が協調的にボトムアップで解けるというのが興味深く、とても分かりやすく自律分散協調のシステムを「体験する」ことができた。そのため、個々はバラバラではなくて相互に作用しているという考え方をすることができるようになったと思う。」

### A.6 成長するネットワークモデルへのフィードバック・コメント

- 9-1. 「研究の概要は知っていました。それを今回のように実際シミュレーションを動かしながら体験したり、直接解説を受けてみると、より理解が深まり勉強になりました。」
- 9-2. 「PlatBox Simulator を使ったことによって、より具体的に、実感をもたせてべき乗則を理解することができたと思います。」
- 9-3. 「べき乗則の考え方を理解するのに少してこずりましたが、グラフで見て実際にそうなることが分かりました。それをシミュレーションを行い円に表示した場合にも見てとることができました。」
- 9-4. 「今回の授業では、人々のリンク数とランキングがべき乗則になるということが発見できて興味深かったです。考えてみれば分かることですが、人々とのリンクが多いほどまたそこからつながっていく人々も多く、その経過でハブという中枢の存在も発見できました。PlatBox Simulator を使って実際にノードとリンクが変化していくのを見て複雑系から人間のつながりを見られて面白かったです。」

### A.7 ニューラルネットワークによる学習モデルへのフィードバック・コメント

- 7-1. 「PlatBox を用いてシミュレーションを行ってみて、ニューラルネットワークのモデルがシミュレーションが進むにつれて、学習していく過程が目に見えて分かりやすかったです。重みがかわっていく過程がよく分かりました。」
- 7-2. 「今日の授業の内容は少し難しく、若干分からなかったことがありました。しかし、実際にモデルの数値を変化させて実験をしてみることで、どのようにして動いているかについて理解できました。適度の学習係数を決定しなければならない理由や中間層の個数との関係もよく分かりました。」
- 7-3. 「自分で実際にシミュレーションの初期設定を変えたりして観察したことが、大変理解の助けになりました。もし自分でやってみなかつたら、あまり消化できぬまま授業を終えてしまうところでした。」
- 7-4. 「実際にモデルを動かしてみると、どの数値をどのように設定すれば学習効率が高まるのか、あるいは低くなるのかがよく理解できました。設定値を変えるとあきらかにグラフに違いが出るので、シミュレーションを動かして、とても楽しかったです！モデルを動かしてみても初めて分かることがたくさんあったので、勉強になりました。」

### A.8 遺伝的アルゴリズムによる進化モデルへのフィードバック・コメント

- 8-1. 「遺伝的アルゴリズムとは生物の進化のモデルを構築する際に使うアルゴリズムだと思っていました。し

かしそれは違っていて、生物の遺伝のメカニズムを模倣した計算手法だということが分かりました。授業でありましたが、進化経済学というものが気になります。徐々に戦略をかえて進化していくというとらえ方でモデリングをする、今までは生物学ばかり学んでいましたが、これからはさまざまな分野に關して勉強していきたいと思いました。」

#### A.9 カオス結合系モデルへのフィードバック・コメント

- 4-1. 「わたしは理系ではないので、関数を結合して、というあたりで正直理解できないのではないかと内心おびえていたのだが、非常に分かりやすかった。なかでもシミュレータのソフトを用いた引き込み現象とそこからのばらけについての説明は、視覚的にもカオス結合系というものの振舞いを理解するのに非常に役立った。」

#### A.10 世界の見え方の変化についてのフィードバック・コメント

- 10-1. 「今まではただ「ここにある事実や現象」として認識していたことを、システムとしてとらえ、そのシステム内に存在するルールや秩序について考えられるようになりました。」
- 10-2. 「モデリングシミュレーション入門を受講することで、1つの事象はそれ単体で存在するのではないことを意識するようになり、それによって実際の生活の中でも「部屋が汚れるメカニズム」や「私が遅刻するメカニズム」などと、一見くだらないことを考えることで自分の実際の生活を分析・客観視することにもなった。シミュレータこそないものの、部屋が汚れるメカニズムでは、私の心理尺度と帰宅後の復習の心がけ、その週に買ったものの数と部屋に帰る平均時間によってかなり影響を受けているのではないかと思われ、「今週はこうだから、ちょっと心がけねば」と思ったりしている。モデリング&シミュレーションによって、多くの事象がその要素の分析によってモデリングでき、シミュレーション可能であり、その各要素を変化させることで結果が変わっていくことを認識したことは、これからの物事に対する考え方1つ1つにおおきく関わってくるだろう。」
- 10-3. 「私たちが今住んでいる世界を新しい見方で見るができるようになった。世界はいろいろな仕組みでできているものもある、ということに気づき、複雑系というものに興味がまた湧いてきた。そして、それと同時に結果を予測する能力が多少備わったような気がする。PlatBox Simulatorでシミュレートをしているとき、World Initializerで数値を変え、結果を見るまでに、自分である程度予測がつけられるようになったのだ。ただ漠然とPCに計算させるのではなく、自分でもその仕組みを理解し、結果を予測すること、どんどん機械が便利になっていくこの時代の中では、非常に大切な能力の1つだと私は思う。」
- 10-4. 「モデリングシミュレーションの授業は、今まで理系教科が苦手だった私にとって、毎週驚きの連続でした。シミュレーションってやたら難しく理解しにくくて、計算が得意な頭のいい人たちだけのものではないんですね！日々、毎秒毎秒つねに変化し続ける世界に生きている私たち全員にとって必要で、そしてこ

の世界を理解しやすくしてくれるものだと知りました。実際に考え方が変わった点としては、根本的に世界のとらえ方が変わりました。今まで、世界という現実は自分自身の外部にあって、自分が影響を与えられるものではなく、ただそこにあるものとして受け入れなければいけない対象なのかと考えていました。少し抽象的ですが、私にとって世界は①自分なりにシミュレーションすることでその全体像をとらえられること、また②自分からも多くの影響を与えていて、自分の小さな行動1つで世界の動き方が変わることは感動でした。このことは単なる、授業や勉強の範囲としてだけではなく、私の生き方として、大きな変化でした。私はこれから生きている中で、ただ単に現状を受け入れる人間にならないと思います。インドで蝶が舞うと中国で竜巻が起きるといったように、小さな変化も世界に変化を起こしようという事実を知った今、今まで世界を自分の手の届かないものだと思えなくて生きてみようと思いました。大げさではなく、モデルを操作しシミュレーションさせてみるということは大きな変化を与えました。」

#### A.11 モデルの重要性への気づきについてフィードバック・コメント

- 11-1. 「私がこの授業で「気づいた」ものの1つに、次のものがある。それは、モデルとして社会を見ることができるといふことの「気づき」である。社会というものは非常に複雑な要素から成り立っており、それを概観することはできても、理解することは難しい。実際に私も、勉強するにおいて、社会というものを勉強することは不可能なのではないかとずっと思っていた。だが、そうではなかった、複雑な社会という事象は実は、モデル化という行為を通すことで、理解できることがあるということに気づいた。これは、つまり事象を抽象化してとらえているということである。ここに、私の第2の「気づき」がある。それは、私たちは、知らず知らずのうちに、事象をモデル化して考えているということである。これを授業で習ったときは、衝撃的であった。」
- 11-2. 「講義の中で最も私にとって重要だと感じたことは、モデルというものが、人間に与える影響であった。モデルとは、人々の思考の手助けをするものという概念はこの講義を受ける前から何となく、どこかで聞いたことはあったが、この講義で、モデルを操作したりすることによりその事実が強く再認識されたし、さらに、モデルを実際に自分で操作することにより、モデル化した対象についての理解を深めることができるという意義があることも非常に興味深く、ためになった。このようにモデルの重要性を再認識できたことにより、それが、将来行き詰まったときに「モデルを使おう」という考え方にいたるインセンティブにもなったと思う。これからはモデル、人の思考を助けるもの、を積極的に考え、使用していこうと思う。」
- 11-3. 「新しいモデルによって今まで分らなかった現実世界のシステムが理解できるようになる(かももしれない)ということがこの授業を履修して一番に残っていることである。というのも、履修前はモデル化というのは現実世界でメカニズムが分かっているものを分かりやすくまとめることだと思っていたからである。私にとっての新しいモデル化の概念は、これから未知のものにぶつかっていく際に大きく役立ちそうである。」

- 11-4. 「先生が「もしシステムを本当に理解しているのならモデルを作れるはず、逆にモデルを作れなければ本当にシステムを理解しているとは言えない」と述べられていたが、世界には人間がまだ解明できない「不思議なこと」が星の数ほどある。それらの謎を解かない限り、人間の手によって作られるモデルは決して完全なものとは言えない……と、途中まで私は思っていたのだが、今となってはこんな考え方は無意味でずれたものであったと思う。なぜならモデリングシミュレーションが志しているのは「モデルの改良」ではなく、「(シミュレーションの結果を生かした)世界の改良」なのだとは感じたからである。たとえばもしも将来、完全な鳥の群れのモデル化に成功したとしたらそれはそれでとても凄いことであるが、その結果が現実世界に役立たなければ何の意味もない。つまりモデルの完成が目的でなく、あくまでもその結果として得られた情報・発見を現実世界に役立てることが目的なのだと思う。モデリングシミュレーションは《不完全な知識を持った人間の手で不完全なモデルを作る シミュレーションによって不完全な人間の知識に新しい発見をもたらされる 得られた発見を現実世界に役立てる 以前より少しだけ進化したモデルを作り、さらなる発見が生まれる …》というパターンの果てしない繰り返し、地道な世界の改良作業ではないだろうか」

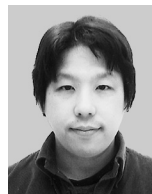
#### A.12 シミュレーションプラットフォームについてのフィードバック・コメント

- 12-1. 「同じソフトの中でも毎回異なるテーマのシミュレーションを体験でき、それによって毎回少しずつ考え方を応用できるのがよい」
- 12-2. 「まず言えるのは、実際に授業中の演習や本課題への取り組みを通して、「PlatBox Simulator」の操作にだんだん慣れてきたということ」
- 12-3. 「PlatBox Simulator の使い方、授業中の実践に加えて、今回の宿題なども手伝って、自分ではかなり慣れてきたように感じています。このソフトウェアの面白さや画期性も分かってきて、今後の授業がますます楽しみになってきました」
- 12-4. 「口頭説明や文章・数式のみでは今ひとつ分かり難かった内容もモデル化することによってずいぶんと分かりやすく感じられ、また毎回あらゆるものがモデル化・シミュレートされるので、今回はどんなモデルが登場するんだろう？といつも密かに期待していた」

(平成 19 年 5 月 1 日受付)

(平成 19 年 8 月 21 日再受付)

(平成 19 年 9 月 8 日採録)



井庭 崇 (正会員)

1974 年生。1997 年慶應義塾大学環境情報学部卒業。2003 年慶應義塾大学政策・メディア研究科後期博士課程修了。博士 (政策・メディア)。千葉商科大学政策情報学部専任教員

(助手)、およびフジタ未来経営研究所リサーチフェロー等を経て、現在、慶應義塾大学総合政策学部専任講師。共著書に『複雑系入門』、『総合政策学の最先端 IV』、『進化経済学のフロンティア』、『創発する社会』、共訳書に『社会シミュレーションの技法』等。進化経済学会、社会・経済システム学会、日本社会学会各会員。