第1章　本論文の目的と概要

1.1　新しい思考の道具をつくる

本論文の目的は、社会・経済を分析するための新しい思考の道具を提案することにある。この思考の道具は、「組織化された複雑性」の領域にある社会・経済現象を、複雑系のシステム論的アプローチで取り組むことを支援するものである。社会のような組織化された複雑性をもつ対象は、従来の解析的方法や統計的方法では理解が困難であるといわれているが、本論文では、システム論的な捉え方とコンピュータ・シミュレーションによってアプローチすることを目指す。

社会・経済システムの研究は、同時代のシステム論からの影響を受けつつ発展してきており、近年「複雑系」(complex system) と呼ばれるシステム観が重要視されはじめている。しかし現在のところ、「複雑系」という用語について確立された定義や明確な合意があるわけではない。そこで本論文では、複雑系研究の現状を踏まえ、「広義の複雑系」と「狭義の複雑系」という二つの定義に分けて整理することにする。第一の定義である「広義の複雑系」とは、「内部状態をもつ構成要素が多数相互作用するシステム」のことである (図 1.1)。そして、第二の定義である「狭義の複雑系」とは、上記の定義の中でも特に「構成要素の振舞いのルールが動的に変化するシステム」のことである。いずれの場合でも、複雑系の構成要素は原子論的な意味でのアトムではなく、内部状態をもつという点に特徴がある (図 1.2)。これは、「分解を推し進めることによって、最終的には不変の最小単位に到達する」と考える物理学とは異なる立場をとることになる。このシステム観は、特に社会・経済や生命を理解する上で不可欠であると近年考えられている。

ところが、現在「広義の複雑系」および「狭義の複雑系」として社会・経済を分析するための有効な方法と道具立ては存在しない。社会システム論では、システム論的な捉え方の重要性を早くから訴えてきたが[(1)]、記述したモデルを操作するための具体的な道具立ては提案されていないのが現状である。また、シミュレーションの分野では、「広義の複雑系」の支援システムがいくつか提案されているものの、「狭義の複雑系」については未だ有効な支援がなされていない。その結果、有効な方法と道具立ての不在が、研究の進展を困難なものにしているということ、そして今後その問題がさらに深刻化するということが、本論文の基本的な問題意識である。

このような現状に対し、本論文では、そのモデル記述の方法としてオブジェクト指

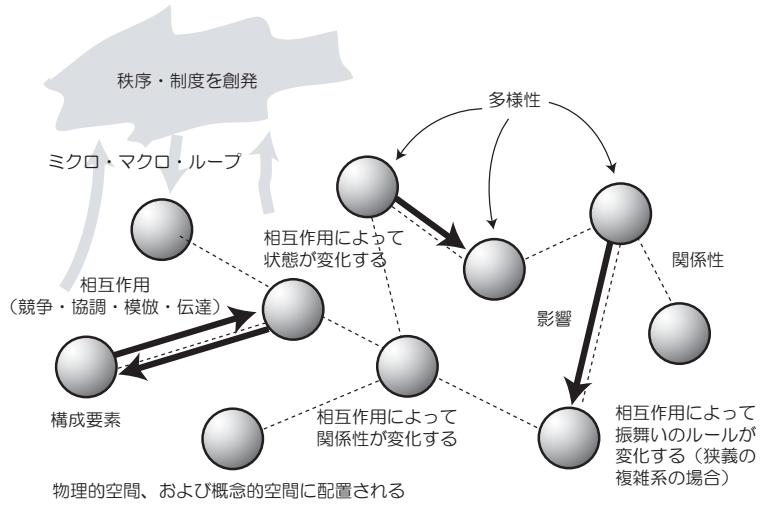

図 1.1: 複雑系のシステム観 (第 2 章より)

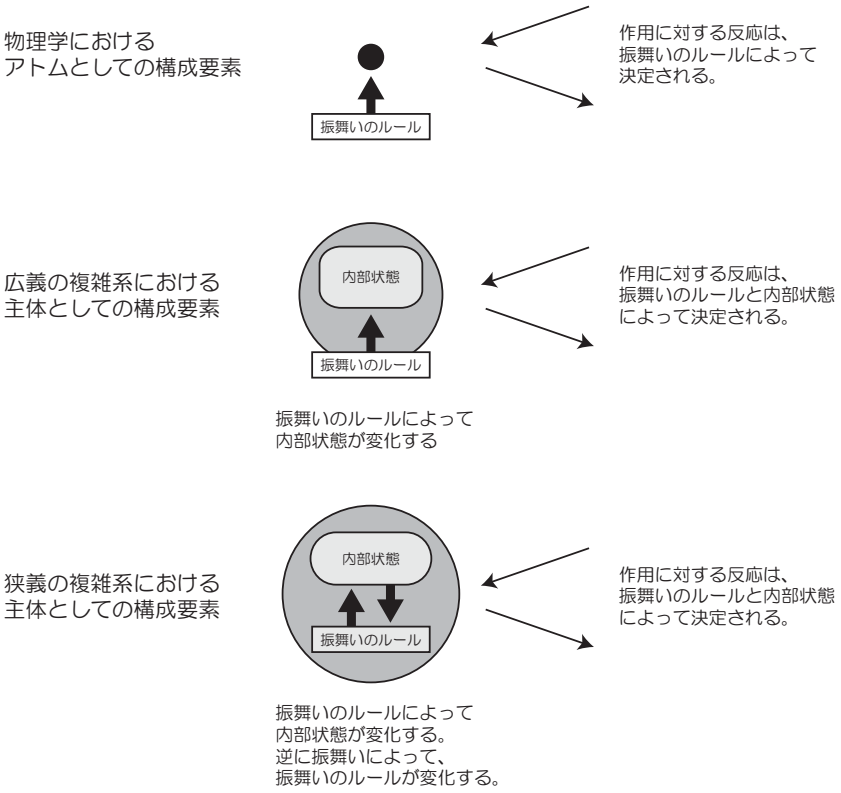

図 1.2: 物理学、広義の複雑系、および狭義の複雑系における構成要素の特徴 (第 2 章より)

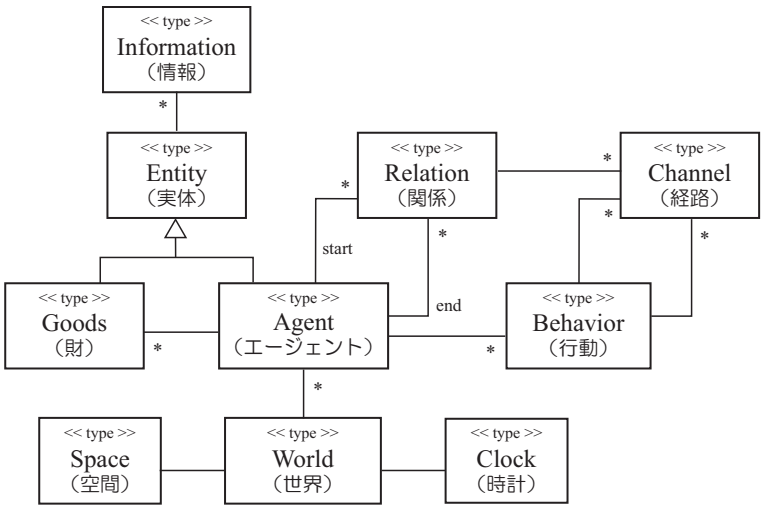

図 1.3: BEFM 概念モデル・フレームワークのクラス図 (第 4 章より)

向計算モデルによる記述を採用し、「広義の複雑系」および「狭義の複雑系」としての社会・経済を記述するためのモデル・フレームワークを提案する。また、そのフレームワークに基づくコンピュータ・シミュレーションを作成・実行するためのソフトウェア、および動的な振舞いの記述を支援するモデル・パターンを提案する。本章では、本論文における重要な論点を先取りして、その概要提示することにしたい。

1.2 モデル・フレームワークの提案

本論文では、複雑系の社会・経済モデルを記述・操作するために、基本枠組みとしてオブジェクト指向計算モデルを導入する (第 3 章)。そして、基本となるモデル要素を定義し、モデル化からシミュレーションまでを一貫して支援するモデル・フレームワークを提案する (第 4 章)。

モデル・フレームワークとは、社会・経済のモデルを記述する際に、頻繁に登場する要素と構造を定義したメタモデルのことである。モデル・フレームワークには、モデルの概念レベルの「概念モデル・フレームワーク」と、プログラムの実装レベルの「シミュレーションモデル・フレームワーク」の 2 種類がある。モデル作成者は、モデル化しようとしている対象が「どのようなものであるか」(What) を洗い出し、記述する際に、概念モデル・フレームワークを用いることができる。また、概念モデル・フレームワークがシミュレーションモデル・フレームワークと一貫性を有することから、シミュレーションモデルへの移行をシームレスに行うことができる。

本論文で提案するモデル・フレームワーク「Boxed Economy Foundation Model」は、オブジェクト指向計算モデルによって、複雑系としての社会・経済を記述するためのフレームワークである (図 1.3)。エージェント間の相互作用を、財 (情報が付随す

ることがある) のやりとりとして明示化するという点と、エージェントの行動を、エージェントとは別のモデル要素として定義するという点に特徴がある。このようなエージェントの設計は、新しい行動の追加や削除、そして行動の組み換えなどを簡単に行えるという柔軟性がある。したがって、「振舞いのルールに従って状態が変化する」だけでなく、「状態の変化によって振舞いのルールが変化する」という「狭義の複雑系」のモデルも表現できるようになる。

1.3 シミュレーション・プラットフォームの提案

本論文では、複雑系としての社会・経済のシミュレーションを作成・実行・分析するためのソフトウェア「Boxed Economy Simulation Platform」(図 1.4) を提案する (第 5 章)。Boxed Economy Simulation Platform (以下、BESP) を用いることで、提案モデル・フレームワークに基づくモデルのシミュレーションを作成・実行・分析することができるようになる。

BESP が目指しているのは、研究プロセスを一貫して支援するための統合環境を提供することである。このような統合環境の支援によって、「モデルの作成」から「実装」、「実行」、「評価」、「現実との比較」というプロセスをシームレスに、かつ効率的に行うことが可能となる。時々刻々と変化していく社会・経済を up-to-date に捉えていくためには、モデルを迅速に作成し、実行・分析することが重要となるが、BESP ではそのための工夫がなされている。

BESP では、モデルのコンポーネント (部品) を組み合わせて、シミュレーションを設定できる仕組みになっている (図 1.5)。シミュレーションは、複数のコンポーネントの組み合わせによって動作するが、それぞれのコンポーネントは、独立して理解したり作成したりすることができる。今後作成したいモデルが複雑かつ大規模になるにつれて、一つの研究グループでモデルのすべてを作りきれなくなると予想されるため、コンポーネントの再利用性はますます重要になるだろう。

また、BESP では、シミュレーションを作成する際のプログラミングを大幅に軽減させる支援ツールも提供している。BESP とともに提供している「コンポーネントビルダー」は、 Behavior の状態遷移図を作成すると、モデルコンポーネントのプログラムコードを自動生成してくれるツールである。このツールを用いると、シミュレーションにおいて最も重要であるがプログラミングが難しい「動的な振舞い」についてのプログラミングをしなくて済むので、複雑なモデルも比較的容易に作成できるようになる。また、BESP 本体が提供するさまざまな機能 (例えば実行や制御に関する部分) は、すでにプログラミングされているため、シミュレーション作成者がプログラミングする必要はないということも、プログラミング作業の軽減や品質の向上に寄与している。

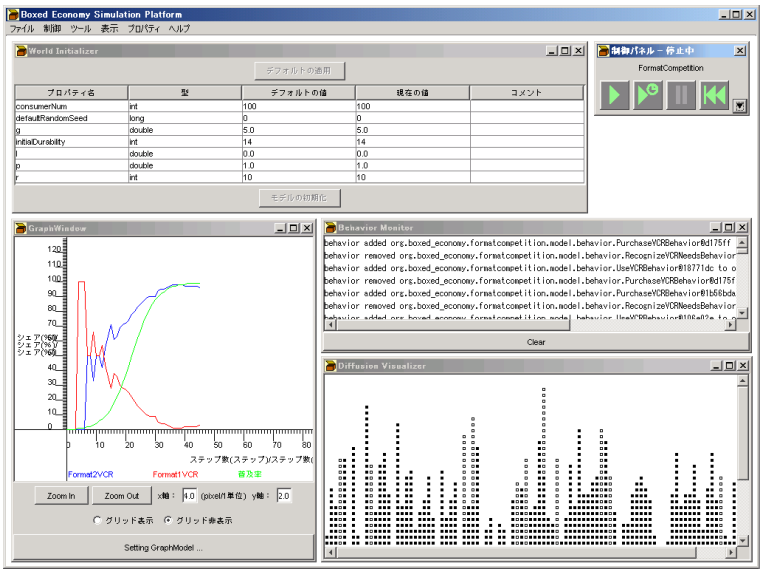

図 1.4: Boxed Economy Simulation Platform (BESP) の画面 (第 5 章より)

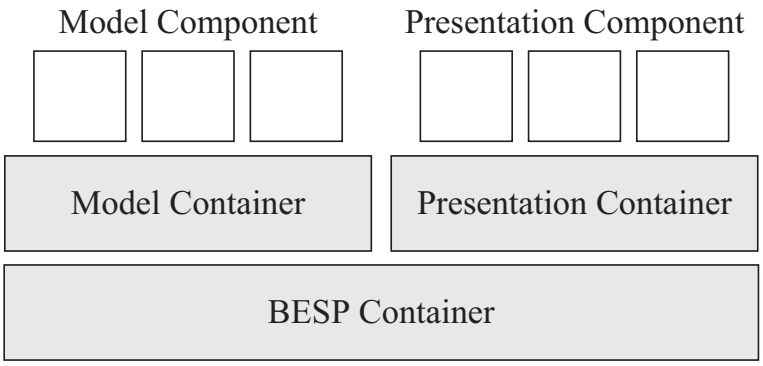

図 1.5: BESP の内部構造 (第 5 章より)

1.4 モデル・パターンの提案

本論文では、動的な振舞いの構成方法のノウハウを、モデル・パターンとして記述することを提唱し、実際に重要だと思われるモデル・パターンを提案する (第 6 章および付録 C)。モデル・パターンとは、モデルを構成する部分部分の「組み立て方」に関する知識である。パターンの考え方は、もともと建築デザインのために考案され、その後ソフトウェア・デザインに取り入れられたものであるが、本論文では、そのパターンの考え方をモデル・デザインに応用することを提唱する (表 1.1, 図 1.6)。

モデル・パターンは、モデル・フレームワークと異なり、それを必ずしも採用する必要はない。モデル・パターンのなかには、お互いに対立するものも含まれており、モデル作成者は、代替案の中から選びながらモデルをつくることになる。

表 1.1: 本論文で提案するモデル・パターン (第 6 章より)

モデル・パターンの分類	モデル・パターン名
エレメンタリーなモデル・パターン	Agent Creation Relation Creation Related Agent Creation Agent Destruction Goods Creation Information Creation
コミュニケーションのモデル・パターン	Information Sending Blank Information Sending Internal Information Sending Immediate Reply Collect Immediate Replies Appointed Destination Reply Super BehaviorType Calling
行動変化のモデル・パターン	Behavior Creation Behavior Destruction Behavior Switching Temporary Behavior Attachment Requested Behavior Attachment Forced Behavior Attachment
アクティベーションのモデル・パターン	TimeEvent Distributer Agent TimeEvent Filtering TimeEvent Distributer Behavior Time-Consuming Behavior

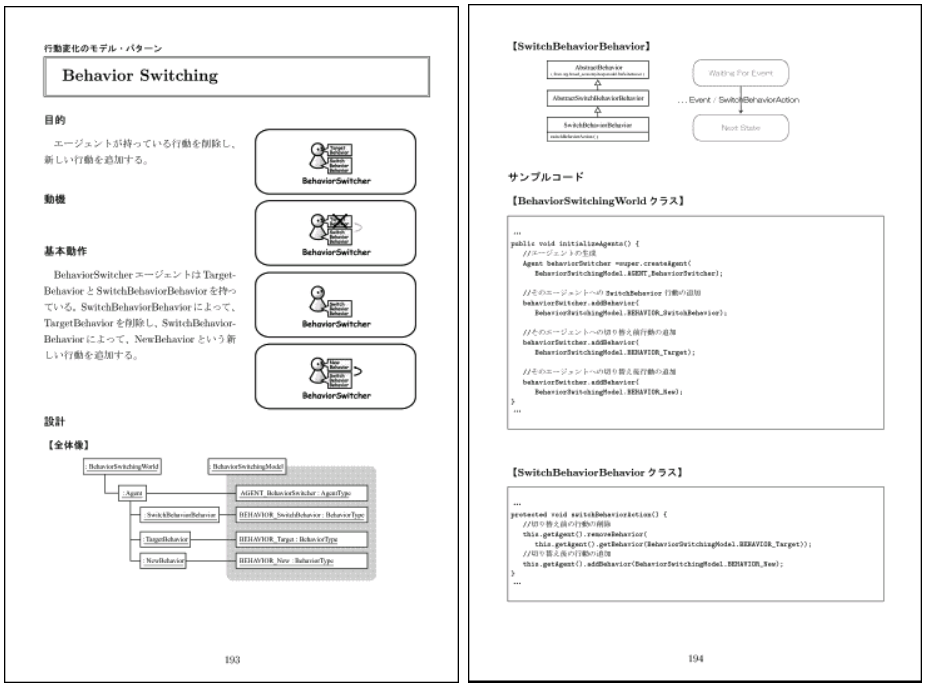

図 1.6: カタログ形式で記述されたモデル・パターンの例 (第 6 章より)

1.5 提案システムの適用事例

1.5.1 既存モデルの再現

本論文の提案 (モデル・フレームワーク、シミュレーション・プラットフォーム、モデル・パターン) の適用可能性を明らかにするために、それらを用いて既存モデルを複数作成する (第 7 章)。取り上げるモデルは、(1) 成長するネットワークモデル、(2) 繰り返し囚人のジレンマモデル、(3) 貨幣の自生と自壊モデル、(4)Sugarscape モデル、(5) 人工株式市場モデルの 5 つである。これらは、社会・経済シミュレーションの典型的な特徴を備えた代表的なモデルである。

成長するネットワークモデル: 関係とエージェントの動的生成

成長するネットワークモデルは、社会ネットワークの分野におけるモデルである。この分野は近年、スケールフリー・ネットワークという新しいネットワークの表現方法の研究が進み、注目を集めているが、そのスケールフリー・ネットワークの生成モデルを取り上げる。提案システムでは、ノード (Agent) の追加やリンク (Relation) の追加が容易であることから、このようなモデルに対して有効であることを示す。

繰り返し囚人のジレンマゲーム: 行動変更による振舞いの変化

繰り返し囚人のジレンマゲームは、政治学等で非常によく用いられる分析枠組みである囚人のジレンマを、繰り返し行うゲームとして展開したものである。ここでは、戦略を Behavior の状態遷移で直接的に記述する。また本論文では、試合やコンテストの結果から、自分より強いプレイヤーの戦略を模倣するという拡張を行い、マクロ情報がある場合とない場合の振舞いの違いについて分析する。この戦略模倣シミュレーションでは、プレイヤー (Agent) が戦略 (Behavior) を状況に応じて切り替えるという「狭義の複雑系」のモデルを実現している。

貨幣の自生と自壊モデル: 段階的なモデル拡張

貨幣の自生と自壊モデルは、商品の物々交換社会において、他者の欲するものを記憶として持たせることで、貨幣の機能を果たす商品が登場するということをシミュレートしたものである。ここでは、エージェントに対して、Behavior を追加・組み替えを行うことによって、モデルの拡張が可能であることを示す。

SugarScape モデル: 環境のエージェント化

SugarScape モデルは、砂糖が生成される 2 次元セル平面上で、蟻のようなエージェントが移動しながら砂糖を採取・消費し、取引を行うというモデルである。このモデルは、2 次元セル空間による社会シミュレーションの枠組みを広く普及させた代表的なモデルである。ここでは、砂糖が生成される「環境」も、エージェントによって表現することができることを示す。

人工株式市場モデル: 情報変化による振舞いの変化

人工株式市場モデルでは、状況によって異なる行動をとるトレーダーを実現するため、クラシファイアシステムを導入したモデルを取り上げる。株式市場では、自分の戦略だけでなく、取引する他のトレーダーの戦略によって結果が異なるため、絶えず優位な戦略というものは存在しないことが観察される。ここで取り上げる SantaFe モデルの枠組みは、その後多くの研究で、代表的な人工市場のモデルとして取り入れられている。ここでは、Behavior の切替ではなく、戦略情報の内容によってエージェントの振舞いを変化させるモデルを実現する。

1.5.2 独自モデルによる分析

独自モデルとして、「家庭用 VCR の規格競争」のモデルを取り上げる (第 8 章)。このモデルは、家庭用 VCR の VHS 方式と Beta 方式の規格競争における、消費者間の相互依存関係を組み込んだ需要側の人工市場モデルである。提案した人工市場モデルでは、ミクロレベルのモデル化を行うため、従来のマクロ集計的なネットワーク外部性モデルでは分析できない局所性や逆転現象などが分析可能であることを示した。なお、このモデルの記述面における特徴は、エージェントが必要に応じて、行動を追加したり削除したりしている点である。