

オブジェクト指向プログラミング技術に基づいた 教育用社会シミュレータの試作

Trial Production of Social Simulator for Education Based on Object Oriented Programming Technique

田中法博*
Norihiro Tanaka

本稿では、社会科学系学生を対象とした教育用社会シミュレーションシステムの提案を行う。ここでは、学生が社会の構造やプロセスの概念をコンピュータ上でモデル構築することを支援し、さらに学生が作成したモデルが社会にどのような影響を与えるのかを即時に知ることができるようなフィードバックシステムを試作する。このシステム上では、学生が現実世界を模倣したモデルをコンピュータ上に構築し、その中で仮想の個体モデル（人等）を実際に動かしながら経済活動等の社会プロセスをシミュレートする。本システムでは、社会や個体といったシミュレーション上で必要な要素は、オブジェクトプログラミング技術に基づいてオブジェクトとして実装する。これらのオブジェクトは、クラスライブラリとして学生に提供し、学生はこのクラスライブラリを用いて社会のモデル化を行う。本稿では、このシミュレーションシステムの試作を行い、事例として商店と顧客の商品売買についての簡単な例をモデル化し、その振る舞いを調べる。

1. はじめに

近年の情報技術の普及はめざましく、様々な場所でコンピュータや情報ネットワークが導入されている。ここで情報化は、大きく分けて2つの方向性があることがわかる。

まず一つ目は、ワードプロセッサ、表計算、電子メール、情報検索といったように、コンピュータを従来の文房具の延長として利用するやり方である。一般的に情報化といえは、このように文房具の置き換えを意味することが多い。このことは、大学や高等学校でのコンピュータリテラシー教育が、これらの技術を学習させることを主目的としていることから分かる。

次に、2つ目は、情報技術そのものを、より積極的に活用していく方法である。現代の社会は

年々複雑になってきているため、その全容を把握したり、分析を行ったりすることが難しくなっている。このため、情報技術を用いて社会で発生する様々な問題に対して、いろいろな方向から分析したり、問題解決に向けて意思決定を支援したりすることができれば、極めて有用である。そういった背景から、最近では人間の社会のような複雑なシステムをコンピュータを使って分析したり、振る舞いを予測したりする研究が盛んになってきている。

今後の社会の複雑化や情報技術の発展を考えれば、後者の技術は重要であり、情報化社会のなかで身につけていかなければならない素養であるといえる。しかしながら、こういった技術や能力を身につけることは容易ではない。これには、体系的な知識を学ぶことと同時に多くの経験を必要と

*産業社会学部助教授

する。

特に社会科学系分野の学問領域では、社会や社会現象から諸問題の本質を抽出し、モデル化することにより、問題解決に導いていく能力が必要となる。こういった学問体系を習得するための擬似体験をしたり、社会プロセスを分析したりするために社会シミュレーションを利用する方法が考えられる。これは、様々な社会プロセスをコンピュータ上に社会モデルとして実装してシミュレーションを行うものである。

まず社会シミュレーションの研究は、数学モデルによるダイナミクス系のモデルが発展した。このような社会シミュレーションの研究は1950年代から行われている。こういった研究は、Forresterが1956年にシステム工学の考え方を社会システムに導入し、微分方程式に基づいて社会や経済活動をモデル化するIndustrial Dynamics理論を構築したことから始まる。そして、1960年代に入るとこれらの理論は、コンピュータを用いて実践されるようになった。その後、Forresterは、この理論を応用して、1969年に都市の荒廃や再開発について記述するUrban Dynamicsを構築し、さらに1970年以降は、環境問題や資源の状況から世界全体の成長をシミュレートするためにWorld Dynamicsを構築した。このWorld Dynamicsを用いてローマクラブが石油資源が有限であることを世界に知らしめたことは良く知られている¹⁾。このIndustrial Dynamicsは、現在ではSystem Dynamicsと呼ばれており、様々な分野で利用されている²⁾³⁾。

Forresterの理論は、自らが開発したDYNAMO (Dynamic model) と呼ばれるシミュレータで記述され、企業等のセールス活動、取引、在庫管理といった経済活動だけでなく、資源予測、生態系の予測にまで用いられた。特に1980年代に入るとコンピュータの能力が飛躍的に向上し、こういった数学モデルに基づいた社会シミュレーションの研究は様々な分野での応用が報告されるようになった。

しかしながら、一般的に社会で発生している様々な問題を数学モデルで記述することは難しい。通常、研究の対象となる社会プロセスは、極めて大規模である。Forresterの方法では、社会全体を一つの系とみなして数学的にモデル化するた

め、社会を構成する集団や個体といったものの分離が難しいという問題がある。また、このようなダイナミクスに基づいたモデルは、多くの未知パラメータを含む非線形な差分方程式を解かなければならない。これらのパラメータ値は、経験的に決定されることが多く、その値の妥当性に疑問があった。しかも非線形な方程式の多くは解析的に解くことができないため、モデル式の解を求めることが難しかった。

こういった問題に対して、マイクロシミュレーションと呼ばれる方法が開発された⁴⁾。この方法は、実際にコンピュータ上に現実世界を模倣した社会モデルを構築し、その中で個体モデルを実際に動かして、その結果を調べるというものである。このシミュレーション技法によって、事象を直接シミュレーションできるようになったため、数学モデルによる記述が難しい大規模な社会プロセスをモデル化できるようになった。

さらに1990年代に入ると、複雑系理論に基づいて社会プロセスを考えていく研究が現れた⁵⁾。そして、コンピュータ上にエージェントと呼ばれる個体を配置し、そのエージェントの行動に基づいてシミュレーションを行うマルチエージェントシミュレーションと呼ばれる方法が提案された⁶⁾。ここでエージェントと呼ばれる個体は、マイクロシミュレーションで使われている個体より、より高度にモデル化されており、外部環境による内部状態の変化や個体間の通信といったことも考慮されるようになった。

社会科学を研究する者にとってこういった社会プロセスをモデル化する技術は、社会で起る様々な問題に対して、分析し、解決方法を導き出すために必要不可欠なものであり、また、このことは、学生教育においても重要なものとなる。そのため、実際の社会は非常に複雑であるため、モデル化を支援したり自分の構築したモデルが、社会にどのような影響を与えたのかを即時に知ることができるようなフィードバックシステムが必要となる。たとえば、Web上のシミュレータを利用して学生間で経営戦略競わせる演習を行っている大学が存在する⁷⁾。

本研究では、学生が容易に社会現象をモデル化できるように支援するマルチエージェント型の社

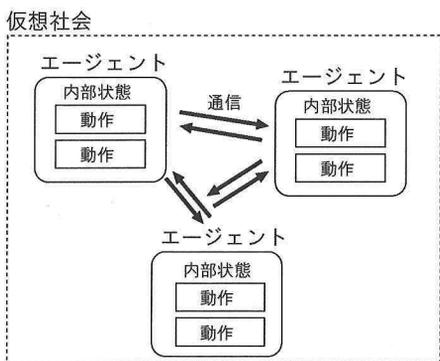


図1 マルチエージェントモデルを用いた仮想社会モデル

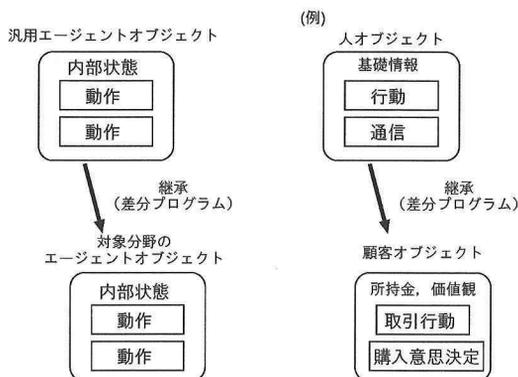


図2 エージェントの継承による対象分野エージェントオブジェクトの生成

会シミュレーションシステムを試作する。このシミュレーションシステムはオブジェクトプログラミング技術に基づいて、クラスライブラリとしてコンピュータ上に実装する。学生は、プログラミングをしながら、社会プロセスをモデル化する。そして、ここでは実験例として商店と顧客の商品売買についての簡単な例をモデル化し、その振る舞いを調べる。

2. シミュレーションシステム

本研究では、マルチエージェント型のシミュレーションモデルに基づいて社会シミュレーションシステムを試作する。ここではコンピュータ上に仮想社会を構築し、その中に会社や組織、個人等をエージェントとして配置する。図1は、マルチエージェントモデルを用いて表現した仮想社会のモデルである。

エージェントは、オブジェクトプログラミングに基づいてオブジェクトとして表現し、クラスライブラリとして実装する。このクラスライブラリは、階層構造を持ち、まず汎用のエージェントクラスがあり、このクラスの性質を継承しそれぞれ専用のエージェントを表現する。

図2は、エージェントの階層構造をモデル化したものである。また図2右側の例は、汎用の「人エージェントオブジェクト」から経済活動シミュレーション用の顧客オブジェクトを差分プログラムで表現している。ここで注意すべき点は、学生自身もこのエージェントのモデル化を行うことができる点である。このとき学生はプログラム作成

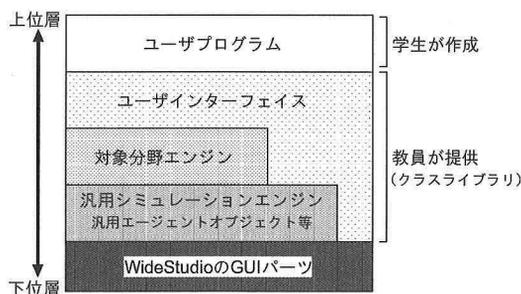


図3 シミュレーションシステムの概念図

の中で、既存のエージェントオブジェクトから差分プログラムにより自分で構築したモデルに基づいてエージェントオブジェクトを作成することができる。

開発環境はWideStudio (Ver.3.80-5) を用いて、プログラム言語としてRuby (Ver.1.8.2) を採用した。図3は、提案システムの概念図である。本システムはシステムそのものが単体で動作するのではなく学生に対して、クラスライブラリの形式で提供し、学生のプログラムによって動作する。

この図では、最下層に開発環境が提供するGUIのクラスライブラリが位置しており、その上に本システムのクラスライブラリが位置する。本システムの最下層は、シミュレーションのコアエンジンとして配置する。この部分は、汎用に見えるようにエージェント情報や通信といった汎用性の高い低レベルな機能を提供する。その上位層には、対象分野毎のシミュレーションエンジンを提供する。

図4は、本研究で開発した社会シミュレーション

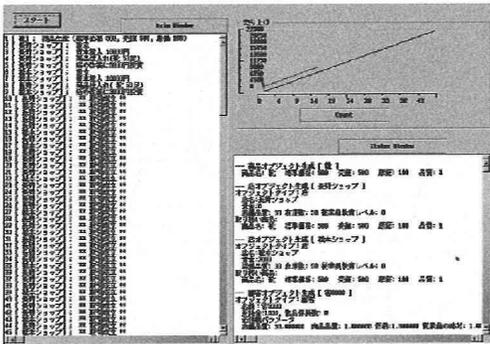


図4 本研究で開発した社会シミュレーションソフトウェア

ンシステムである。図中左側のウィンドウは、仮想社会で発生する事象を報告し、右上のウィンドウは、資金の変動など数値的な情報を表示する。また、各オブジェクトの内部状態は、右下のウィンドウに表示される。

3. 商品売買シミュレーションモデル

本稿では、シミュレーションシステムの試作と検証のため商品売買のシミュレーションモデルを構築した。これは、図3では、「対象分野エンジン」に相当し、教員側が提供する部分である。

仮想社会に、商店と顧客を配置し、販売戦略によって売り上げがどのように変化するかを調べるものである。

ここでは、分野毎の専門エージェントとして、商店オブジェクト、商品オブジェクト、顧客オブジェクトの3つのオブジェクトを作成した。

3.1 各オブジェクトのモデル化

エージェントはオブジェクトとしてモデル化され、コンピュータ上に実装する。ここでは各オブジェクトは、図5、6、7のようにモデル化した。各オブジェクトの内部状態はモデルのパラメータとなり、動作は、オブジェクトの行動を記述するプログラムとなる。

このオブジェクトは、Ruby上でクラスとして記述され、学生は自由にオブジェクトの機能や性質を書き換えることができる。

3.2 商品購入の意思決定のモデル化

本稿では、商品売買のシミュレーションを行う

上で、最も重要なのは顧客の商品購入に関する意思決定であると仮定する。まずここでは、単純化のため顧客は50%の確率で商品を買うか買わないかを判断すると仮定する。この場合の意思決定プログラムは乱数発生コード (rand) を用いて次のようになる。ここでは、0から99の乱数を発生させ、その値が50以下なら購入すると返事をするプログラムを次に示す。

購入意思決定プログラム

```
def kaimasuka (shop)

  p = 50 # 購入確率 50%
  if rand (100) < p
    return "買う"
  else
    return "買わない"
  end
end
```

4. 学生による意思決定のモデル構築

3.2では、乱数による単純な意志決定方法を述べた。

しかし、このような意思決定方法は現実的ではなく、実際はこれとは異なる判断モデルが必要となる。そこで、顧客がどのような価値観や判断基準で、商品の購入を行うかということを各学生の考えでモデル化し、コード化する。また顧客全体を社会システムの中にどのような関係で配置するのかを決定する必要がある。これは図3では、「ユーザプログラム」の層に位置する。

4.1 差分プログラムによる顧客モデルの改良

ここでは、例として顧客モデルを以下のように改良する。顧客の中には、今は買うか買わないかの判断ができないが2割引(定価の0.8倍)よりも安ければ購入しようとする人が増えるかも知れない。そこで、もしも売値が定価の2割引よりも安ければ購入確率が20%上昇するというようなモデルを考えることができる。

また、価格だけではなく商品の品質や店舗の雰囲気で購入の意思決定が変化する場合も考慮する

購入意思決定プログラム改良版 (1)

```
def kaimasuka (shop)

  p = 50 # 最初の購入確率は 50%

  # 定価の 0.8 倍よりも売値が安い?
  if shohin.hyojun * 0.8 >
      shohin.urine
    p = p + 20 # 購入確立 20% 上昇
  end

  if rand (100) < p
    return "買う"
  else
    return "買わない"
  end
end
```

必要がある。

例えば、顧客の中には、今は買うか買わないかの判断ができないが店舗の雰囲気や自分の基準よりも高ければ購入しようとする人が増えるかも知れない。そこで、店舗の雰囲気によって購入確率が変化するようなモデルを考えることができる。

4.2 顧客の種類モデル化

顧客は多様性を持ち、一種類だけの個性しかもたないということはない。様々な個性を持った顧客がそれぞれの割合で存在する。ここでは、仮に Type 1、Type 2、Type 3 という 3 種類の個性を持った顧客がいた場合、それぞれの存在確率を p_1 、 p_2 、 p_3 とすると、次のようにコード化することができる。

4.3 商店側の戦略のモデル化

商店側の戦略をモデル化する方法を述べる。ここでは、戦略については、単純化し、戦略において最も重要なことは、様々な要素について最適なトレードオフを求めることであると仮定する。

3.2 で示した「購入意思決定プログラム改良版 (2)」では、顧客は店舗の雰囲気で購入の意思

購入意思決定プログラム改良版 (2)

```
def kaimasuka (shop)

  # shop.tenpo ⇒ 店舗の品質 (雰囲気)
  # @tenpo ⇒ 顧客の価値基準

  # 店の雰囲気が自分の価値基準に対して
  if shop.tenpo > @tenpo * 0.8
    # 80 点以上なら購入確率 90%
    p = 90
  elsif shop.tenpo > @tenpo * 0.6
    # 60 点以上 80 点未満なら購入確率 50%
    p = 50
  elsif shop.tenpo > @tenpo * 0.3
    # 30 点以上 60 点未満なら購入確率 20%
    p = 20
  else
    # それ以下なら購入確率 1%
    p = 1
  end

  if rand (100) < p
    return "買う"
  else
    return "買わない"
  end
end
```

来客確率のモデル化

```
# 乱数発生
p = rand (100)

if p < p1
  # p1 の確率で Type 1 来客
  kyaku = Type 1.new
elsif if (p - p1) < p2
  # p2 の確率で Type 2 来客
  kyaku = Type 2.new
else
  # それ以外なら Type 3 来客
  kyaku = Type 3.new
end
```

店舗改装に対する投資のモデル化

```
# @tenpo 店舗の雰囲気
# @shikin 店が保有する資金

# 店舗の質向上に kane 円投資
def tenpo_up (kane)
  # 100円で店の雰囲気パラメータが1上がる
  @tenpo = @tenpo + (kane / 100.0)
  @shikin = @shikin - kane
end
```

決定を行っている。この場合、顧客に商品を購入してもらうためには、店舗を改装すればよいがこのことにより資金投資とのトレードオフが生じる。また顧客の価値観以上に、改装しても店舗が過剰品質になるだけで改装に対する効果が得られない。こういったモデル化では、あるオブジェクト内のパラメータが他のパラメータへ制約を与える。

このような状況をモデル化するために、価値観や品質といったものを、数値パラメータで記述する。たとえば店の雰囲気といったようなものも数値パラメータで記述する。ここで店舗改装に対する投資と店舗の質（雰囲気）向上の関係は次のようにモデル構築し、コード化する。

このとき「購入意思決定プログラム改良版(2)」でモデル化した顧客は、店舗改装に5000円投資した場合、最大の満足が得られるが、5000円を超えた投資は、過剰品質となり売り上げには影響を与えない。つまり、過剰品質分は無駄な投資となる。

5. モデルやパラメータの決定

これまで顧客の購入意思決定方法や商店の販売戦略のモデル化について述べた。このとき現実の世界に対して妥当なモデルや確率パラメータ値等の決定方法が問題となる。モデルパラメータは、現実の世界を精密に記述する必要があり、妥当性がなければ、シミュレーションの意味がない。

このことは学生にとって実社会での実地調査研究のヒントとなりうる。例えば、実際の店舗で販売戦略を立てる場合、顧客に対してアンケート調

査が行われる。このときに、シミュレーションモデルの構築やモデルパラメータの値が決定できるような質問項目にすればアンケート調査に基づいたコンピュータシミュレーションを行うことができる。

このように顧客や商店といった対象をモデル化できれば、コンピュータ上で様々な状況を想定した販売戦略を試すことができる。

6. シミュレーション実験例

このシステムは、長野大学の産業社会学部産業情報学科の「オブジェクトプログラミング」の授業でプログラム演習に用いた。ここでは、商店2つを仮想世界に配置し、それぞれ違う戦略で商品販売を行った。この商店に対して、50人の顧客エージェントを送り込み商品を購入させた。

この条件の下、学生は顧客や商店を各自の考えでモデル化し、コンピュータ上に実装し、どのモデルが最も販売戦略を伸ばすことができるかを調べた。

7. 結 論

本研究では、学生教育用社会シミュレーションシステムを試作した。本研究で開発したシミュレーションシステムは、オブジェクトプログラミング技術とマルチエージェントシミュレーションモデルに基づいて構築され、現実の社会で発生する事象を直接モデリングすることができる。

ここでは、学生はオブジェクトを組み合わせることでコンピュータ上の仮想社会に配置し、その振る舞いを観察することができる。モデルのパラメータの変更により、振る舞いの変化を体感したり、各自で考えた社会モデルを差分プログラムで実現する。こういったことにより、学生のプログラミング負荷を軽減しつつ現実の社会のモデリング技術を習得させることができる。

本稿では、特に商店と顧客の売買の焦点をあててモデル化の例を示し、顧客の購入意思決定方法や商店側の販売戦略についてのモデル構築方法を述べた。そして、そのモデルを用いた学習方法についての方向性を考察した。

本システムは、まだ試作段階であり、極めて単純なモデルしか実装していない。しかし、実際の

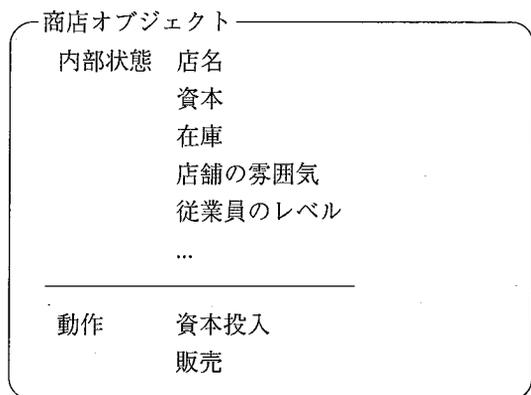


図5 商店のモデル化の例 (内部状態：データ、動作：プログラム)

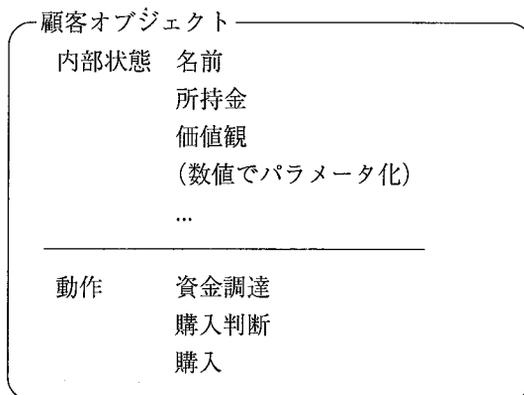


図7 顧客のモデル化の例 (内部状態：データ、動作：プログラム)

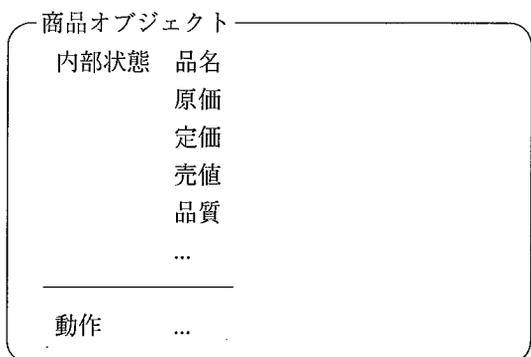


図6 商品のモデル化の例 (内部状態：データ、動作：プログラム)

複雑な社会をモデル化するためには様々なモデルを導入して検証を行わなければならない。

参考文献

1) J. W. Forrester : World Dynamics, MIT Press, 1971.

2) 森田道也編著：経営システムのモデリング学習—STELLAによるシステム思考—、牧野書店、1997。
 3) N. Gilbert and K. G. Toroitisch : Simulation for the Social Scientist, Open university press, 1999.
 4) G. H. Orcutt : Views on Microanalytic Simulation Modeling, Microanalytic Simulatino models to support Social and Financial Policy, Information Research and Resource Reports, Vol. 7, 1986.
 5) M.Waldrop : Complexity : The Emerging Science at the Edge of Chaos, Shimon & Schuster, 1992.
 6) T. C. Schelling : Models of Segregaion, American Economic Review, Papers and Proceedings 59(2) : 488-493, 1969.
 7) 齋藤裕美：バーチャルマーケット上のビジネスゲームの構築—多摩大式経済経営シミュレータの基本構想—、多摩大学紀要 経営・情報研究、No.3、1999.