

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
designers@boxed-economy.org
http://www.boxed-economy.org/

†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

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研究のための共有基盤である「Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム」の構想とその基礎モデルを提案する。最初に、Boxed Economy シミュレーションプラットフォームが複数の研究者による協同活動のための土台となることを論じ、次に、経済社会のもつ基本的な構造をオブジェクト指向分析手法により抽象化した「Boxed Economy 基礎モデル」を提案する。最後に、流通機構の一部を例として、「社会集団」コンポーネントと「機能」コンポーネントの特徴を明らかにし、Boxed Economy の適用の可能性を考察する。

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, オブジェクト指向分析, 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}, Ryunosuke Tsuya^{†6}, Satomi Kitano^{†6}, Masaharu Hirokane^{†5}

†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
http://www.boxed-economy.org/

Abstract

In this paper, we propose the concept of “Boxed Economy Simulation Platform” and its foundation model, which is a sharable foundation for agent-based economic simulations. First, the role of “Boxed Economy Simulation Platform” working as a platform for researchers to form a collaborated research, is discussed. Next, the report of “Boxed Economy Foundation model” which is a abstraction of real economic society structured by object-oriented analysis, is made. At last, we discuss about the possibility of our model for practical use, by realizing part of the model of distribution structure which is a structure of flow of items in the real society. At the same time, we present the idea of “social group” components and “function” components which weighs a lot to talk about our model.

key words agent, agent-based economic simulation, artificial economy, object-oriented analysis, 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研究のための共有基盤である「Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム」の構想とその基礎モデルを提案する。エージェントベース経済シミュレーションとは、多数のエージェント(自律的主体)がミクロ的な経済活動を行うことによってマクロ現象が生成されるような人工経済シミュレーションのことである。本論文で提案する「Boxed Economy 基礎モデル」は、経済社会のもつ基本的な構造を抽象化しており、エージェントベース経済シミュレーションのための基本デザインを提供している。以下では、研究の背景とその意義を概観した後に、基礎モデルをカタログ・スタイルで定義し、その適用例によって特徴を明らかにしていく。

2 研究の背景

これまで経済分析や政策効果分析では、主にマクロ計量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も捉え損ねてしまうことがある [1]。

この問題を踏まえて、ミクロレベルの経済行動からマクロ経済をシミュレートする「マイクロシミュレーション」の研究が行われてきた [2, 3]。このようなミクロ経済学とマクロ経済学の壁を越える試みは、近年の分散人工知能の研究成果やコンピュータの性能向上を受けて、「エージェントベース経済シミュレーション」というかたちで展開されつつある。最近の研究としては、ASPEN モデル [4]、Agent-Based Keynesian Economics モデル [5]、Dichotomous Economic Growth モデル [6]、バーチャルエコノミーモデル [7] などがあり、人工市場研究とともに注目を集めている¹。

一般に、理論の発展のためには、多くの研究の積み重ねによるモデルの洗練・拡張が重要となる。特にエージェントベース経済シミュレーション研究に

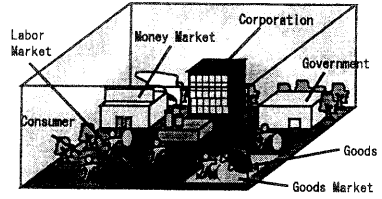


図 1: Boxed Economy のイメージ図

おいては、対象となる経済社会が多数の要素からなる複雑なシステムであるため、現実性のあるモデルを作成するためには、複数の異なる視点からの協同活動によってモデルを巧みに構成していく累積的な研究過程が不可欠である²。しかし、エージェントベース経済シミュレーション研究の現状では、必ずしもそのような協同活動が実現されているとはいえない [11]。

このような現状を踏まえ、私たちはエージェントベース経済シミュレーション研究の共有基盤として「Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム」を提案し、その構築に取り組んでいる [12, 13, 14, 15]。Boxed Economy では、経済を記述するための基礎モデルを提供することにより、協同活動のための土台づくりを行う³。基礎モデルとは、いわば経済社会を記述・シミュレートするための「言語」を形成する言語体系の根幹をなすものである。

3 経済シミュレーション研究の共有基盤としての Boxed Economy

Boxed Economy シミュレーション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研究のための共有基盤として以下のことを実現する。

第一に、これまで主観的な社会認識を客観化して伝達するための手段であった文字、数式、図式、画像などのコミュニケーションのコード(記号)に代わり、動的で複雑な表現が可能な「シミュレーション・コード」 [17, 18] と呼び得る新しいコード体系を提供する。シミュレーション・コードとは、シミュレー

¹ 人工市場 (artificial market) 研究は、元来ミクロ経済学が扱ってきた、経済主体と経済現象の関係、および市場メカニズムの分析などを対象としている [8]。これに対し、人工経済 (artificial economy) 研究は、元来マクロ経済学が扱ってきた、財市場・労働市場・資産市場を含む「経済全体の循環」、および政策効果の分析などを対象としている。両者は、研究対象が経済現象であるという点とエージェントベースであるという点に共通性があるが、上記のように扱う対象と目的が異なっている。人工市場研究に関する詳細はサーベイ論文 [8] を参照してほしい。

² 科学的仮説形成の過程における協同活動の効果に関しては、社会心理学の実験によって、発想の活性化や推論誤りの回避に有効であることが確かめられている [9, 10]。

³ 同様の問題意識から協同活動のための土台を構想しているものに、X Economy [16] がある。そこでは、ゲーム性のある標準問題を設定することによって協同活動を活性化させるアプローチがとられている。経済社会を記述するための標準的な言語 (シミュレーション・コード) の提供と共有を第一目的とする Boxed Economy とは異なり、アプリケーションのコンテキストを共有することを第一目的としている点に特徴があると思われる。

ションにおける部分モデルをコンポーネントとして切り分け、それらを組み合わせることで多様な社会表現を可能にするものである。これによって経済学や政策研究において、理論やモデルを文章や数式のような静的なレベルではなく、動くかたちで伝達・共有することができるようになる。

第二に、個々の研究者の構成的手法によるシミュレーション研究を効率化する。「構成的手法」とは、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プロセスのことであり、複雑系科学などで用いられている方法である。社会シミュレーションを構成する部分モデルは、多くの場合実証されていない仮設的なものであるため、模索的に代替的な部分モデルを交換・比較しながら妥当性を検証していくことになる [19]。Boxed Economy では、社会モデルの形式表現と、これをもとに動作するコンポーネントフレームワークを提供することで構成的手法を支援する。

第三に、経済社会モデルの開発を複数の研究者によって並行して行うことを可能にする。人工経済を現実と近くなるように作り込んでいくためには、多くの分野の研究者や実務家の参加が不可欠である。Boxed Economy は、その基礎モデルによって部分モデル同士の関連を定義しているため、独立して作成されたコンポーネントである場合にも整合的に動くことが可能となる⁴。

4 Boxed Economy 基礎モデル

「Boxed Economy 基礎モデル」は、経済社会をモデル化するために使用する分析の枠組みを提供するものである。基礎モデルは、経済行為という観点から実社会における経済行為の主体と要素を、オブジェクト指向分析を用いて非常に高い抽象度で抽象化したものである。経済社会の構成要素から、「属性」と「振舞い」が共通である「もの」(=オブジェクト)がまとめられ、「クラス」として抽出される。また、クラス間の「結びつき」についても「関連」として抽象化される。

図2は、基礎モデルで規定されているクラスとその関連を「UML」(Unified Modeling Language: 統

⁴ これまでマルチエージェントシミュレーションのための汎用コンポーネントライブラリとして「Swarm」[20]などが提案されてきたが、単にコンポーネントの共有を目指すだけでは、拡張性の特徴を十分に発揮できないことが知られている [21]。そのため最近ソフトウェア工学においては、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が重要であるとされている。Boxed Economy はフレームワークにより、経済全体をシミュレートするために必要なアーキテクチャの文脈づけを行う。

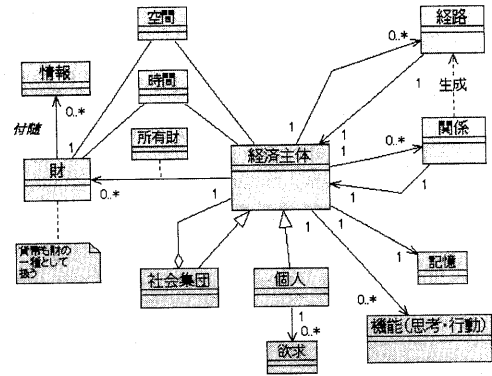


図2: Boxed Economy 基礎モデル

一モデリング言語 [22]) によって表現したものである。基礎モデルには、現時点で13個のクラスが定義されており⁵、これらを「基礎モデルクラス」と呼ぶ。これらは、次のように分類できる。

- 経済主体・社会集団・個人
- 財・情報・所有財
- 機能(思考・行動)・記憶・欲求
- 関係・経路
- 時間・空間

ここで、エージェントベース経済シミュレーションの主役となる「エージェント」は、[経済主体]を核として[機能]と[記憶]を組み込むことで表現され、それを取り巻くクラスと関連して経済活動を行う。

以下では、主要な基礎モデルクラスについて、その定義、現実社会の対象との対応、説明、他クラスとの関連をカタログ・スタイルで示す⁶。

4.1 経済主体・社会集団・個人

[経済主体]

定義	人工社会において経済活動を行う主体。
対応	消費者、企業、銀行、政府など。
説明	[経済主体]は経済活動を行う主体の核であり、これにいくつかの[機能]や[記憶]が組み込まれることによって、「エージェント」となる。[経済主体]は、実質的には[個人]や[社会集団]のことを指す。

⁵ 本論文で定義した基礎モデルおよびその定義は現時点におけるものであり、今後若干の修正や拡張がなされることがある。

⁶ 論文 [23] では、基礎モデルをもとに簡単な経済活動をソフトウェアとして実現している。そのプロトタイプや技術的な考察は、そちらを参照してほしい。

関連 [経済主体]は1つ以上の[機能]と[記憶]をもっている。また、複数の[財]を所有し、他の経済主体との[関係]をもとに[経路]を開いて[財]を交換することができる。

[社会集団]

定義 [経済主体]が集まって形成される集団。
対応 企業、家族、地域共同体など。
説明 [社会集団]は[経済主体]として意思決定し行動する。[社会集団]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る。ある[社会集団]が他の[社会集団]に帰属するというような入れ子構造も可能である。

関連 上位クラスである[経済主体]の特徴を継承しており、[記憶]、[機能]、[財]、[関係]、[経路]を保持する。

[個人]

定義 人工社会における一人の人間。
対応 人間。
説明 [個人]は[経済主体]として意思決定し行動するが、[社会集団]とは異なり、それらは[欲求]に基づいて行われる。[個人]は[社会集団]を構成する最小単位の存在である。

関連 上位クラスである[経済主体]の特徴を継承しており、[記憶]、[機能]、[財]、[関係]、[経路]、および[欲求]を保持する。

4.2 財・情報・所有財

[財]

定義 [経済主体]によって所有し交換される有形/無形のもの全般。
対応 商品、サービス、貨幣など。
説明 [財]は、名称、種類、有形/無形、製造年月日、基本耐久時間、所在位置、移動可能性、分割可能性、数量、単位などの属性を持つ。[情報]の入れ物(キャリア)や貨幣も、[財]の一種として扱われる。
関連 [経済主体]に所有されることにより、[所有財]となる。なお、[情報]は必ず[財]に付随するものとしてやりとりされる。

[情報]

定義 様々な事柄が表現された知識内容。
対応 書物に記載された知識、広告・会話の内容など。

説明 [情報]は単独では存在せず、必ず[財]に付随している。例えば、書物は紙という[財]に[情報]が付随したものであり、会話は声という無形で瞬間的な[財]に[情報]が付随したものとして表現される。[経済主体]によって読込・記述が行われるが、それらが[経済主体]内部に取り入れられるときには、何らかの変換がなされて[記憶]として蓄積される。

関連 [情報]は必ず[財]に付随するものとしてやりとりされる。

4.3 機能(思考・行動)・記憶・欲求

[機能(思考・行動)]

定義 それぞれの[経済主体]が行う意思決定・行動を役割別に分化させて規定したもの。

対応 企業における生産機能、戦略策定機能、販売機能など。個人における消費者としての意思決定・行動、被雇用者としての意思決定・行動など。

説明 [経済主体]が行う意思決定や行動は、役割別の[機能]として個別的に定義する。各[経済主体]は、その時々によって備わっている[機能]に定義されている意思決定と行動を実行することができる。

関連 [経済主体]により保持される。

[記憶]

定義 [経済主体]に蓄積された知識内容のこと。
対応 各主体が覚えている知識・経験など。

説明 [経済主体]の意思決定・行動の際に参照される。また、時間が経つことで失われたり、学習によって補強されることもある。

関連 [経済主体]により保持される。

[欲求]

定義 経済行動の駆動力となる欲。

対応 人間の欲求。

説明 [個人]がもち、[社会集団]はもたない行動メカニズムである。その欠乏状態が[個人]に何らかの行動を駆り立て、その結果[欲求]が充足する。

関連 [個人]により保持される。

4.4 関係・経路

[関係]

- 定義** [経済主体] が他の [経済主体] を知っている状態。
- 対応** 家族、友人、雇用、知り合い関係や、店の認知など。
- 説明** [関係] は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。また、[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る。[関係] は通常一方方向で表されるが、[経済主体] 同士がお互いに [関係] を結ぶことで双方向となる。
- 関連** [経済主体] が保有する。

[経路]

- 定義** [関係] に基づいて開設されるコミュニケーション・パス。
- 対応** 商品の取引における (概念上の) 通路、会話における言葉の (概念上の) 通路など。
- 説明** [経済主体] は、商品や会話内容、貨幣などの [財] を、[経路] を通じてやりとりする。例えば、小売商が顧客に商品を引き渡すことを表すには、小売商が顧客に対して [経路] を開いて商品 [財] を送ることになる。
- 関連** [経済主体] は [関係] に基づいて [経路] を開設し、[財] を送ることができる。

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利用して具体的に記述していく。ここでは例として「流通機構」を取り上げ、基礎モデルの可能性について考察する。

5.1 流通機構における事業者のモデル化

流通機構はメーカーや卸売商、小売商などの企業から構成されている。卸売商と小売商は基本的な機能は同じであるが、小売商は最終消費者に商品を販売し、卸売商はそれ以外の事業者に再販売をする点が異なっている。

Boxed Economy では、このような流通機構における主体を、「卸売商」や「小売商」というようなエージェント単位でモデル化するのではなく、それらの意思決定・行動を個別の [機能] ごとに分割して定義し、その組み合わせによって [社会集団] の特徴づけ

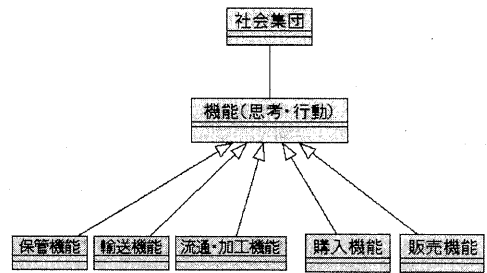


図 3: 卸売商と小売商のモデルの一例

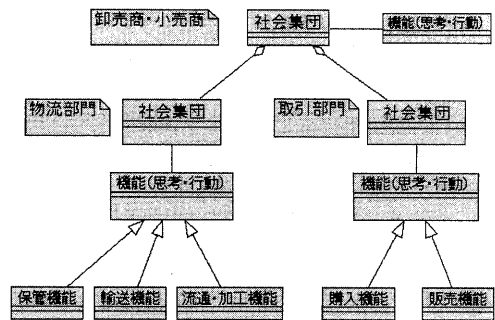


図 4: 卸売商と小売商のモデルの一例 (部門別モデル)

を行う。これにより、複数の主体がもつ同じ [機能] を共有することができ、また、拡張性のあるエージェントを表現することができる。

図 3 は、基本的な卸売商と小売商を「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。流通機構における販売・購入を例とすると、これらの機能を用いて、購入者である小売商が販売者である卸売商に [経路] を開き、購入商品リスト [情報] を送る。その後、卸売商が小売商に [経路] を開き、商品 [財] を送る。

基礎モデルでは [社会集団] と [機能] を組み合わせることにより、企業 ([社会集団]) の内部に部門 ([社会集団]) を設け、それぞれの部門に [機能] を委譲することができる (図 4)。また、これにより、部門が持つ [機能] を外部化したアウトソーシングや、「輸送機能」を専門とする運輸業を記述することも可能である。実際、近年の業界再編などにおいて企業機能の外部化や組み換えが盛んに行われているが、それらを経済シミュレーション上で実現するためにも、基礎モデルにおける [機能] 単位でのモデル化は不可欠である。

5.2 基礎モデルの適用とその可能性

Boxed Economy 基礎モデルを用いることにより、さまざまな社会シミュレーションを記述することができる。例えば、近年議論が盛んである業界再編などを再現することによって、企業の経営管理・戦略に関するシミュレーションとして活用することができる。開発・調達・製造・配送・販売の一連の業務[機能]全体の効率化をはかるサプライチェーン・マネジメントの導入によって、これまで部門ごと・企業ごとの最適化にとどまっていた情報・物流・キャッシュの効率性がどの程度改善されるのか、という分析が可能になる。また、大店法改正による規制緩和政策と、それに伴う経済状態の変化などを分析することによって、政策決定においての意思決定支援を行うことができる。このように、Boxed Economy は、経済構造や制度を変化させるような政策効果や技術効果の予測など、従来のマクロ経済モデルでは表現が困難な事象を扱うことを可能とする。

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研究のための共有基盤である「Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム」の構想と「Boxed Economy 基礎モデル」を提案した。社会シミュレーション研究における協同活動のための基盤づくりは、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。

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] 鈴木正俊. 経済予測. 岩波新書, 1995.
- [2] B. Bergmann and R. Bennett. *A Microsimulated ransactions Models of the United States Economy*. The Johns Hopkins University Press, 1986.
- [3] G. Orcutt, S. Caldwell, and R. Wertheimer. *Policy Exploration through Microanalytic Simulation*. The Urban Institute, 1976.
- [4] N. Basu, R. J. Pryor, and T. Quint. ASPEN: A microsimulation model of the economy. *Computational Economics*, Vol. 12, pp. 223–241, 1998.
- [5] C. Bruun. Agent-based Keynesian economics. In R. Conte, R. Hegselmann, and P. Terna, editors, *Simulating social phenomena*, pp. 279–285. Springer-Verlag, 1997.

- [6] Roger A. McCain, editor. *Agent-Based Computer Simulation of Dichotomous Economic Growth*. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [7] 出口弘. 産業社会の変化とポリエージェントシステム. 高木晴夫, 木嶋恭一, 出口弘 (編), 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, pp. 279–285. 日科技連出版社, 1995.
- [8] 和泉潔, 植田一博. 人工市場入門. 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 6, 2000.
- [9] T. Okada and H.A. Simon. Collaborative discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, Vol. 21, pp. 109–146, 1997.
- [10] K. Dunbar. How scientists think: On-line creativity and conceptual change in science. In T. B. Ward, S. M. Smith, and J. Vaid, editors, *Creative thought*, pp. 461–493. American psychological association, 1997.
- [11] E. Bruderer and M. Maier. From the margin to the mainstream: An agenda for computer simulation in the social sciences. In Hegselmann R. Conte, R. and P. Terna, editors, *Simulating Social Phenomena*, pp. 89–95. Springer-Verlag, 1997.
- [12] 井庭崇, 廣兼賢治, 吉川知宏, 武藤佳恭, 竹中平蔵. Boxed Economy モデルによる政策分析手法の提案. 政策分析ネットワーク 政策メッセ 99, 1999.
- [13] 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.
- [14] 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, 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. 政策分析ネットワーク 政策メッセ, 2000.
- [15] 井庭崇, 廣兼賢治, 高部陽平. Boxed Economy: リアリティのある経済モデルへ. 第4回進化経済学会 (JAFEE2000), 2000. Poster Session.
- [16] 車谷浩一. X economy project, 金融取引ゲーム x-mart, 国際貿易リーグ world trade league. 2000. <http://www.w-econ.org/>.
- [17] 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. 政策分析ネットワーク 政策メッセ, 2000.
- [18] 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. 進化経済学会第5回大会, 2001.
- [19] T. Iba, M. Hirokane, H. Kawakami, Takefuji Y., and H. Takenaka. Exploratory model building: Toward agent-based economics. 第四回進化経済学会論集, 2000.
- [20] 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.
- [21] W. Pree. *Design Patterns for Object-Oriented Software Development*. Addison-Wesley, 1995.
- [22] G. Booch, J. Rumbaugh, and I. Jacobson. *The Unified Modeling Language User Guide*. Addison-Wesley, 1999.
- [23] 中鉢欣秀, 井庭崇, 松澤芳昭, 浅加浩太郎, 海保研, 廣兼賢治, 高部陽平. Boxed Economy 基礎モデルのプロトタイプ: デザインパターンによるアプローチ. 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.