

Boxed Economy Foundation Model: 社会・経済のエージェントベースモデリングのためのフレームワーク

井庭 崇^{†1,†3,†2} 中鉢 欣秀^{†4} 松澤 芳昭^{†4}
海保 研^{†4} 武藤 佳恭^{†5}

本論文では、エージェントベースアプローチによって、社会・経済のモデルとシミュレーションを作成するためのフレームワーク「Boxed Economy Foundation Model」を提案する。このフレームワークは、モデル化の対象を明確化するための「概念モデル・フレームワーク」と、モデルをシミュレーションとして実現するための「設計モデル・フレームワーク」の2つで構成されている。提案フレームワークによる記述例を示すために、規格競争モデルを取り上げる。

Boxed Economy Foundation Model: Framework for Agent-Based Modeling of Economies and Societies

TAKASHI IBA,^{†1,†3} YOSHIHIDE CHUBACHI,^{†4} YOSHIAKI MATSUZAWA,^{†4}
KEN KAIHO^{†4} and YOSHIYASU TAKEFUJI^{†5}

In this paper we propose “Boxed Economy Foundation Model” (BEFM), which is a model framework for agent-based economic/social model. It defines the set of concepts for modeling economy/society, and supports from the analysis of target world to the execution of simulations. BEFM consists of 2 frameworks: the conceptual and the design framework. We introduce our model of the format competition as an example of the model based on BEFM.

1. はじめに

本論文では、エージェントベースアプローチによって、社会・経済のモデルとシミュレーションを作成するためのフレームワークを提案する。エージェントベースアプローチとは、社会・経済を多数の自律的主体（エージェント）のミクロ的な相互作用からなるシステムとしてモデル化するものである。このアプローチは、社会・経済を「複雑系」（システムを構成する要素の振舞いのルールが、動的に変化するシステム¹⁾）

として捉えるための具体的方法として重要である²⁾。

本論文では、このようなモデルを記述可能とするために、モデルの基本構造を「モデル・フレームワーク」として設定し、その上で、動的に変化するモデルを作成するという方法を提案する。

2. モデル・フレームワークとは

モデル・フレームワークとは、モデルによく現れる構造を抽出し明示化したものである。モデル要素を構造化したり操作したりするための注目点と構成原理を提供するため、モデル作成を容易にし、さらに異なるモデル作成者の作ったモデルどうしの融合や、モデル要素の再利用が可能となる。本論文では、「概念モデル・フレームワーク」と「設計モデル・フレームワーク」の2つに分けて提案する。

2.1 概念モデル・フレームワークとその役割

概念モデル・フレームワークは、エージェントベースアプローチによって社会・経済をモデル化する際に、共通して（もしくは多くの頻度で）登場する構造を抽出

^{†1} 千葉商科大学 政策情報学部

Faculty of Policy Informatics, Chiba University of Commerce

^{†2} フジタ未来経営研究所

Fujita Institute of Future Management Research

^{†3} 慶應義塾大学 政策・メディア研究科

Graduate School of Media and Governance, Keio University

^{†4} 慶應義塾大学 SFC 研究所

Keio Research Institute at SFC, Keio University

^{†5} 慶應義塾大学 環境情報学部

Faculty of Environmental Information, Keio University

したものである。モデル作成プロセスにおいては、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)を明確化する「分析フェーズ」で用いられる。概念モデル・フレームワークは、現実世界の認識のための準拠枠となり、モデルを記述するための語彙を提供し、そしてモデル作成者間のコミュニケーション・コードとしてはたらく。

2.2 設計モデル・フレームワークとその役割

設計モデル・フレームワークは、概念モデルとして得られたものを、シミュレーションとして実現するためのフレームワークである。モデル作成プロセスにおいては、モデルをシミュレーションとして「どのように実現するのか」(How)を決定する「設計フェーズ」で用いられる。設計モデル・フレームワークは、ソフトウェア・アーキテクチャの一部になり、プラグポイントの仕様を規定するので、モデルをコンポーネントとして分割して扱うことが可能になる。これにより、容易に一部を再利用したり拡張したりできるようになる。

3. モデル・フレームワークの提案: Boxed Economy Foundation Model (BEFM)

本論文で提案するモデル・フレームワーク「Boxed Economy Foundation Model」(以下、BEFM)は、現実の社会・経済をオブジェクト指向分析によって抽象化したものであり、エージェントベースによる社会・経済モデルの基本デザインを提供するものである。BEFMは、概念モデル・フレームワークと設計モデル・フレームワークで構成され、それらに基づいて作成されたモデルは、Boxed Economy Simulation Platform (BESP)³⁾⁴⁾上でシミュレートすることができる。

3.1 BEFM 概念モデル・フレームワーク

BEFM 概念モデル・フレームワークの中心的な構造は、図1のようになっている。World (世界)、Space (空間)、Clock (時計)、Entity (実体)、Agent (主体)、Goods (財)、Information (情報)、Behavior (行動)、Relation (関係)、Channel (経路)などのクラス(型)から構成されている。各クラスについてまとめると下のようになる。

3.1.1 World, Space, Clock

BEFMでは、対象世界を表現するために「World」クラスが定義されている。「World」は、固有の空間と時間によって規定されており、それらを「Space」と「Clock」によって表現する。Worldには、後述のEntity (AgentとGoods)を配置することができる。

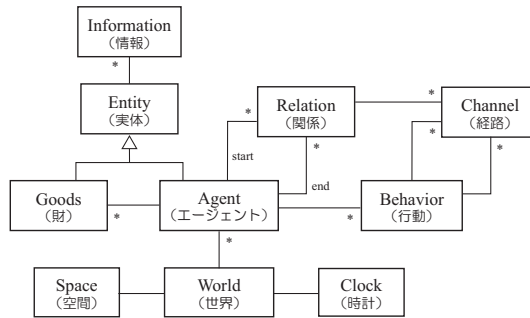


図1 Boxed Economy Foundation Model (概念モデル・フレームワーク)の中心的なクラス図

3.1.2 Entity, Agent, Goods

BEFMでは、世界に存在する実体(「Entity」)として、AgentとGoodsが定義されている。Entityには、後述するInformationを付随させることができる。

社会・経済において、様々な活動を行う個人や社会集団(企業・政府・家族・学校・地域社会・国)は「Agent」として表現される。Agentは、Goodsを所有することができる。Agentの行動(振舞い)は、後述するようにBehaviorとして定義する。

Agentに所有し交換される有形/無形の様々なものを表すために、「Goods」クラスがある。Goodsとしてモデル化されるものには、例えば、自動車、石油、トウモロコシ、株、土地の権利、書籍、広告、日記、閲覧板、水、声、騒音、ごみ、貨幣などが考えられる。

3.1.3 Information

Entityが保持する情報は「Information」によって表現できる。例えば、Agentが記憶した情報や、Goodsに付随して取引される情報などは、Informationとして定義される。Informationは単独では存在せず、必ずEntity(AgentまたはGoods)によって保持される。

Agentが保持するInformationは、主体の内部に貯蔵されている「記憶」や「遺伝子」をはじめとして、Agentの様々な属性を表現することができる。GoodsにInformationが付随するというモデル化は、例えば、新聞を「紙」(Goods)に「記事内容」(Information)が付随したものと捉え、会話を、無形で瞬間的な「声」(Goods)に「会話内容」(Information)が付随したものと捉えるということである。

3.1.4 Behavior

エージェントの行動は「Behavior」として表される。例えば、企業における生産行動や販売行動、個人における購買行動や労働行動などは、どれも個別にBehaviorとして表現されることになる。Agentは、複

数の Behavior をもつことができ、それぞれを並列的に動作させることができる。Behavior はモデルの振舞いを決定する最も重要なモデル要素である。

3.1.5 Relation, Channel

ある Agent から他の Agent への関連性は「Relation」によって表現する。これにより、友人関係や家族関係、雇用関係、行きつけの店などの関係を表現することができる。実際のコミュニケーションの際には、この Relation に基づいて開設されるコミュニケーション・パスである「Channel」を通じて、商品や会話内容、貨幣などの Goods をやりとりする。

3.2 BEFM 設計モデル・フレームワーク

3.2.1 Behavior の状態遷移と Event

エージェントは、外界のイベント（影響を及ぼす様々な出来事）に応じて何らかの応答をする。しかし、同じイベントが起きた場合でも、現在の自分の状態によって異なる反応をすることがある。このような動的な振舞いを実現するために、BEFM では、エージェントの持つ Behavior を「状態機械」として定義する。

状態機械とは、何らかのトリガーとなるイベントを受け取って状態を遷移させながら動くシステムである。状態機械では、状態を遷移するためのきっかけとして外部からの刺激を想定するが、この刺激が「Event」で表される。Event には、時間が経過したことを表す「TimeEvent」と、なんらかの Goods が送られてきたことを表す「ChannelEvent」がある。Behavior は、これらの Event を受け取ることで状態を遷移させる。

エージェントベースモデルでは、エージェントの内部状態が動的に変化するということが強調されるが、BEFM では、Agent は複数の Behavior を並列的に実行することができる。内部状態を各 Behavior にもたせることで、エージェント内部における複数の行動の並行的な動作と、その状態の多様な組み合わせを実現することができる。

4. Boxed Economy Foundation Model (BEFM) の適用事例

BEFM にもとづくモデルの例を示すために、井庭・竹中・武藤⁵⁾の規格競争モデルを取り上げたい。この規格競争モデルに登場する Agent と Behavior をまとめると、図 2 のようになる。このうち、最初の段階で Consumer エージェントが持っている Behavior は、RecognizeVCRNeedsBehavior と ReplyFormatBehavior のみである。

シミュレーションの流れは、おおよそ次のようになる。

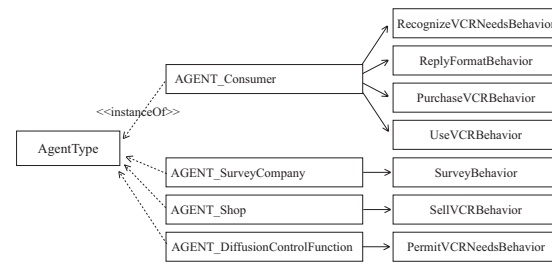


図 2 規格競争モデルにおける AgentType と Behavior

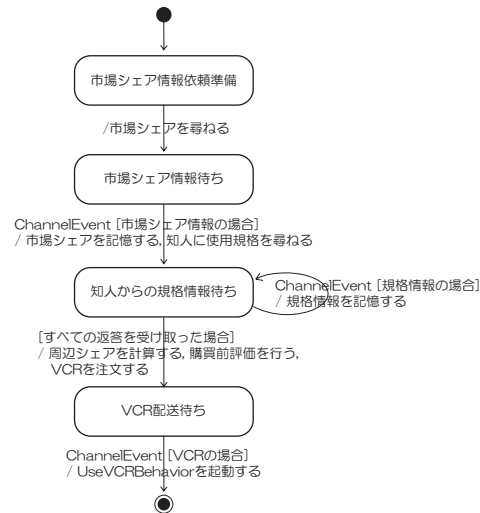


図 3 Consumer エージェントの PurchaseVCRBehavior

Consumer エージェントが RecognizeVCRNeedsBehavior で欲求認識した場合には、PurchaseVCRBehavior を生成し、RecognizeVCRNeedsBehavior はその役割を終え、消滅する。

PurchaseVCRBehavior が起動すると、早速自動遷移が実行され、SurveyCompany エージェントに市場シェア情報を依頼する（図 3）。SurveyCompany は、すでに SurveyBehavior で調べてある市場シェアを返答する。それを受けた Consumer エージェントは、今度は知人全員に使用規格を尋ね（図 3）、知人（これも Consumer エージェント）が ReplyFormatBehavior で返答する（図 4）。これらの情報をもとに、Consumer エージェントはどの規格を買うかを決定し、Shop エージェントに注文を出す（図 3）。Shop エージェントは、SellVCRBehavior で注文をストックしていく（図 5）。

そして、すべての Consumer エージェントが TimeEvent を受け取って行動した後、Shop エージェントに TimeEvent が送信される。Shop エージェントは、注文者全員に、VCR を配送していく（図 5）。VCR



図 4 Consumer エージェントの ReplyFormatBehavior



図 5 Shop エージェントの SellVCRBehavior

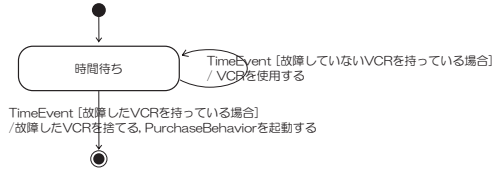


図 6 Consumer エージェントの UseVCRBehavior

を受け取った Consumer エージェントは、UseVCRBehavior を生成し、PurchaseVCRBehavior はその役割を終え、消滅する (図 3)。

Consumer エージェントは、次回から TimeEvent を受けるたびに、UseVCRBehavior によって VCR を使用 (耐久残存年数が減少) していく (図 6)。耐久残存年数が 0 になった場合には、その次の TimeEvent を受信したときに、PurchaseVCRBehavior を生成し、UseVCRBehavior が消滅する。Consumer エージェントは PurchaseVCRBehavior で、初回の購入と同じプロセスで VCR を再購入する (図 3)。

このモデル記述の特徴は、必要に応じて Behavior を、エージェント自身が追加したり削除したりしている点である。この流れをまとめたのが、図 7 である。BEFM にもとづいて記述したこの規格競争のモデルは、Boxed Economy Simulation Platform (BESP) 上でシミュレートすることができる (図 8)。

5. さいごに

ここ半世紀の間、ソフトウェア工学は大規模で複雑なシステムをどのように構築するのかという問題に取り組んできた。実はその中で生まれた考え方が、社会科学におけるモデル化においても有効であると、私たちは考えている。本稿では、社会・経済のモデル化に、オブジェクト指向とフレームワークの考え方を導入し、具体的にフレームワークを提案した。このようなアプローチによる基盤づくりは、著者らの手に余る壮大なプロジェクトである。ぜひ分野を超えた多くの方々とともに実現していきたいものである。

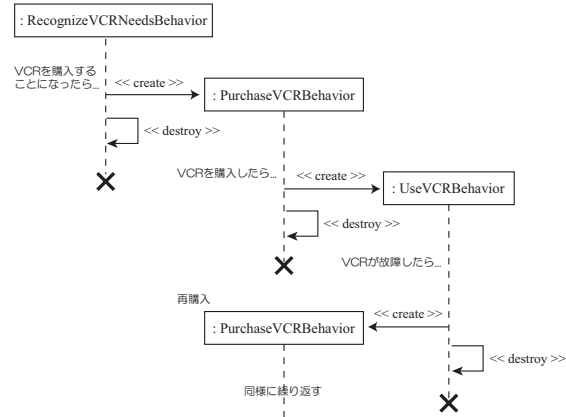


図 7 規格競争モデルにおける Behavior の動的な生成と消滅

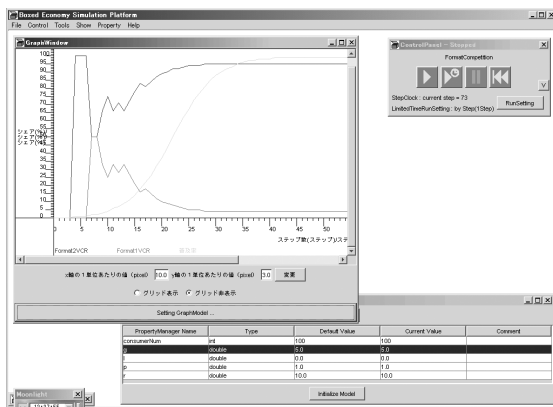


図 8 BESP 上での規格競争モデルのシミュレーション実行画面

参考文献

- 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
- 出口弘, 『複雑系としての経済学: 自律的エージェント集団の科学としての経済学を目指して』, 日科技連 (2000)
- Iba, T., Chubachi, Y., Matsuzawa, Y., Asaka, K., Kaiho, K.: Resolving the Existing Problems by Boxed Economy Simulation Platform, *Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems*, (Namatame, A., Terano, T., Kurumatani, K. (eds.)), IOS Press, pp. 59–68 (2002).
- Boxed Economy Project: 「BESP ユーザーズマニュアル」, <http://www.boxed-economy.org/> (2003)
- 井庭崇, 竹中平蔵, 武藤佳恭: 人工市場アプローチによる家庭用 VTR の規格競争シミュレーション, 情報処理学会「数理モデル化と応用」論文誌, Vol. 42, No. SIG14 (TOM5), (2001).