

エージェントベース経済シミュレーション のためのフレームワークデザイン

岩村拓哉¹, 廣兼 賢治², 井庭崇^{1,3}, 竹中平蔵^{1,4}, 武藤佳恭¹

boxed-economy@novel.mag.keio.ac.jp

http://www.novel.mag.keio.ac.jp/boxed-economy/

¹ 慶應義塾大学 政策・メディア研究科

² 慶應義塾大学 環境情報学部

³ 日本学術振興会 特別研究員

⁴ フジタ未来経営研究所

概要

In this paper, the concept and design of frameworks for agent-based economic simulations are proposed: “Boxed Economy Framework” and “Box Simulator Framework”.

Boxed Economy Framework provides researchers with the way to reuse the model resources and to expand their model to more accomplished variations for general economic simulation.

Box Simulator Framework provides the shared platform of the simulator components at application level. MVC (Model-View-Controller) pattern is partly adopted to the framework structure.

In the field of social science, the shared, reusable and expandable components is strongly needed for developing social simulations, because of the heavy cost of constructing economic simulators from scratch.

The introduction of these frameworks is going to contribute to the sophistication of social models by easiness of exchanging components and expanding models.

Keywords: エージェントベース経済シミュレーション, フレームワーク, デザインパターン, オープンソース, Boxed Economy Framework, Box Simulator Framework

1 はじめに

近年、国内外を問わずマルチエージェントモデルによる社会シミュレーションが脚光を浴び始めている [1]

[2] [3] [4]。これは社会科学における従来のモデル同定の困難に対して、対象を構成的に理解していこうという複雑系科学の方法論からの影響と、社会を人の集合としてモデル化しようとする方針への共感によるものである。

特に経済分野においては、主流である新古典派経済学へのかつてからの批判を受けるかたちで、新しい経済学の模索としていくつかの研究が進められている。例えば、単純な経済シミュレーションである Sugerscape モデル [5]、Agent-Based Keynesian Economics モデル [6]、そして経済全体を扱う ASPEN モデル [7][8][9][10]、株式市場をモデル化した a simple model of a stockmarket [11]、外国為替市場を扱う AGEDASI TOF モデル [12] [13] などがある。そのような状況の中で、我々もこれまでに Winner-Take-All 現象やバブル現象などに関するシミュレーションを作成してきた [14][15][16][17]。本論文では、これらのように多数のエージェント（自律主体）を用いて行う経済をシミュレーションのことを「エージェントベース経済シミュレーション」と呼ぶことにする¹。

エージェントベース経済シミュレーションに関する

¹ L. Tesfatsion は、マルチエージェントモデルで経済を扱った研究を総称して Agent-Based Computational Economics と名付けている [18]。これに対し我々は、分析手法としてのシミュレーションと、理論体系としての経済学とを区別することを重視したい。マルチエージェントモデルによって行う経済のシミュレーションを「エージェントベース経済シミュレーション (Agent-Based Economic Simulation)」と呼び、それによる模索によって蓄積されるであろう理論体系を「エージェントベース経済学 (Agent-Based Economics)」と呼ぶことにする。エージェントベース経済シミュレーションがコンピュータシミュレーションそのものを指すものであるのに対し、エージェントベース経済学は経済学派の一つとしての位置を目指すものであり、手法としてのコンピュータシミュレーションを必ずしも要求するものではない。

研究の現状には、技術的な側面から見ると改善すべきいくつかの問題がある。まず第一に、ほとんどの経済シミュレーションのプログラムは、その度ごとにゼロから作られているという点である。直接特化した形でモデル化や実装を行っているため、同じ研究者でさえも、過去のプログラムを継承や合成により再利用することはほとんどなく、個々のシミュレーションプログラムを開発するのに莫大なコストがかかる。

また、ほとんどのシミュレーションプログラムはソースコードが公開されておらず、追試や拡張ができない。シミュレーションには紙面の限られた論文には記述しきれない様々なコード化のテクニックが含まれるため、他の研究者が行ったシミュレーションを再構成することは非常に困難であり、科学的方法論としてシミュレーションを用いる際の大きな問題となる。

そこで我々は、これらの問題を解決するため、経済シミュレーション分野における再利用可能なモデリングの探求、ならびに複数の研究者によって経済シミュレーションを開発するためのオープンソース・フレームワークの提案に取り組んでいる²。マルチエージェントモデルのフレームワークのひとつに“Swarm”[19][20]があるが、これは対象を特定していない汎用的なシステムである。これに対し、我々は経済シミュレーションに特化し、フレームワークの構築、およびそこで用いる多様なプログラム部品を作成・蓄積するための基盤を提供したいと考えている [21]。

経済分野に特化することにより、一般汎用的なものに比べ、より可読性、再利用性が高いシミュレーションの構築をサポートする。

また、本研究の特徴は、経済シミュレーションの共有化において、二段階の構造を提供することである (図 1)。一つは、シミュレーターにおけるモデル、ビュー、コントローラーなど、アプリケーションレベルのインターフェイスを定義しているフレームワークである。もう一つは、経済モデル内のモデル構造を定義するフレームワークである。

本論文では、エージェントベース経済シミュレーションにおけるフレームワーク作成の必要性とその具体的な設計について提案し、経済シミュレーション作成のための地図を描く。

² 本研究では経済シミュレーションに特化しているが、より一般的に社会シミュレーションという観点からは、Boxed Economy 研究グループの母体である In-The-Box プロジェクト (box@novel.mag.keio.ac.jp) で研究を進めている。

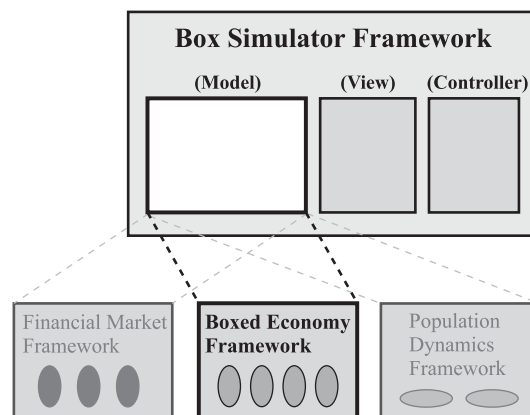


図 1: フレームワークの二重構造

2 フレームワーク

エージェントベース経済シミュレーションの作成には、オブジェクト指向モデリングおよびオブジェクト指向プログラミングが有効である。オブジェクト指向の起源が 1967 年にノルウェーで開発されたシミュレーション用言語 (Simula) であったことからわかるように、オブジェクト指向モデリングはシミュレーションを作成する際により自然なモデル化を可能にするからである [22]。オブジェクト指向技術の利点は可読性、拡張性、生産性、信頼性などであるが、これらの特徴はエージェントベース経済シミュレーションの作成においても非常に重要なファクターとなる。

このようにオブジェクト指向モデリングは拡張性などの面で有効なのであるが、オブジェクトという単位そのものは、オブジェクト間の依存性の問題があるためにその能力を十分に発揮できない。そこで、オブジェクトの関係性をひとつのまとまりとして再利用するための「フレームワーク」の概念が重要となる。フレームワークとは、ある特定分野のアプリケーションを対象にした再利用可能なオブジェクト群の設計のことである。

フレームワークの作成には、E.Gamma らが指摘したオブジェクト指向設計に関する原理「インタフェースに対してプログラミングするのであって、実装に対してプログラミングするのではない」[23] という言葉が極めて示唆的である。この実装とインタフェースの区別という観点でとらえると、従来の経済シミュレーションの設計は直接実装に対するものであったことがわかる。これに対し我々の目指すものは、特定の経済

シミュレーションのための実装ではなく、より広い複数の経済シミュレーションを対象としたインタフェース、すなわちそれらの集合であるフレームワークである、ということになる。特に経済シミュレーションの場合、日々構造が変化していく経済社会を対象とする以上、モデルもそれに合わせて変更していく必要がある。そこでフレームワークによって提供される容易な拡張性が非常に重要となるのである。

本論文では、モデルやシミュレーターの各部品を同時開発でき、それらを再利用することができる拡張性の高いエージェントベース経済シミュレーションのフレームワーク設計について提案する。以下では二つの異なるレベルのフレームワーク、つまり経済シミュレーションモデルのフレームワーク (Boxed Economy Framework) と、それを実行するためのシミュレーターのフレームワーク (Box Simulator Framework) について順に説明していく (図 1)。

3 Boxed Economy Framework

経済シミュレーションにおける主体 (エージェント) やその内部アルゴリズムを共有・再利用・拡張することを容易にするために、Boxed Economy Framework を提案したい。さらに、この Boxed Economy Framework に基づいてエージェントベース経済シミュレーションを作成した場合に、そのシミュレーションモデルがどのような部品構成になっているかを一意に理解できるように記述するためのフォーマットを以下に提案する。

3.1 Boxed Economy Framework の構成

エージェントベース経済シミュレーションにおける経済のモデル化の特徴は、経済の構成主体である消費者・企業・政府などの相互作用として経済を捉える点にある。これら経済主体のオブジェクトのことを「エージェント」と呼ぶことはすでに述べた。Boxed Economy Framework では、上記のエージェントの他に「アルゴリズムオブジェクト」や「関係オブジェクト」という特殊なオブジェクトを用意する。

アルゴリズムオブジェクトは、各エージェントが持つそれぞれの意思決定過程をカプセル化したオブジェクトであり、その組み合わせによって各エージェントの意思決定が定義される。このアルゴリズムオブジェクトの導入により、学説によって異なる個々の意思決

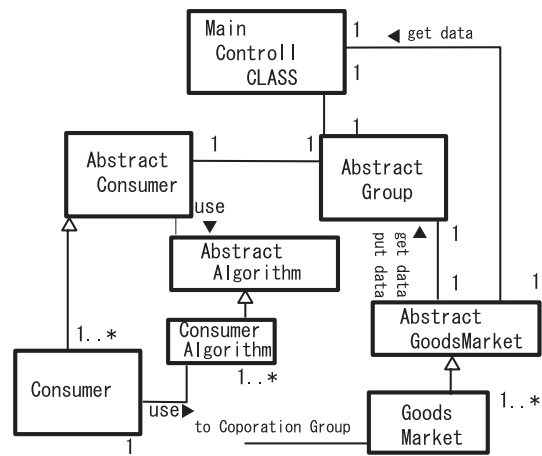


図 2: クラス構造

定過程を、ほかの部分を変更することなしに入れ替えて構築・利用・実験することなどが可能となる。

関係オブジェクトとは、消費者と企業などを結ぶ関係をオブジェクトしてモデル化したものである。例えば、消費者と企業を結ぶ要素として労働市場オブジェクト、金融市場オブジェクト、財市場オブジェクトなどが関係オブジェクトである (図 4)。また、消費者、企業と政府を結ぶ関係も関係オブジェクトとして定義する。一般に経済シミュレーションでは経済主体のみがオブジェクト (エージェント) としてモデル化されるのであるが、Boxed Economy Framework では関係オブジェクトを明示的に取り扱うことで、モデルに拡張性を取り入れることができるのである。

経済主体

消費者、企業、政府、金融機関

主体間関係

市場、政府との関係

アルゴリズム

主体や関係の振る舞い (経済学説毎の理論など)

データパック

モデルに用いるデータを抽象化したもの

3.2 モデルの拡張

それぞれの研究者が表現したい経済モデルを作成したり拡張したりする方法は、モデル化の視点から見て3つの異なるレベルがある。つまり、エージェントの意思決定を規定するアルゴリズムの拡張、エージェン

FOR EXAMPLE

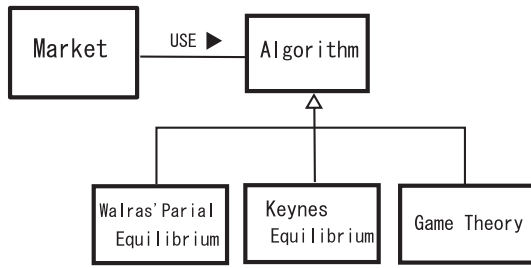


図 3: Strategy パターンによるアルゴリズム拡張

トの扱えるデータの種類(データパック)の拡張、エージェント間の関係性の拡張という3つのレベルである。例えば、消費者がどのように購入商品を決めるのかについて変更したい場合にはアルゴリズムのみを取り替えばよい。また、心理的要因を含む意思決定過程を消費者エージェントに取り入れたい場合には、心理データを扱えるようにデータパックを拡張しなければならない。また、市場の情報を企業に伝える役目を果たす流通業などをモデルに導入したい場合には、データ(情報)の流れに関する関係性を拡張する必要がある。

各レベルにおける拡張方法は、以下のようにそれぞれ異なるメカニズムで行われる。

3.2.1 アルゴリズムオブジェクトによる拡張

各エージェントはそれぞれの意思決定のアルゴリズムをもつが、そのメカニズムは学説により異なることが多々ある。例えば、経済学において消費者の購買行動をモデル化するときには、彼らが行動から得ることのできる効用を決めるメカニズムが数多く定義されている。

そこで学説によって異なるアルゴリズムを、エージェントのクラス構造とは独立に交換が可能となる設計が重要になる。この柔軟な設計は、デザインパターンのひとつである「Strategy パターン」[23]を用いて実現する。図3に示すように、メソッド群をオブジェクトとして定義することにより、そのメソッドの内容(実装)と、それを実行するオブジェクトとの依存関係を弱め、独立に変更ができるようになる。

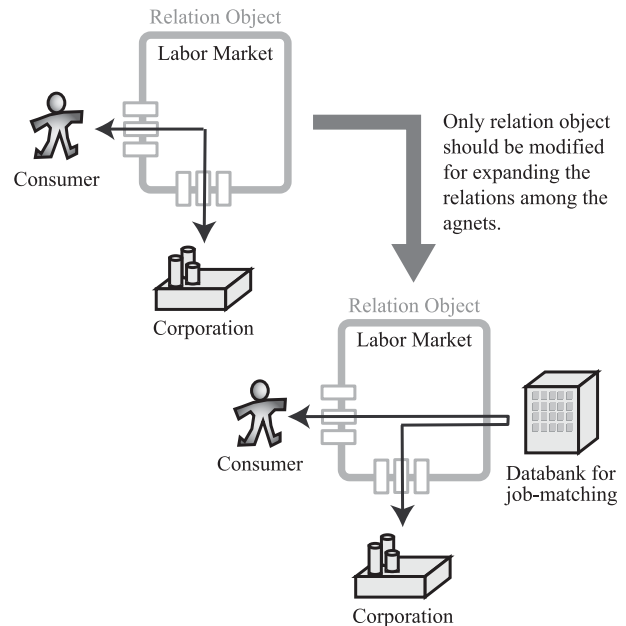


図 4: 関係オブジェクト

3.2.2 データパックオブジェクトによる拡張

経済モデルを拡張するとき、エージェントが取り扱うデータの種類(データパック)を変更したいという要求があることは容易に想像できる。データとそれを利用するエージェントは強い依存関係にあるが、データをまとめたデータパックを定義することにより、オブジェクト間のデータのやり取りがデータの種類の依存せずに可能になる。例えば、心理的な変数を加えるときには、データの受け渡し自体のプロセスを増やすのではなく、データパックを拡張するだけでよくなるのである。

その際エージェントとデータパックが正しく組み合わせられていないと、どのエージェントがどのデータに依存しているのが不明になり、モデルの共有化の際に問題が生じる可能性がある。そこで「Abstract Factory パターン」[23]を用いることによって、依存関係にあるエージェントとデータパックオブジェクトの関係ごと拡張することや変更することが容易になる。

3.2.3 関係オブジェクトによる拡張

モデル拡張に際してデータの流を変更したいことがしばしばあるが、そのときに重要となるのがモデルの柔軟性を高めている関係オブジェクトの存在である。

```

project::
  code:1
  name:SampleProject

data::
  type:SimpleMicroData

consumer::
  type:SuperRational
  algorithm:Cobb-Douglas

corporation::
  type: ....

```

図 5: フォーマット

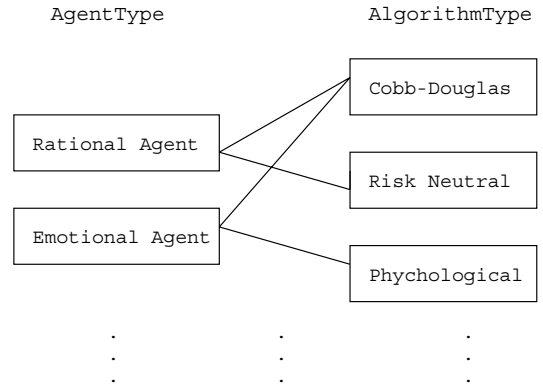


図 6: カタログ

個々のエージェントは関係オブジェクトを介して、他のエージェントと繋がっているため、関係オブジェクトはデータの流れをエージェントから独立させていることになる。そこでは各エージェントは具体的にどのようなエージェントとデータのやり取りをしているのかわ知る必要はない。ここでは「Adapter パターン」を応用することができる [23]。

例えば商品の流通において、企業は財市場を介して消費者に繋がっており、企業は市場を通じて完全な消費者情報を得ることができると仮定して既にモデルを作成していたとしよう。しかしここで、企業は不確実な情報しか得ることができず、その不確実性を少しでも減らすために流通業者やマーケティング会社が存在するという現実をふまえた拡張をしたいと考えたとする。このような中間企業の役割を明確にしたモデルを構築したいとした場合でも、中間企業オブジェクトを設計し関係オブジェクトでデータの流れを変更するだけで拡張が可能なのである (図 ??)。

3.3 情報共有化

フレームワークによりモデリング資源を共有することが可能であるが、実際にオブジェクトを組み合わせでシミュレーションを行おうとすると、非常に多くの依存関係が再利用をする際のコストを高めてしまう。

3.3.1 フォーマット

構成の仕方を一意に表すフォーマットを定める。つまり、モデル内で使われているエージェントの種類、ア

ルゴリズムの種類、データの種類を書き表すことで何を表現しているかがすぐに分かるような形式を定める。

図 5 はフォーマットの例を表わしている。ここで project とは特定のモデルを作成したプロジェクトを意味し、code とは他の研究者が参照できる一意な通し番号である。データベースに登録された順番に割り振られる。name はそのプロジェクトの名前を表わす。data の type はこのモデルに用いられたデータの種類である。consumer の type とはカタログに登録された消費者エージェントの特定の種類を示す。algorithm とはそのエージェントが用いるアルゴリズムオブジェクトを指す。このようにして、あるプロジェクトにおいてどのような組み合わせでモデルが構築されたのかが一意に示すことができ、研究プロジェクト間の意思疎通が促進される。行われた実験環境を正確に記述できるのでシミュレーション実験の追試も容易である。このようなフォーマットを定義することでコミュニティ内のわかりやすい意志伝達手段が確立される。

3.3.2 コンポーネントカタログ

Boxed Economy Framework に基づいて作成されたエージェントやアルゴリズムなどのオブジェクトが、お互いにどのような組み合わせで使用できるかを把握することは重要である。このオブジェクト間の依存関係を、「コンポーネントカタログ」としてが明確に記述していく必要がある。あるオブジェクトを選択して個々の経済モデルを作成しようとしたときに、このカタログを用いることによって、検索や依存関係のチェックが容易になる。また、新しいオブジェクトを作成し

たときにカタログに加えることにより、そのオブジェクトを他人が新しいモデルに組み込むことを容易にできる。

4 Box Simulator Framework

経済モデルにおける再利用性や拡張性を高めるためのフレームワークを以上で見てきたが、ここでは、そのモデルを用いて作成するシミュレーターアプリケーションのアーキテクチャに関するフレームワークについて言及する。基本的には、経済シミュレーション本体である「モデル」と、結果の表示部分である「ビュー」、そして、シミュレーションを制御する「コントローラー」の3つの部分に分割する Model-View-Controller (MVC) の構造を採用する (図 7)[23]。現在、Box Simulator Framework は 添付資料のように実装されている (図 8 version 0.0)。

Model/View/Controller の分離

エージェントベース経済シミュレーションのシミュレーターを、明確に MVC の 3 パターンに分割してモデル化することには、次のような利点がある。

第一に、ビューやコントローラーの再利用を可能にするという点である。現在作成されている経済シミュレーターは、ビューやコントローラーが分離されていないか、分離されていてもモデルとの結合度が強すぎるために、それらを再利用することは非常に困難である。そのため、モデルの改良は、それに付随するシミュレーターのプログラム全体を変更しなければならず、時間やコストがかかるだけでなく、プログラムの複雑度が増すことになってしまうのである。

第二の利点は、同じシミュレーションモデルに対して、異なる複雑さのビューやコントローラーを利用することができるという点である。例えば、詳しい経済分析を行う専門家が利用するときには、その要求に応じた詳細なビューやコントローラーを用意することができるし、また教育目的で、学生が経済の仕組みを理解するために利用するときには、簡単な操作で見やすい粗さのコントローラーとビューを用意することができる。

そして第三の利点は、モデルとビューとコントローラーをそれぞれ同時に、しかもお互いを意識することなく開発できるという点である。これは、開発速度を早めるだけでなく、社会学者が、ビューやコントローラーを設計する必要がなくなるということの意味する。

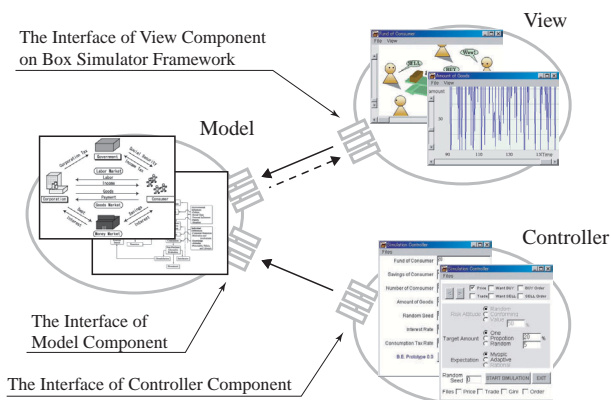


図 7: Box Simulator Framework

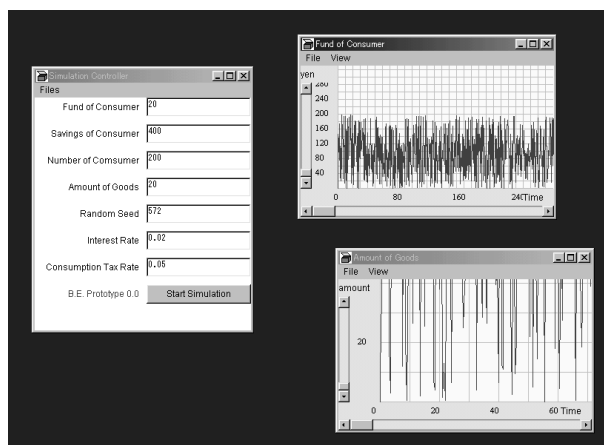


図 8: Box Simulator Framework (version 0.0) の画面

これにより、E. Bruderer と M. Maiers が指摘した社会シミュレーションの課題「ユーザーインターフェースの貧しさ」に対するひとつの解決策となると期待できる [24]。

ビューとコントローラーの自動生成

Box Simulator Framework では、ビューおよびコントローラーを、モデルに合わせて自動的に生成する機構を組み込んでいる。モデル内で変数を定義する際に、ビューを表示するか否かの属性 (viewable) と、コントローラーで初期設定できるか否かの属性 (controllable) を設定するだけで、ビューやコントローラーのプログラムを変更することなしに、必要な数のビューやコントローラーが自動生成される。

これを実現するために、モデル内の各変数を Parameter オブジェクトとして管理し、受け渡すという方法をとる。Parameter クラスは、変数の値や過去の値、単位、データ型などを格納するものである。

5 共有化のためのルール

部品ごとに別々に開発できるような柔軟性をもち、フレームワーク作成に際しての重要なポイントであった。ここで、この思想をつらぬくことによって、同時に別々の研究者が、お互いを意識することなく、モデルの一部（各経済主体やユーザインタフェースのオブジェクト）を開発することが可能になる。このことは、さまざまな学問分野、学派、対象レベルのモデルを交換してシミュレーションに組み込み、結果の相違を比較することが可能になり、経済学の発展へ大きく貢献するができると考えられる。つまり、社会シミュレーションのための MVC となる。

拡張性の高いエージェントベース経済シミュレーションの共同開発のために、以下のルールを設定するとよいであろう。

再利用を考慮した設計

アドホックな設計はできるだけ避け、独立性と再利用性を考慮に入れた設計を各開発者が心がける。また、個々のケースに対して作られたモデルを、他の開発者が一般化してモデル化し直すことも歓迎する。

オープンソース

モデルやプログラムソースは、インターネット等を通じて公開することを原則とする。また、他人の作ったソースを自由に利用できることとする。

記述の統一

モデル図は、UML(Unified Modelling Language) で記述し、コーディングは Java 言語で統一する。ただし、必要であれば Java 言語から他言語（例えば Prolog や Lisp）へのインタフェースを作成し、それらを Java 言語から利用することも考えられる。

社会シミュレーションにおけるデザインパターン

本論文で設計の際に適用したデザインパターンは、ソフトウェア工学、特にオブジェクト指向プログラミングにおけるものであるが、デザインパターンは、もと

もと建築や街の設計に関する知恵である。さらに進んで社会モデリングや社会シミュレーションの設計に関しても、同様にデザインパターンとして記述していくことは可能であり、そして重要である。

6 さいごに

エージェントベース経済シミュレーションにおいて、プログラミング資源の再利用の必要性は未だに低い認識にとどまっている。しかし、柔軟に再利用できるメカニズムが明快な形で提供されれば、経済学におけるシミュレーションの大きな発展が期待できるだろう。

本論文では、エージェントベース経済シミュレーションに関する技術的問題である、プログラムがその度ごとにゼロから作られている点、およびシミュレーションプログラムのソースコードの非公開に関する点を解決するものである。Boxed Economy Framework および Box Simulator Framework は、経済シミュレーション分野における再利用可能なモデリングの探求、ならびに複数の研究者によって社会シミュレーションを開発するためのオープンソース・フレームワークの提案を行った。

謝辞

本研究の一部は、文部省科学研究費補助金、およびフジタ未来経営研究所のサポートにより遂行されたものである。両サポートに感謝したい。

参考文献

- [1] N. Gilbert, editor. *Artificial societies: The computer simulation of social life*. UCL Press, 1995.
- [2] K.G. Troitzsch, U. Mueller, G.N. Gilbert, and J.E. Doran, editors. *Social Science Microsimulation*. SpringerVerlag, 1996.
- [3] R. Conte, R. Hegselmann, and P. Terna, editors. *Simulating Social Phenomena*. Springer-Verlag, 1997.
- [4] Nigel Gilbert and Klaus G. Troitzsch. *Simulation for the Social Scientist*. Open University Press, 1999.
- [5] Joshua M. Epstein and Robert Axtell. *Growing Artificial Societies: Social science from The Bottom Up*. The MIT Press, 1996.
- [6] Charlotte Bruun. Agent-based keynesian economics. In Pietro Terna Rosaria Conte, Rainer Hegselmann, editor, *Simulating social phenomena*, pages 279 - 285. Springer-Verlag, 1951.

- [7] T.Quint N.Basu, R.J.Pryor and T.Arnold. Aspen: A microsimulation model of the economy. Sandia report, Sandia National Laboratories, October 1996. <http://www-aspen.cs.sandia.gov/>.
- [8] N.Basu R.J.Pryor and T.Quint. Development of aspen: A microanalytic simulation model of the economy. Sandia report, Sandia National Laboratories, February 1996. <http://www-aspen.cs.sandia.gov/>.
- [9] N.Basu and R.J.Pryor. Growing a market economy. Sandia report, Sandia National Laboratories, September 1997. <http://www-aspen.cs.sandia.gov/>.
- [10] T.Quint N.Basu, R.J.Pryor. Aspen: A microsimulation model of the economy. *Computational Economics*, 12:223–241, 1998.
- [11] G.R. Palmer, B.W. Arthur, J.H. Holland, B. LeBaron, and P. Tayler. Artificial economic life: a simple model of a stockmarket. *Physica D*, 75, 1994.
- [12] K. Izumi and T. Okatsu. An artificial market analysis of exchange rate dynamics. In L.J. Fogel, P.J. Angelino, and T Back, editors, *Evolutionary Programming V: Proceedings of the 5th Annual Conference on Evolutionary Programming*, pages 27–36. The MIT Press, 1996.
- [13] K. Izumi and K. Ueda. Emergent phenomena in a foreign exchange market: Analysis based on an artificial market approach. In C. Adami, C. Taylor, and R.K. Belew, editors, *Artificial Life VI: Proceedings of the Sixth International Conference on Artificial Life*, pages 398–402. The MIT Press, 1998.
- [14] 井庭崇, 竹中平蔵, and 武藤佳恭. パーチャル・マーケットにおける家庭用 vtr の規格普及実験. In 第 6 回マルチエージェントと協調計算ワークショップ (MACC'97), 1997.
- [15] 井庭崇 and 竹中平蔵. マルチエージェントモデルによるパーチャルマーケットと消費者行動. In 第二回進化経済学会論集, pages 155–163, 1997.
- [16] T. Iba, H. Takenaka, and Y. Takefuji. An agent-based simulation of bubbles and crashes in economy. In *International ICSC Symposium on Soft Computing in Financial Markets*, 1999.
- [17] Takashi Iba, Hiromasa Mizoe, Heizo Takenaka, and Yoshiyasu Takefuji. Agent-based social simulation as novel method for economics. In *The 3rd World Multi-conference on SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS and The 5th International Conference on INFORMATION SYSTEMS, ANALYSIS AND SYNTHESIS*, 1999.
- [18] Leigh Tesfatsion. Agent-based computational economics : A brief guide to the literature. 1998. <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/surveys.htm>.
- [19] Chris Langton Manor Askenazi Nelson Minar, Roger Burkhart. The swarm simulation system: a toolkit for building multi-agent simulations. 1996. <http://www.santafe.edu/projects/swarm/overview/overview.html>.
- [20] Burkhart R. Lee I. Daniels M. Langton, C. and A. Lancaster. *The Swarm simulation system*. <http://www.santafe.edu/projects/swarm>, 1998.
- [21] Takashi Iba, Masaharu Hirokane, Yohei Takabe, and Heizo Takenaka and Yoshiyasu Takefuji. Boxed economy model: Fundamental concepts and perspectives. In *Proceedings of Computational Intelligence in Economics and Finance*. will appeared in 2000.
- [22] Ole-Johan Dahl and K. Nygaard. Simula — an algol-based simulation language. *Communications of the ACM*. <http://www.econ.iastate.edu/tesfatsi/surveys.htm>.
- [23] Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, and John Vlissides. オブジェクト指向における再利用のための デザインパターン. ソフトバンク, 1995.
- [24] E Bruderer and M Maiers. From the margin to the mainstream: An agenda for computer simulation in the social sciences. In R. Conte, R Hegselmann, and P Terna, editors, *Simulating Social Phenomena*, pages 89–95. Springer-Verlag, 1997.