

# エージェントベース経済シミュレーションの ためのエージェント設計論

井庭 崇

## 1. はじめに

本稿では、近年応用への期待が高まりつつある「エージェントベース経済シミュレーション」におけるエージェントのモデル設計について考察と提案を行う。エージェントベース経済シミュレーションとは、経済・市場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しシミュレートするものである。この手法は経済や市場のダイナミズムを理解するための新しい道を拓くものとして国内外で注目を集めている。これまでも様々なシミュレーションが作成されているので、ここではまずそれらのモデルと実装について概観することから始めたい。そしてその後、柔軟性や再利用性を考慮したエージェントのモデル設計に関する方針を提案し、設計開発支援のための共有基盤として「Boxed Economy」のアプローチを紹介する。

## 2. エージェントによって社会を写し取る

現実世界をモデル化するという事は、その対象部分を体系的なまとまりとしてモデルに写し取るということである。エージェントベース経済シミュレーションでは、経済社会を多数のエージェントからなるシステムとして写し取る。ここでのエージェントとは、市場を対象とした場合にはトレーダーなどの市場参加者であり、経済全体の場合には、企業・政府・家族・学校・地域社会・国などの「社会集団」や「個人」である（表1）。

それでは、エージェントの相互作用として社会をモデル化することの意義はどこにあるのだろうか。その回答はこれまで様々な場面で個別に指摘されてきたが、次のようにまとめることができると思われる。まず第一に、社会を分解する際に個人や社会集団という単位

で区切ることは構造・認識の上で自然であり、また安定的であるということである。現実世界と同様の構造でモデル化するため経験的対応がとりやすく、諸科学の研究成果も組み込みやすいという利点がある。さらに、個人や社会集団、それらの相互作用という要素は、社会が社会である以上、時間や場所が変わっても存在しつづけると考えられるため安定的であるといえる。

第二に、行為主体としての個人や社会集団を導入することにより、主体ごとの異質性や主観的な情報認知、意思決定、学習などをモデルに組み込むことができるということである。これにより、現在主流である新古典派経済学や効率的市場仮説において想定されているような、完全情報による同質で合理的な経済主体のモデルとは異なる分析が可能となるのである[1, 23, 24]。

そして第三に、主体と主体が直接やり取りをするというかたちで社会の動態をモデル化することができるということである。これにより、概念的な市場メカニズムを通じてではなく、物理的空間や社会ネットワークを通じて個別具体的に相互作用を行うというモデルを扱うことができる[25]。ミクロ的な相互作用からマクロ現象が生成されるということを表現できるため、経済学や社会学で問題となってきたミクロとマクロの関係性について論じることができるようになるのである。

## 3. 設計の土台としてのオブジェクト指向

エージェントベース経済シミュレーションでは、経済社会をエージェントの相互作用として捉えるのであるが、そのようなモデル化はオブジェクト指向の考え方に非常に近く、実際相性が良いことが知られている[18, 26]。オブジェクト指向では、物理的あるいは概念的なモノのひとつひとつを構成要素として認識し、「オブジェクト」というまとまりで写し取る。オブジェクトは「属性」と「振る舞い」をひとまとめにカプセル化したものであり、オブジェクト指向ではこれら

いば たかし

慶應義塾大学 政策・メディア研究科  
〒252-0816 藤沢市遠藤 5322

表1 エージェントベース経済シミュレーションの先行研究におけるエージェント

モデル化の対象	実装言語	エージェント	エージェントの行動
株式市場 [1]	Objective-C, Swarm[2]	トレーダー	株価予測, 注文, 株売買
株式市場 [3]	C++ (X-Mart[4])	トレーダー	売買のタイミング決定, 注文, 株売買
株式市場 [5]	VC++	投資家	株価予測, 注文, 株売買
株式市場 [6]	Java	トレーダー	株価予測, 注文, 株売買
先物取引市場 [7]	Java(U-Mart[8])	取引所会員	株価予測, 注文方法・注文量・注文価格決定, 注文, 売買
外国為替市場 [9]	Pascal	ディーラー	レート予想, 戦略決定, レート・注文量決定, 注文, 売買
商品市場 [10]	Java, Java(ASIA[11])	生産者 投機家 オークション仲介者	生産, 消費, Bid, 売買 価格推定, Bid, 売買 Bid 要求, Bid 集計, 価格決定
オンラインオークション [12]	Java, Java(ASIA[11])	買い手 オークショナー	状況確認, Bid, 購入 Bid 要求, Bid 集計, 落札者・落札価格決定
排出権取引市場 [11]	Java(ASIA[11])	Nation COP	国内削減量決定, Bid, 取引 Bid 要求, Bid 集計, 価格決定, 取引許可
サプライチェーン [13]	IF/Prolog	工場 事業部 販社	生産, 在庫, 出荷 調達, 在庫, 出荷 調達, 在庫, 販売
規格競争 (VTR)[14]	C	消費者	欲求認識, シェア認知, 商品購入
規格競争 (フリーソフトウェア)[15]	MATLAB	潜在的採用者	シェア認知, 商品購入
環境マーケティング [16]	Delphi	消費者 生産者	商品購入 商品企画, 商品販売, 倒産, 行動の模倣, 行動規範の模倣
貨幣の自生と自壊 [17]	C	経済主体	財の生産, 物々交換, 記憶
社会 (Sugerscape)[18]	C, Java(Ascape[19])	架空の主体	移動, 収集, 消費, 生殖, 文化伝播, 略奪, 価格交渉, 物々交換, 融資, 返済, 疾病感染, 免疫応答
自律分散型市場 [20]	C, C++	企業 消費者	稼働率調整, 価格調整, 生産, 販売 購入
ケインジアン経済 [21]	Pascal	消費者 消費財生産者 資本財生産者	消費, 労働, 商品購入, 許容証券価格決定, 証券売買 生産, 雇用, 投資決定, 商品配送, 証券発行, 許容証券価格決定, 証券売買 生産, 雇用, 投資・注文決定, 資本財引渡, 証券発行, 許容証券価格決定, 証券売買
アメリカ経済 (ASPEN)[22]	C, C++	家計  食品製造業 非耐久財製造業 自動車製造業 住宅建設業 銀行  政府 連邦準備 不動産業 資本財製造業 「金融市場」	労働, 商品購入, 貯蓄・引出, 国債売買, 納税, 失業保険受取, 社会保障受取, ローン借入・返却 生産, 価格決定, 設備投資, 雇用, 販売, 納税, ローン借入・返却 預金・引出受入, 貸出・返却受入, 国債売買, 雇用, ローン貸出・返却受入, 中央銀行への準備預金預入・引出 徴税, 失業保険支給, 社会保障支給, 国債発行, 雇用 銀行への貸出・返却受入, 国債売買 賃貸料徴収, 雇用, 納税 生産, 雇用, 販売, 納税 国債取引の調整
バーチャル経済 [23]		政府 銀行 中央銀行 パン製造業 製粉業 農家 機械製造業 製鉄業 家計	公共投資, 雇用, 有利子国債発行・償還受入, 国債発行・償還受入, 徴税, 税率決定, 国債金利決定, 補助金支給 預金・引出受入, 貸出・返却受入, 中央銀行からの借入・返却, 中央銀行への準備預金預入・引出, 預金金利決定, 貸出金利決定 国債引受・償還, 銀行への貸出・返却受入, 銀行からの準備預金預入・引出受入, 公定歩合決定 価格決定, 原料購入, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取 価格決定, 原料購入, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取 価格決定, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取 価格決定, 原料購入, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取 価格決定, 生産, 販売, 設備投資, 雇用, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取 労働力供給, 購入, 住宅投資, 貯蓄・引出, 借入・返却, 納税, 有利子国債購入・償還, 補助金受取

のオブジェクトが役割を分担しながら相互作用することで世界が動いていると捉える<sup>1</sup>。このとき、一部のオブジェクトに自律性をもたせてエージェントとすることによってエージェントベースのモデルを表現できるのである。現在、エージェントベース経済シミュレーションの多くがオブジェクト指向言語を用いて実装されているといわれている[26]。

#### 4. エージェント設計のための鍵

##### 4.1 エージェント=主体+行動という捉え方

オブジェクト指向によってエージェントを表現する場合、現状ではエージェントをひとつのオブジェクトとして設計することが多い。例えば、C. Bruun[27]は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として、図1のようなエージェントのクラス階層の設計を提案している。またR. Axtell[25]などでも、エージェントを表すオブジェクトの操作としてエージェントの行動が定義されている。

ところが、現在多くの研究で行われているように、ひとつのエージェントをひとつのオブジェクトとしてストレートに設計すると、モデルの柔軟性や再利用性の面で問題が生じる。エージェントをひとつのオブジェクトにカプセル化してしまうため、行動の種類そのものが動的に変化するエージェントを作成する場合や、エージェントの一部を再利用する場合に限界があるのである。

そこで、柔軟性と再利用性を考慮したエージェント

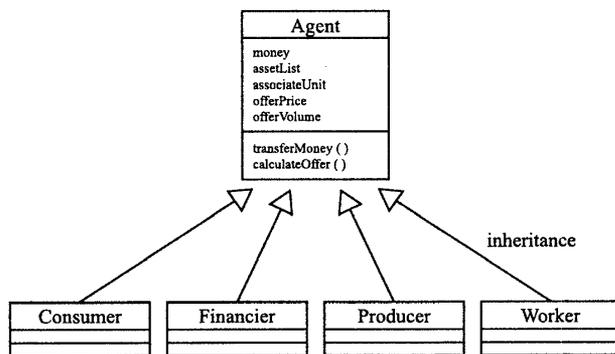


図1 エージェントを最小単位とする設計(C. Bruun[27]をもとに作成)

<sup>1</sup> オブジェクト指向の考え方は、世界を写し取るための手法として考案され発展してきたものであり、その起源は1960年代に開発されたシミュレーション言語SIMULAにさかのぼる。動的で複雑な現実世界をそのままコンピュータに取り込むための工夫がなされており、その工夫が現在のオブジェクト指向の考え方の本質をなしている。

の設計のために、「継承」を用いる代わりに「コンポジション」を用いることを提案したい[28]。コンポジションとは、役割を外部化するためのオブジェクトを用意し、もともと操作としてもつはずだった責務(役割)をそのオブジェクトに委譲するという設計のことである[29]。エージェントの設計においては、エージェントクラスの中に操作として行動を記述するのではなく、エージェントの役割別に行動クラスを作り、これらのオブジェクトを「主体」の核となる部分が保持するという設計となる(図2)。各行動はそれぞれ状態を持っており、外部とのやり取りなどによって状態が個別に遷移するということになる。

このようなエージェント表現は、エージェントを最小単位とする従来の設計にはない利点がある。それは第一に、ひとつのエージェントが複数の社会的役割を担っているということを自然な形で表現できることである。例えば、「消費者エージェント」や「労働者エージェント」という実在しない主体をモデル化するのではなく、「個人」が時として消費者の役割を担ったり、労働者の役割を担ったりするという表現になるのである。このようなエージェントが複数の役割を担うというモデル化は、特に経済全体をシミュレートするような場合に不可欠となる。経済社会におけるエージェントの異質性というのは、結局のところ行動や役割が異なるということから生じるからである。存在するのはあくまで個人や社会集団であり、それらの行う行動が異なるがゆえに異なる種類のエージェントとして識別されるのである。

行動を外部化する設計の第二の利点は、新しい行動の追加や削除、行動の手続きの変更などが可能になるということである。つまり、行動の上達や行動ルールの変更というレベルではなく、行動の種類が変化することを扱うことができるようになるのである。例えば、小売業が銀行機能の一部を担うようになることを表すためには、小売業のエージェントが、銀行のもつ機能の一部を取り入れる必要がある。従来のようなエージェント単位の設計では、小売業エー

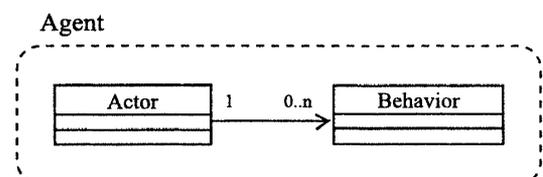


図2 「エージェント=主体+行動」とする設計[28]

エージェントや銀行エージェントというようにエージェントにその振る舞いをカプセル化しているため、多重継承で拡張するか、銀行兼務小売業エージェントのようなものを新たに作成するということになる。しかしこのような方法では、継承の階層が深く複雑化するため、長期的にみると限界がある[29]。経済全体が分析対象の場合には、時間的にも長期となり、状況によってエージェントが成長して行動の種類を変更したりすることが考えられる。それゆえ、エージェント単位で定義するのではなく、それらの個別の行動ごとに分割して定義し、コンポジションによってエージェントを特徴づけていくという設計が不可欠となるのである。

#### 4.2 複合的な主体としての社会集団

エージェントは相互作用により社会全体を構成するというだけでなく、中間領域として集団を形成することも可能である。このような社会集団はエージェントのひとつであるが、同時にその内部に他のエージェントを構成員としてもつ複合的な主体でもある。ここでは個人と社会集団の関係について図3のような設計を提案したい。この図は、個人や社会集団は主体の特徴を継承して備えていること、そしてそれぞれの社会集団が他の主体（つまり社会集団や個人）から構成されているということを表している。ここで社会集団は構成要素を排他的に拘束する階層構造ではないという点が重要である。ある個人が家族、学校、国という複数の社会集団に属しているというように、エージェントも複数の社会集団に属することが可能となる設計となっている。

#### 4.3 エージェントによる境界の自己決定

これまでみてきたようなエージェントの設計により、エージェントが自らの境界を自己決定・変更するモデルが実現できる。この境界決定・変更には構成員の増減、機能の組み換え、エージェントの生成・消滅という三つの方法が考えられる[31]。

まず境界変更の第一の方法は、エージェントが自ら

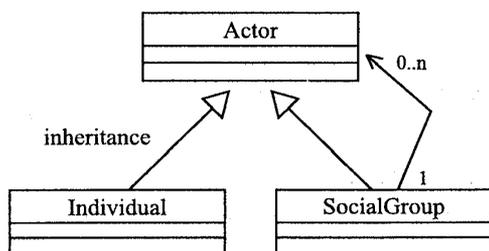


図3 社会集団のモデル設計[28, 30]

の構成員を増減させることによって自己の規模を拡張または縮小するということである。例えば企業を表すエージェントは、外部環境によって制約を受けながらも、自らの構成員である被雇用者を増やすことも減らすこともできる。また、分離・分割や合併・買収などによってその企業の境界自体が拡張したり縮小したりすることもある。境界変更の第二の方法は、エージェントのもつ行動の種類を増減させたり組み換えたりすることによって行われる。これは前節で説明したとおりである。そして境界変更の第三の方法は、エージェントが他のエージェントを創出できるという点にある。例えば、個人であれば生・死であり、家族であれば結婚・離婚、企業であれば起業・倒産ということである。以上のようなエージェントモデルの柔軟性は、動的な経済社会のシミュレーションを行う場合には、重要な要因となるだろう。

### 5. 共有基盤としての Boxed Economy

本稿ではエージェントのモデル設計に特化して論じてきたが、ほかにもエージェントベース経済シミュレーションのモデルを設計する上でのコツがいくつかある。これらをオブジェクト指向フレームワークとして定義したものが、現在私たちが提案している「Boxed Economy 基礎モデル」である[28]。「Boxed Economy 基礎モデル」は、経済社会のもつ基本的な構造をオブジェクト指向分析によって分析・抽象化したものであり、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するものである(図4)。

そしてさらに、Boxed Economy 基礎モデルに基づくモデルを実際に作成し動かすための開発実行環境が「Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム」である[32]。Boxed Economy シミュレーションプラットフォームは、オブジェクト指向言語 Java で実装されたソフトウェアであり、このシステムによって、これまで行われてきたプログラミング作業の多くを軽減でき、経済社会モデルも作成しやすくなるため、個々の研究者のシミュレーション研究を大幅に効率化することができる(図5)。

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・拡張が重要となるが、シミュレーション研究の場合には、その共有と累積は、数式などの設計レベルのものだけでなく、プログラムという実装レベルのものも対象となることが望ましい。シミュレーションにはモデルとプログラムという二層性

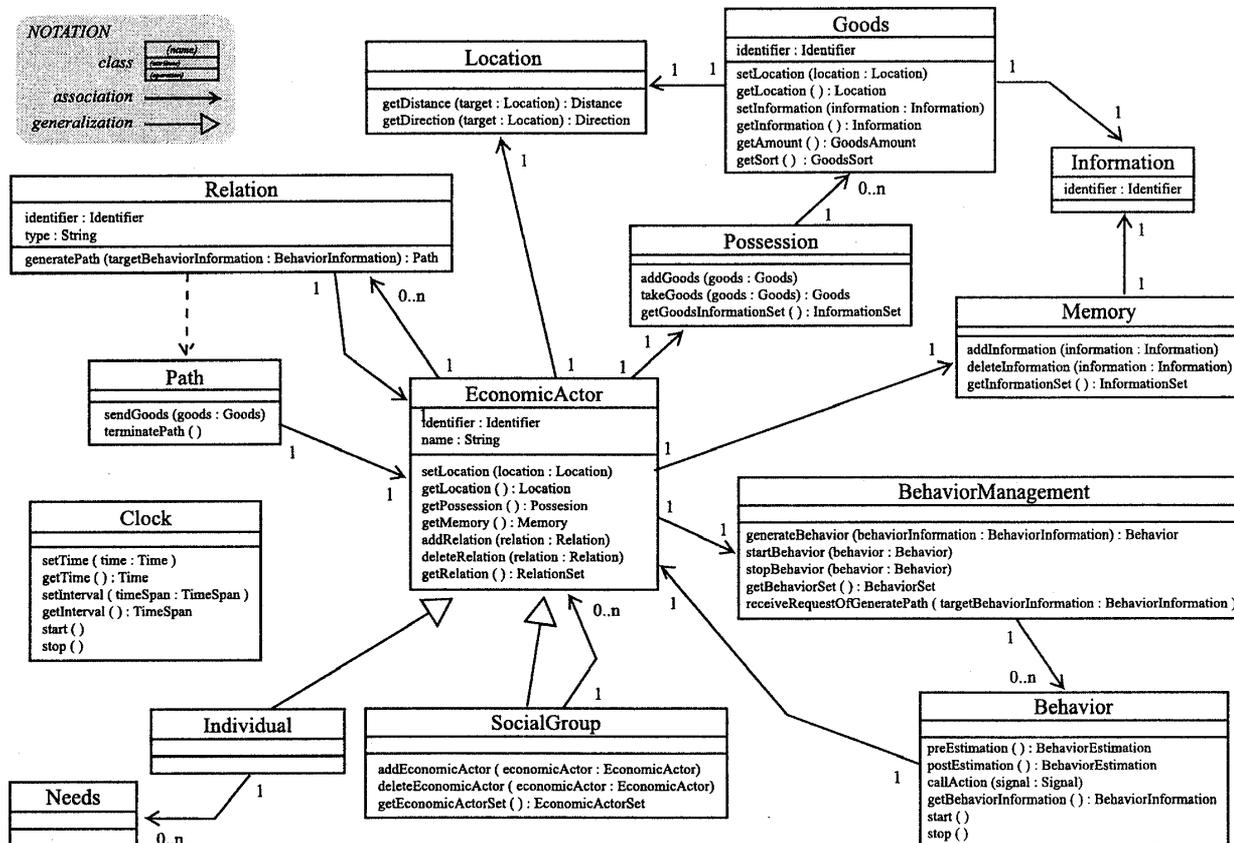


図4 Boxed Economy 基礎モデルの中心的な構造 [28, 32]

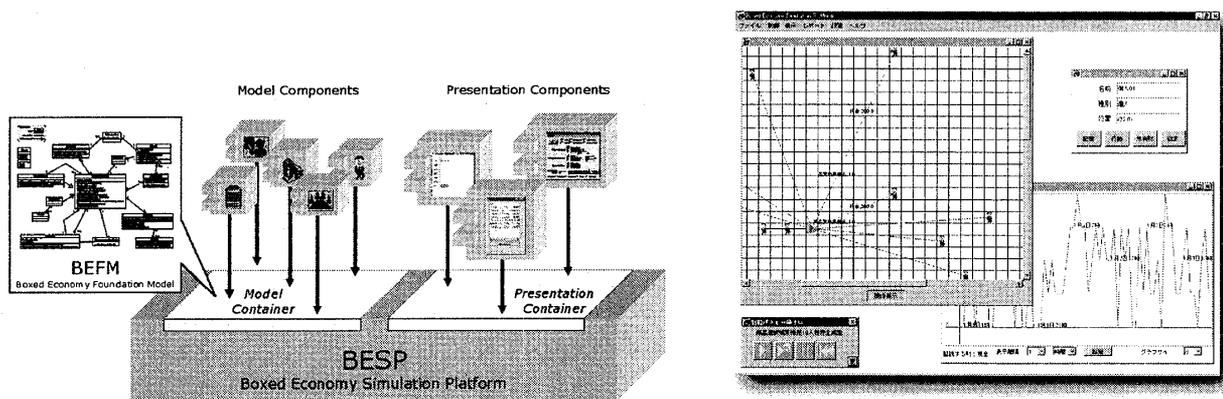


図5 Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム [28]

があるため、再利用の際にはモデルの整合性をとるだけでなく、プログラムの整合性もとれなければならないからである<sup>2</sup>。Boxed Economy によるアプローチでは、この設計と実装の両方のレベルをモデルフレームワーク (Boxed Economy 基礎モデル) と開発実行環境 (Boxed Economy シミュレーションプラットフォーム) によって支援することにより、シミュレーション研究の累積的発展の仕組みづくりが試みられているのである。詳しい情報や今後の発展に関しては、<http://www.boxed-economy.org/> を参照していただく

<sup>2</sup>プログラムの整合性をとるためには、基本的には実装に用いるプログラミング言語が同じであるか、プロトコルが互換性のあるものでなければならない。その上でモデルの粒度や区切り方、モデル内のプロトコルなどが統一されている必要がある。しかし、表1をみてもわかるようにこれまでの研究では実装言語は様々であり、作成者が異なる場合にはお互いのプログラムの再利用はほとんど行われていないのが現状である。しかし、再利用可能なプログラムの作成は通常に比べて1.5倍から3倍のコストがかかるため [33]、再利用性を考慮しないという選択は個々の研究者にとっては合理的であるといえる。それゆえ分野の発展のためには、現状に比べて、再利用性を考慮した上でもなお効率性が良くなるような開発環境を構築することが必須となる。

きたい。

## 5. さいごに

本稿では、エージェントベース経済シミュレーションにおけるエージェントの設計について考察と提案を行った。エージェントのより柔軟な設計として、コンポジションのメカニズムを用いた「エージェント=主体+行動」という設計方針を提案した。社会モデルとしての利点は、複数の社会的役割を担うモデルを自然に表現でき、エージェントのもつ役割が動的に変化する場合にも対応できるということであるが、工学的な利点としても、継承によるカプセル化の破壊を生じることがなくなるためコンポーネントの再利用性が高まるということがあげられる。このように、シミュレーションモデルの設計を考える場合には、社会モデルとしての利点と、ソフトウェア工学における利点とに注意を払うことが必要であろう。

本稿において、設計開発支援のための共有基盤として私たち Boxed Economy Project が提案する基礎モデルとシミュレーションプラットフォームを紹介したが、このようなエージェントベース経済シミュレーション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。

### 参考文献

- [1] Palmer, G. R., Arthur, B. W., Holland, J. H., LeBaron, B. and Tayler, P.: "Artificial economic life: a simple model of a stockmarket", *Physica D*, vol. 75, (1994), 264-274.
- [2] Minar, N., Burkhart, R., Langton, C., Askenazi, M.: "The Swarm Simulation System: A Toolkit for Building Multi-agent Simulations", <http://www.santafe.edu/projects/swarm/overview/overview.html>, (1996).
- [3] 山本隆人, 川村秀憲, 山本雅人, 大内東, 車谷浩一: "X-Economy を用いた人工市場における取引エージェントの設計", 計測自動制御学会システム工学部会・知能工学部会共催研究会, (2001), 45-48.
- [4] 川村秀憲, 山本雅人, 大内東, 車谷浩一: "X-Economy サーバによる仮想金融市場の設計と開発", 情報処理学会研究報告, Vol. 2001, No. 1, 2001-ICS-123, (2001), 61-66.
- [5] 横田毅, 小林康弘: "人工市場を用いた株価シミュレーションシステムの開発", 計測自動制御学会システム工学部会・知能工学部会共催研究会, (2001), 55-60.
- [6] Iba, T.: "Agent-Based Simulation Model for Bubbles, Crashes and Winner-Take-All Market", Master Thesis, 慶應義塾大学政策・メディア研究科, (1999).
- [7] 佐藤浩, 久保正男, 生天日章: "マルチエージェントによる先物取引コンテスト: Pre U-Mart 2000 実施報告", 情報処理学会研究報告, Vol. 2001, No. 1, 2001-ICS-123, (2001), 67-72.
- [8] 佐藤浩, 久保正男, 福本力也, 廣岡康雄, 生天日章: "人工市場のシステム構造", 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 6, (2000), 974-981.
- [9] 和泉潔, 植田一博: "コンピュータの中の市場: 認知機構をもつエージェントからなる人工市場の構築とその評価", 認知科学, Vol. 6, No. 1, 日本認知科学会 (1999), 31-43.
- [10] 水田秀行, Steiglitz, K., Lirov, E.: "マーケットの安定性と価格シグナル: エージェントによるシミュレーションと解析", 情報処理学会研究報告, Vol. 2000, No. 3, 2000-ICS-119, (2000), 51-56.
- [11] Mizuta, H. and Yamagata, Y.: "Agent-based Simulation for Economic and Environmental Studies", Proceedings of the First International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems, (2001), 83-90.
- [12] 水田秀行: "マルチエージェントシミュレーションとダイナミックオンラインオークション", 情報処理学会研究報告, Vol. 2001, No. 1, 2001-ICS-123, (2001), 31-36.
- [13] 谷口憲, 倉橋節也, 寺野隆雄: "エージェントに基づくサプライチェーンモデル", 情報処理学会研究報告, Vol. 2001, No. 1, 2001-ICS-123, (2001), 109-114.
- [14] 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, (2001), in printing.
- [15] Dalle, J.-D., Jullien, N.: "Windows vs. Linux: Some Explorations into the Economics of Free Software", Applications of Simulation to Social Sciences, Hermes Science Publishing, (2000), 399-416.
- [16] 石川泰志, 寺野隆雄: "分類子システムによるエージェントの共進化とマーケティングシミュレーション", 情報処理学会研究報告, Vol. 2000, No. 3, 2000-ICS-119, (2000), 65-72.
- [17] 安富歩: 貨幣の複雑性: 生成と崩壊の理論, 創文社, (2000).
- [18] Epstein, J. M., Axtell, R.: Growing Artificial Societies: Social Science from the Bottom Up, The MIT Press, (1996), 服部正太, 木村香代子訳, 人工社会: 複雑系とマルチエージェント・シミュレーション, 共立出版,

- (1999).
- [19] Parker, M. T.: "What is Ascape and Why Should You Care?", *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. Vol. 4, No. 1, <http://www.soc.surrey.ac.uk/JASSS/4/1/5.html>, (2001).
- [20] 吉地望, 西部忠: "多層調整企業モデルによる複雑適応系シミュレーション", 第四回進化経済学会論集, (2000), 288-291.
- [21] Bruun, C.: "Agent-Based Keynesian Economics", *Simulating social phenomena*, Springer-Verlag, (1997), 279-285.
- [22] Basu, N., Pryor, R. J. and Quint, T.: "ASPEN: A Microsimulation Model of the Economy", *Computational Economics*, vol. 12, (1998), 223-241.
- [23] 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).
- [24] 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), 941-950.
- [25] Axtell, R.: "Why Agents? On the Varied Motivations for Agent Computing in the Social Sciences", Working Paper No.17, Center on Social and Economic Dynamics, The Brookings Institution, (2000).
- [26] Gilbert, N. and Troitzsch, K. G.: *Simulation for the Social Scientist*, Open University Press, (1999).
- [27] Bruun, C.: "Prospect for an Economics Framework for Swarm", <http://www.socsci.auc.dk/~cbruun/> (2000).
- [28] 井庭崇, 中鉢欣秀, 高部陽平, 田中潤一郎, 上橋賢一, 津屋隆之介, 北野里美, 廣兼賢治: "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", *情報処理学会研究報告*, Vol. 2001, No. 1, 2001-ICS-123, (2001), 79-84.
- [29] Coad, P., Mayfield, M.: *Java Design: Building Better Apps & Applets*, 2nd edition, Yourdon Press, Prentice Hall PTR, (1999).
- [30] Iba, T., Takabe, Y., Chubachi, Y., Tanaka, J., Kamihashi, K., Tsuya, R., Kitano, S., Hirokane, M., Matsuzawa, Y.: "Boxed Economy Foundation Model: Toward Simulation Platform for Agent-Based Economic Simulations", *JSAI 2001 International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems*, (2001), 186-193.
- [31] 井庭崇: "エージェントベース経済学試論", 第五回進化経済学会論集, (2001), 104-113.
- [32] Iba, T., Takabe, Y., Chubachi, Y., Takefuji, Y.: "Boxed Economy Simulation Platform and Foundation Model", *Workshop of Emergent Complexity of Artificial Markets*, 4th International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, (2001).
- [33] Jacobson, I., Griss, M., Jonsson, P.: *Software Reuse: Architecture, Process and Organization for Business Success*, ACM Press, (1997).