

Boxed Economy の実現に向けて : エージェントベース経済シミュレーションのための基礎モデル

井庭崇 ^{†1†2†3}, 中鉢欣秀 ^{†1},
 高部陽平 ^{†4}, 田中潤一郎 ^{†5}, 上橋賢一 ^{†5},
 津屋隆之介 ^{†6}, 北野里美 ^{†6}, 廣兼賢治 ^{†5}

^{†1} 慶應義塾大学 政策・メディア研究科
 〒 252-0816 神奈川県藤沢市遠藤 5322

^{†2} 日本学術振興会 特別研究員

^{†3} フジタ未来経営研究所 リサーチアソシエイト

^{†4} 慶應義塾大学 SFC 研究所 訪問研究員

^{†5} 慶應義塾大学 環境情報学部

^{†6} 慶應義塾大学 総合政策学部

designers@boxed-economy.org

あらまし

本論文では、エージェントベース経済シミュレーションの共同開発、共有、再利用などを支援する Boxed Economy プラットフォームを提案し、特にその基礎モデルを紹介する。Boxed Economy は個人や企業という様々な経済主体や、情報や商品のやり取りという様々な経済行為を、規格に則った形で実現させるとともにエージェントのミクロ行動からマクロ経済を再現する人工経済モデルである。また、経済主体の機能ごとにモデル化により、新しい業種の登場や、機能の外部化に対して柔軟性を与えるフレームワークである。

キーワード エージェント, エージェントベース経済シミュレーション, 人工経済, UML

Boxed Economy: Foundation Model for Agent-Based Economic Simulations

Takashi Iba^{†1†2†3}, Yoshihide Chubachi^{†1},
 Yohei Takabe^{†4}, Junichiro Tanaka^{†5}, Kenichi Kamihashi^{†5},
 Masaharu Hirokane^{†5}, Ryunosuke Tsuya^{†6}, Satomi Kitano^{†6}

^{†1} Graduate School of Media and Governance, Keio Univ.
 5322 Endo Fujisawa-city Kanagawa, 252-0816, Japan

^{†2} JSPS Research Fellow

^{†3} Research Associate of Fujita Institute of Future Management Research

^{†4} Visiting Researcher of SFC Institute, Keio Univ.

^{†5} Dept. of Environmental Information, Keio Univ.

^{†6} Dept. of Policy Management, Keio Univ.

designers@boxed-economy.org

abstract

In this paper, we propose the *Boxed Economy Style*, especially the proto-type of the fundamental economic model "Boxed Economy Model", which allow us to develop, co-improve, share, and reuse the agent-based economic simulations.

key words agent, artificial economy, framework, UML

1 はじめに

本論文では、エージェントベース経済シミュレーションのための共有基盤である「Boxed Economy」(箱庭経済)プラットフォームの構想とその基礎モデルを提案する。ここでエージェントベース経済シミュレーションとは、多数の経済主体(エージェント)がミクロ的な経済活動を行い、その結果としてマクロ現象が生成されるような人工経済モデルによるシミュレーションのことである。以下では、まず最初に人工経済研究の流れを整理し、Boxed Economyの共有基盤としての意義と位置づけを示す。後に、Boxed Economy 基礎モデルの定義を行い、その適用例を示すことで基礎モデルの特徴を明らかにする。

2 背景

現在、経済学は大きく分けて、経済主体の行動を扱うミクロ経済学と、経済全体の動向を扱うマクロ経済学とに分類できる。そのなかで経済全体の分析や政策効果分析は主にマクロ計量経済モデルなどによる集計量の分析が行われてきた。しかし、経済内部をブラックボックスとして隠蔽してしまうため、内部で起きている現象のメカニズムを理解できないだけでなく、マクロ的なダイナミズムをも捉え損ねてしまうことがしばしばある。

このような問題を踏まえて、ミクロ経済モデルによってマクロ経済をシミュレートしようとするマイクロシミュレーションの研究が行われてきた [1][2]。その後、このような研究は当初ほど盛んに行われなくなっていたが、分散人工知能の研究成果やコンピュータの性能の向上などによって、近年エージェントベース経済シミュレーションというかたちで再認識されるようになってきた。最近の研究としては、ASPENモデル [3]、Agent-Based Keynesian Economics モデル [4]、Dichotomous Economic Growth モデル [5] などがある(出口 [6])

科学的な観点からエージェントベース経済シミュレーション研究の現状をみると、理論発展に不可欠である累積的なプロセスが行われていないという問題がある。特に人工経済モデルは経済全体を対象とするために、そのモデル化の際に恣意性が高くなるため、その研究過程において、部分モデルを交換して比較実験をすることが重要である。しかし、それを実現するための基盤がなく、ばらばらにシミュレーションが作成されているのが現状である。

これを踏まえ、私たちはエージェントベース経済

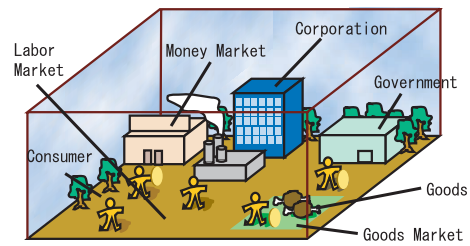


図 1: Boxed Economy のイメージ図

シミュレーションの共有基盤として「Boxed Economy」プラットフォームの構築に取り組んでいる [7][8][9][10][11]。Boxed Economy は、ある特定の経済現象をシミュレートするための具体的なモデルではなく、経済における様々なシミュレーションを作成するためのフレームワークとそこで利用可能な部分モデルコンポーネントを提供する。

3 Boxed Economy の利点

Boxed Economy プラットフォームは、エージェントベース経済シミュレーションのための共有基盤として以下のことが実現可能である。

第一に、インクリメンタルな研究およびモデル作成が可能となる。社会シミュレーションのモデルを作成する際には、コンピュータ上に対象を構成していく過程でその対象を理解していく「構成的手法」のプロセスがとられる。これは、多くの場合、社会シミュレーションを構成する部分モデルは実証されていない仮設的なものであるため、代替的な部分モデルと交換・比較しながらの模索的な作業となるからである。このため社会シミュレーションでは、分析、設計、実装、テストというサイクルを繰り返すインクリメンタルなプロセスによって開発することが適していると言える。[12]。

第二に、経済社会モデルの共同開発を並行して行うことが可能となる。人工経済モデルを現実に近くなるように作り込んでいくためには、多種多様な視点の研究者・実務家が参加することが不可欠である。Boxed Economy プラットフォームは、経済全体をシミュレートするためのフレームワークを提供し、その文脈の下でのコンポーネントの作成を促すため、独立して作成されたコンポーネント同士が整合性を

もって動くことを可能とする¹。

第三に、経済社会に関する議論・コミュニケーションを支援することが可能となる。Boxed Economy が提供するフレームワークとコンポーネントは、文字、数式、図式、画像などのコミュニケーションのコード(記号)に代り、動的で複雑な社会について記述・伝達するための「シミュレーション・コード」と呼びうる新しいコードとなり得る [19, 20]。特に、学際的な政策研究などにおいては、その受け皿がないと発散してしまうことがしばしばあるが、Boxed Economy が提供するシミュレーション・コードによって円滑なコミュニケーションを促進することが期待される。

4 Boxed Economy 基礎モデル

Boxed Economy における「基礎モデル」(foundation model) は、Boxed Economy によって経済社会をモデル化するための基礎を提供するものである。この基礎モデルを用いることにより、個人や企業という様々な経済主体や、情報や商品のやり取りという様々な経済行為を、規格に則った形で実現することができる。基礎モデルの設計に関する技術的な議論は論文 [21] に譲り、ここでは社会モデルとしての特徴を説明することにする。

4.1 経済主体

Boxed Economy プラットフォーム上に作成される人工経済において、自律的に情報を集め、意思決定をし、経済行為を行なう、企業、消費者、政府などの主体(エージェント)を「経済主体」と呼ぶ。具体的には「個人」や「社会集団」などを指しており、それら個人と社会集団は経済主体の振舞いを継承している。社会集団とは他の経済主体(個人または社会集団)の集約であり、その構成員同士が協調動作するための仕組みも備えている。

後に説明するように、経済主体はその内部に1つ以上の「機能」と「記憶」をもっており、また「財」を所有することができる。経済主体は他の経済主体

¹ これまで経済分野に特化しない汎用的なものとして“Swarm” [13][14] などのコンポーネントライブラリが提案されてきた。しかし、単にコンポーネントの共有を目指すだけでは、その特徴を發揮できないということがソフトウェア工学において明らかになっている [15, 16, 17]。そのため、最近では設計の単位として複数のオブジェクトやコンポーネントの関係性をまとめたフレームワークによる文脈づけの重要性であるとされている。Boxed Economy と同様な問題意識から、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の構築を目指している [18] もある。

とコミュニケーションすることが可能であるが、各自がもっている他の経済主体への「関係」情報をもとにコミュニケーションの「経路」を開き、この経路を通じて相手に財(情報を含む)を送ることができる。

4.2 財

Boxed Economy の提供する世界では、経済主体が所有したり他者と交換したりすることができる有形・無形の事物全般を「財」と呼ぶ。財はそれぞれ、名称、種類、有形/無形、製造年月日、基本耐久時間、所在、移動可能性、数量、単位等の属性をもっている。

4.3 情報

Boxed Economy では、経済主体が記憶として持つ知識のほかに、外部化された、いわゆる情報を「情報」として記述することができる。「情報」とは、様々な事柄が表現された内容であり、経済主体が記述し、読み込むことのできるものである²。ここで、情報は必ず財に付随するという点に注意が必要である。例えば、書物は、紙という財(媒体)に何らかのコンテンツが情報として付随しているものとして捉えることができる。さらに、個人同士の口コミ情報は、会話(音声)という無形で基本耐久時間が瞬間的であるような財(媒体)に付随しているものとして捉えることができる。これにより、友人同士の日常会話においては無償でやりとりされる内容の情報が、ときには市場で高価で取引されることがあるというようなケースを一元的に扱うことが可能となる。

経済主体は、情報を記憶するか、他の財(媒体)に対してコピーすることが可能である。ただし、情報の解釈は個々の経済主体に依存し、それがもたらす影響が異なるため、同一の情報を受け取った場合に引き起こされる意思決定や行動が異なるといったことはしばしば起こり得る。

4.4 関係

「関係」とは、経済主体が他の経済主体を知っているという状態を表す主観的な片方向のつながりである。

² 「情報」は、技術的には XML (eXtensible Markup Language) により形式化されており、情報の種類タグとその内容から構成されている。これらの種類タグはシミュレーション作成者もしくはモデル内の経済主体が自由に設定できるため、柔軟性や拡張性がある。

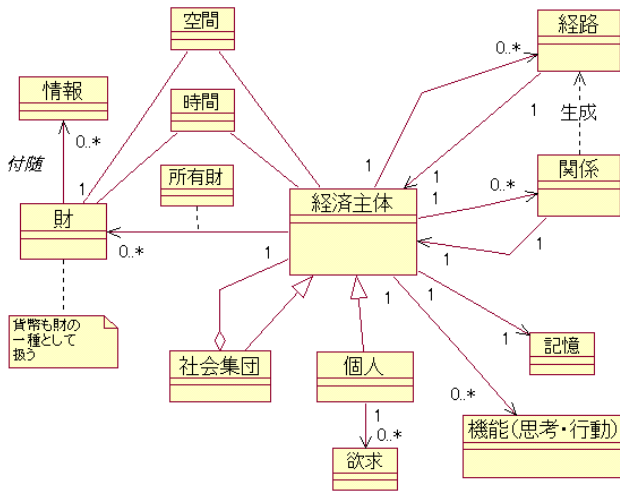


図 2: Boxed Economy の基礎モデル (UML 表記)

ある「関係」には、家族や友人、被雇用、利用など多数の種類がある。「関係」をもつからといってその経済主体が「関係」をもつ他の経済主体と常にコミュニケーションしているわけではなく、あくまでコミュニケーションし得る間柄であるという状態を示しているにすぎない。

経済主体が、他の経済主体を想定して意思決定を行う場合や、他の経済主体にはたらきかける場合に、可能性の候補として想起する経済主体は「関係」をもつ経済主体のみとなる。関係は、経済主体が得た「情報」をもとに新しく作り出されることもあり、また、空間的な距離などによって空間共有の関係性が一時的に生成されることもある。

4.5 経路

「経路」は「関係」に基づいて開設され、経済主体が他の経済主体とコミュニケーションを行う（財をやりとりする）ための、コミュニケーション・パスとなる。例えば、会話行為やショッピングにおける商品購入等は、その経済主体のもつ「関係」に基づき、友人や商店と「経路」が開設されて行われるといえる。

4.6 機能

Boxed Economy 基礎モデルでは、経済主体が行う意思決定や行動は、役割（側面）別の「機能」として個別に定義する。各経済主体は、その時々によって

いる「機能」に記述された意思決定と行動のみを実行することができる。エージェントベース経済シミュレーションのモデルではこれまで、企業エージェント、消費者エージェント、政府エージェントというように経済主体を単位として固定的に経済社会と人を切り分けるのが一般的であった。これに対し Boxed Economy では、それら経済主体がもつ生産機能や戦略策定機能、販売機能などといった個別機能を「機能」として外部化する。このことにより、銀行の持つ機能を銀行エージェントの内部に埋め込まず外部化することによって、コンビニエンスストアが銀行の決済機能を備えるようになるという事例を容易にモデル化することができる。

このようなモデル化によって、一部の機能の内容だけを交換して比較実験することや、一部の機能のみを拡張・再利用することもできる³。また、新しい業種の登場や経済主体の成長ということに対して柔軟性をもつなどの利点がある。例えば、ある個人が学生のときと企業に勤めているときとでは、意思決定の仕組みや行動のパターンが異なるということ、また複数の社会的役割を担うことがあること（親と被雇用者など）などが表現できるのである。

5 基礎モデルの適用例

Boxed Economy によって経済シミュレーションを作成する際には、前節で説明した基礎モデルのクラスを継承して具体的に記述していく必要がある。ここでは、流通機構における卸売商を例として、基礎モデルの意義を考察する。

5.1 流通機構における商業者のモデル化

流通機構は、メーカーや卸売商・小売商などの経済主体から構成され、流通機構内において商品（財）の取引（交換）を行う。卸売商と小売商は基本的な機能は同じであるが、最終消費者に商品を販売する商業者を小売商といい、それ以外の再販売を中心とする商業者を卸売商という。

Boxed Economy では「卸売商」や「小売商」というような形では経済主体は存在せず、「社会集団」が卸売りに必要な「機能」を持っているということ

³ このように機能を外部化するモデル化は、社会モデルとしての利便性だけでなく、設計についての工学的な観点からも擁護される。オブジェクト指向設計が登場した初期の頃は継承が推奨されてきたが、最近では、特定のコンテキストでのみ有効である継承に代り、機能を別のオブジェクトに委譲する「コンポジション」による拡張が標準的となっている [22]。

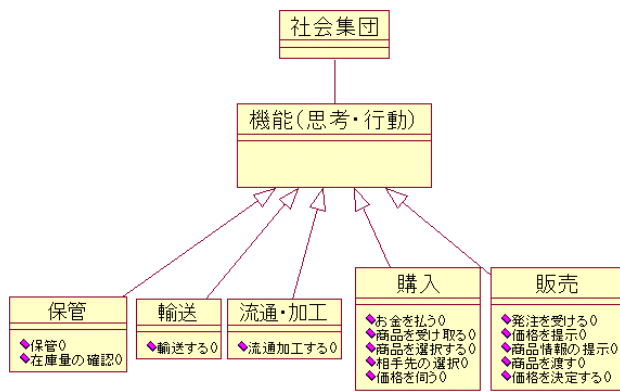


図 3: 流通機構における事業者の一例

表現する。図 3 は、基本的な卸売商を「保管機能」、
「輸送機能」、
「流通・加工機能」、
「購入機能」、
「販売機能」をもつ社会集団として表している。シミュレーションの目的によっては、企業(社会集団)の内部に部門(社会集団)を設けることができ、それぞれの部門に機能を委譲することができる。図 4 はその一例を示しているが、流通における物流と取引を、それぞれの専属の部門が担当するということを表している。また、企業内の一部の機能を外部化する、いわゆるアウトソーシングなども表現可能である。

5.2 流通機構における取引

流通機構における購買取引の一例を通じて経済取引活動を概観しよう。メーカーと卸売商との取引は、関係を元に開設された経路によって行われる。例えば、商品を販売する側(以下、販売者)が商品情報の提示を行う場合には、関係をもとに商品を購入する側(以下、購入者)との間に経路が開かれる。また、購入者から商品に関する問い合わせや価格交渉が行われる場合には、購入者側からも経路が開かれる。

購入者は希望の商品をどの販売者から仕入れるかを決定する。発注によって購入者は販売者に購入する商品のリスト(情報)を送り、販売者はそのリストを受け取る。実際の商品(財)の譲渡は輸送によって行われる。購入者は販売者に対し商品の対価を支払い、販売者はそれを受け取る。

いまメーカーから商品を購入した卸売商は、次の段階では、別の卸売商が小売商に対して商品を販売することになる。その際には、販売価格の決定を行い、また必要に応じて商品(財)の簡単な加工や組み立て、リパッケージ、注文にあわせた調整なども行

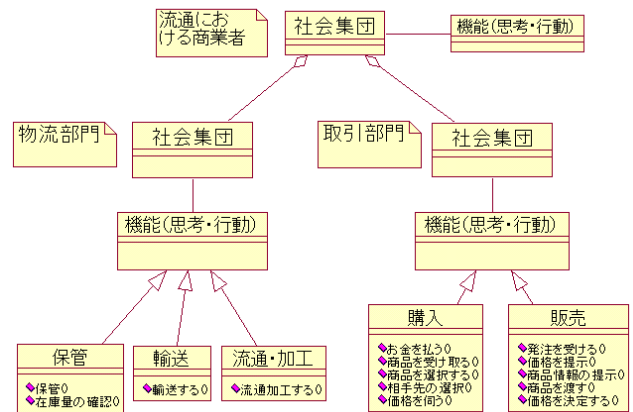


図 4: 流通機構における事業者の一例(部門別の表記)

う。また販売の動向をみて、在庫管理によって適切な在庫量を決定し、適宜商品を購入することによって最適在庫量を保つ。これらが「購入」、「販売」、「輸送」、「保管」、「流通加工」の基本機能であり、流通過程はこの繰り返しである。また、この過程に第三者が介入することも可能⁴であり、その場合には、関係をもとに新たにその第三者との間に経路が開かれることになる。

5.3 基礎モデルの適用とその可能性

本論文では、基礎モデルの適用例として流通機構を取り上げたが、他にも様々な経済主体による様々な経済活動を基礎モデルによって表現することができる。

経済学的な視点でみると、経済構造や制度を変化させるような政策や技術の効果予測など、従来のマクロモデルでは表現が難しい事象も、Boxed Economyの基礎モデルによって表現ができるようになるため、分析対象が広がることになる。例えば、今までの医薬品(財)の流通機構は、メーカー、薬系問屋、薬局・薬店などの小売店(経済主体)という構成であり、関係強化による一本化の流れがあったが、規制緩和によって、小売店と卸売りへの(仕入れ先・価格等の)決定権の移行や、一般小売店での一部医薬品販売の許可など、流通過程に様々な変化が予想されている。このような、規制緩和の経済効果などの分析は、Boxed Economyを用いた経済分析の一つのトピックとなる

⁴ 例えば図 4 のように「輸送機能」(輸送・荷役)をもった異なる社会集団(企業)が、その機能(活動)を果たす。実際「輸送機能」を持たず他の流通機能を持たない運輸業は、日本産業における大きな位置を占めている。

だろう。

また経営学的な視点でみると、情報ネットワーク化や経済構造の変化に伴う、企業間関係や企業-消費者間関係などの変化が表現できるようになるため、経営における意思決定に対する新たな判断材料となると思われる。

6 さいごに

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部分モデルの交換による比較実験や再利用を可能とする、Boxed Economy Model を提案し、その基礎モデルの適用例を示した。科学的に信頼性が高く大規模なシミュレーションを構築するために必要とされることは、Booch[?]の言葉を借りるならば、アドホックな「犬小屋の開発」スタイルから「高層ビルの開発」スタイルへの移行である。柔軟に再利用できるメカニズムが明快な形で提供されることで、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と思われる。

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] B. Bergmann and R. Bennett. *A Microsimulated ransactions Models of the United States Economy*. The Johns Hopkins University Press, 1986.
- [2] G. Orcutt, S. Caldwell, and R. Wertheimer. *Policy Exploration through Microanalytic Simulation*. The Urban Institute, 1976.
- [3] N. Basu, R. J. Pryor, and T. Quint. ASPEN: A microsimulation model of the economy. *Computational Economics*, 12:223–241, 1998.
- [4] C. Bruun. Agent-based Keynesian economics. In R. Conte, R. Hegselmann, and P. Terna, editors, *Simulating social phenomena*, pages 279 – 285. Springer-Verlag, 1997.
- [5] Roger A. McCain, editor. *Agent-Based Computer Simulation of Dichotomous Economic Growth*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [6] 出口 弘. 産業社会の変化とポリエージェントシステム. In 高木晴夫, 木嶋恭一, and 出口弘, editors, *マルチメディア時代の人間と社会：ポリエージェントソサエティ*, pages 279 – 285. 日科技連出版社, 1995.
- [7] 井庭崇, 廣兼賢治, 吉川知宏, 武藤佳恭, and 竹中平蔵. Boxed Economy モデルによる政策分析手法の提案. In 政策分析ネットワーク 政策メッセ 99, 1999.

- [8] T. Iba, M. Hirokane, Y. Takabe, H. Takenaka, and Y. Takefuji. Boxed Economy Model: Fundamental concepts and perspectives. In *Proceedings of Computational Intelligence in Economics and Finance*, 2000.
- [9] 井庭崇, 中鉢欣秀, 高部陽平, 廣兼賢治, 津屋隆之介, 田中潤一郎, 上橋賢一, 北野里美, 高松祐三, 石渡元春, and 竹中平蔵. 箱庭経済シミュレーションの基礎モデル、および政策分析への可能性. In 政策分析ネットワーク 政策メッセ, 2000.
- [10] 井庭崇, 廣兼賢治, and 高部陽平. Boxed Economy : リアリティのある経済モデルへ. In 第 4 回進化経済学会 (JAFFEE2000), 2000. Poster Session.
- [11] 井庭崇. エージェントベース経済学の構築に向けて. In *Be Ambitious Conference 2000 (BAC2000)*, 2000.
- [12] T. Iba, M. Hirokane, H. Kawakami, Takefuji Y., and H. Takenaka. Exploratory model building: Toward agent-based economics. In 第四回進化経済学会論集, 2000.
- [13] N. Minar, R. Burkhart, C. Langton, and M. Askenazi. The swarm simulation system: a toolkit for building multi-agent simulations. <http://www.santafe.edu/projects/swarm/overview/overview.html>, 1996.
- [14] C. Langton, R. Burkhart, I. Lee, M. Daniels, and A. Lancaster. The swarm simulation system. <http://www.santafe.edu/projects/swarm>, 1998.
- [15] W. Pree. *Design Patterns for Object-Oriented Software Development*. Addison-Wesley, 1995.
- [16] I. Jacobson, M. Griss, and P. Jonsson. *Software Reuse : Architecture, Process and Organization for Business Success*. ACM Press, 1997.
- [17] 中谷多哉子, 青山幹雄, and 佐藤啓太, editors. ソフトウェアパターン. 共立出版, 1999.
- [18] Charlotte Bruun. Prospect for an economics framework for swarm. In <http://www.socsci.auc.dk/cbruun/>, 2000.
- [19] 井庭崇. シミュレーション・コードによる政策コミュニケーションの進化. In 政策分析ネットワーク 政策メッセ, 2000.
- [20] 井庭崇. シミュレーション・コードの誕生と経済学的コミュニケーションの進化. In 進化経済学会第 5 回大会, 2001.
- [21] 中鉢欣秀, 井庭崇, 松澤芳昭, 浅加浩太郎, 海保研, 廣兼賢治, and 高部陽平. Boxed Economy 基礎モデルのプロトタイプング: デザインパターンによるアプローチ. In 電子情報通信学会「人工知能と知識処理」, 情報処理学会「知能と複雑系」合同研究会, 2001.
- [22] Peter Coad and Mark Mayfield. *Java Design: Building Better Apps & Applets*. Yourdon Press, Prentice Hall PTR, 2 edition, 1999.