



なぜ社会システム分析に エージェント・ベース・モデリングが必要か

寺野 隆雄*

Why Agent-Based Modeling in Social System Analysis?

Takao TERANO*

Abstract— Agent-Based Modeling (ABM) is a cutting-edge technique to understand various social phenomena. ABM focuses from global phenomena to individuals in the model and tries to observe how individuals with individual characteristics or “agents” will behave as a group. However, the importance of the modeling methodology has not been common yet even in the academic convergent technology societies. The paper discusses the principles, strength, and weakness of ABM. The paper also describes the role of simulation sciences in social system domains and how ABM should be a new standard of such analysis.

Keywords— agent-based modeling, agent-based simulation, social system analysis, roles of simulation

1. はじめに

従来の社会システムの研究においては、歴史的な事実注目して文献を調査するという事例分析による接近法か、もしくは、対象をモデル化し数理的・統計的に扱う接近法が中心であった。

たとえば物理学と統計的な分析法を金融の問題に適用したものが金融工学である。金融工学では、したがって、自然界に存在する物理的現象と同様に、市場は所与のものとして仮定されている。しかし、この仮定は一般に成立しない。市場は、それを構成する個々の人間の意思と行動に基づいて構成されるものであり、また、市場での取引の法則は、自然現象とは異なり、市場を構成する人間の意思によって設計されるものだからである。

一方、科学研究の成果は、他の研究者たちに理解可能な形で伝達されること、かつ、実験を伴うものであればそれが再現できることが要請される。このような社会システムの分析・設計に伴う困難を克服する手段としてのシミュレーションの役割に注目する。

本稿では、このための新しい学際的な方法としてのエージェント・ベース・モデリングの考え方を紹介する。以下、本稿の構成は次のとおりである。第2章で社会

シミュレーションの歴史について簡単にとりまとめ、第3章で社会システムの特徴とシミュレーションの位置づけについて論ずる。第4章でエージェント・シミュレーションへの要請について述べ、第5章で我々の研究を中心とした事例を紹介する。最後に第6章でまとめと結論を述べる。

2. 社会シミュレーションの背景と歴史

社会や組織の問題にシミュレーションを用いる研究は古くから行われている。もっとも古い研究に、Cyert, March による “Behavioral Theory of the Firm” [1] がある。

この本の興味深いところは組織の意思決定プロセスを Fortran コードで記述し、そのフローチャートがテキストの3分の1近くを占めていることである。その後、混沌とした組織の意思決定行動に関するゴミ箱モデルが Cohen 等によって提案された [2]。また、社会におけるマクロレベルの変数の変化に注目するシステムダイナミクスのようなトップダウンの技法も存在する。これがローマクラブの「成長の限界」の研究に用いられたことは良く知られている [3]。

しかし、これらのシミュレーション研究が社会システム研究の主流になることはなかった。モデルが現実離れしていると思われたためである。社会シミュレーション研究は1990年代初めに、ほぼ同時期に世界各国で復活した。その時には、エージェント・ベース・モデリング

*東京工業大学大学院総合理工学研究科 横浜市緑区長津田町 4259-J2-52

*Tokyo Institute of Technology, Nagatsuta 4259-J2-52, Midori-ku, Yokohama

Received: 16 August 2010

あるいはエージェント・シミュレーションという方法論が中心となっていた [4, 5]。エージェント・シミュレーション研究が 1990 年代初めに、復活した理由は次の 3 点にまとめられる。

第 1 に、背景として、人類活動の世界規模での展開とインターネットをはじめとする技術の急速な発展普及に伴って、世界規模で人々の意識・行動の変化が、社会制度に追いつかない現象が頻発していることである。たとえば、①ソフトウェアの違法コピーと知的財産権の問題、②金融市場での異常な乱高下の発生、③国際的な感染症対策。これらは従来の社会科学の研究方法では事前には理解が難しく、トップダウン型の政策決定方法では制御できないという特性をもつ。

第 2 に、エージェント技術の進展により、シミュレータの実現が容易になったことである。エージェントを用いる社会シミュレーションでは、社会・組織・個人をエージェントとして捉え、それらの相互競争・競合・協調を通して、ボトムアップにシステムを構成する過程と構造の性質とを精査する。たとえば、上の問題については、我々は以下のような結果を得ている：①情報財に対するフリーライドは社会全体の効用を増加させ、それゆえ、適切な制度設計を行わないかぎりこれは撲滅できない [6]。②個々のエージェントの最適な行動が、市場の安定性を損ない、悪影響を及ぼすことがある [7, 8]。③感染症対策なしでも致命的な流行が発生しないケースが存在する。それゆえ適切な対策の評価には多くの分析が必要である [9]。

これらはごく自然な結論にみえる。しかし、従来はこれらを得るのに経験と勘、ならびに適当なシナリオの作成が不可欠であり、長い時間と膨大な試行錯誤が必要であった。

これを解決するのが、第 3 のハードウェアの進歩である。我々が対象とする変動する社会システムは、システムの規模の観点からはメゾ・スケールである。すなわち、エージェント数としては、数十から数千万の範囲に、時間的なスケールからは数日から千年程度の範囲である。これより、はるかに規模の大きい問題には情報統計力学的な接近が、規模の小さい問題には認知科学的あるいは実験経済的な接近が有効である。これら既存の方法を補完する手法として、社会シミュレーションが存在する。さらに、これらのモデルは並列性が高く、クラウドやグリッドなどの最近の計算技術と相性が良い [10]。

3. 社会システムの特性とシミュレーションの位置づけ

従来の離散事象シミュレーションでは、「確率変動をともなうシステムに対して、i) システムのふるまいを模

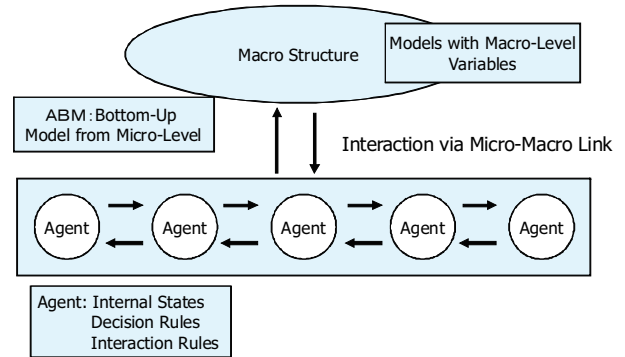


Fig. 1: Micro-macro link in agent-based modeling

倣する確率モデルをコンピュータ上に作り出し、ii) そのモデルに対して思考実験を繰り返し行って、iii) 得られた実験結果を統計的に解析してシステムの性能を推定する」という方法がとられる [11]。正しい評価結果を得るためにはさまざまな工夫と研究とがなされている。それに対し、我々は、モデルとシミュレーション結果に対してさまざまな解釈の余地を残しておきたいと考える。

エージェント・シミュレーションでは「エージェント」と呼ぶ内部状態と意思決定・問題解決能力、ならびに通信機能を備えた複数の主体によるボトムアップなモデル化を試みる。そしてこのインタラクションに基づく創発的な現象やシナリオを分析しようとする。その特徴は、i) ミクロ的な観点においてエージェントが(個別の)内部状態を持ち、自律的に行動・適応し、情報交換と問題解決に携わる点、ii) その結果として対象システムのマクロ的な性質が創発する点、iii) エージェントとエージェントを囲む環境とがミクロ・マクロリンクを形成し、互いに影響を及ぼしあいながら、システムの状態が変化していく点にある [12-14]。

Fig. 1 に示すような、エージェント間のミクロレベルのインタラクションで創発するマクロな現象、ならびに、それがトップダウンにエージェントに影響を与えるというミクロマクロ・リンクの現象の分析に有用である。

しかしながら、ここで、エージェントの内部のデザイン、インタラクションの方式、ミクロ・マクロリンクの形成が、システムの評価以前に大きな問題になる。ここで、モデルの理解性・伝達性・正確性といった側面で大きな問題が生ずる。

これに対するひとつの回答が、「ばかばかしいほどモデルを単純化せよ (Keep It Simple, Stupid!)」という KISS 原理である。Axelrod は彼の著書 [15] において、次のように主張している: 「エージェントベース・モデリングはシミュレーションの形を採用するとはいえ、特定の実験的な応用例を正確に描いてみせるのが目的ではない。それよりも、さまざまな応用例に表れる基本的なプロセスについての理解を深めるのが目的である。」もちろん、KISS 原理だけでは現実社会の複雑な現象のモデル化は

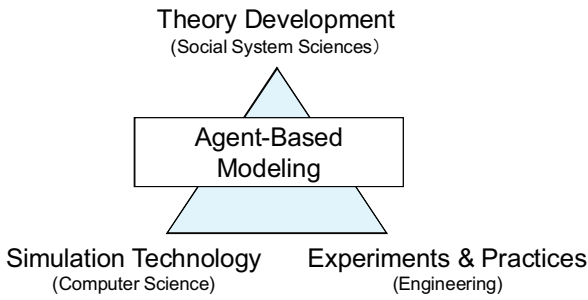


Fig. 2: Research triangle for ABM

不可能である。

これらの研究・開発は、本質的に学際的・学問横断的であり、理論、シミュレーション、実験と実践の3つのアプローチを融合することが重要である (Fig. 2)。以下では、社会システムシミュレーションに関する代表的な意見をとりまとめる。いずれの論でも「第3の方法」ということばが重要な概念となっている (Fig. 3)。

吉田 [16] は、「物質エネルギーと法則」という従来の科学のパラダイムに加えて、21世紀の科学として「記号情報とプログラム」という「大文字の第2次科学革命」が進行していることを主張する。そして、前者を広義の物理学、後者を広義の情報科学と呼び、情報科学の原理の1つにコンピュータシミュレーションを位置づけている。また、科学的な態度を「対象のあるがままの姿を記述・説明・予測する」ための「認識科学」と「対象のありたい姿やあるべき姿を設計・説明・評価する」ための「設計科学」とに分類している。

シミュレーション研究においても、認識と設計の両方の立場がある。まったく同じシミュレータを用いたとしても、対象分野の現象を知ることが目的とするならばそれは認識科学の立場である。繰り返し囚人のジレンマゲームでどのような戦略が創発するかを観測するのはこのような立場である。シミュレーション結果を直接的・間接的に利用することを目的とするならばそれは設計科学としての立場である。エージェント・ベース・モデリングによって新商品の売れ行きを予測するのはこれにあたる。

塩沢 [17] は、シミュレーションを第3モードの科学研究法と位置づけている。これは次のような意味である。科学は、従来、「理論と実験という二つの研究方法によって進歩してきた。近代物理学がその典型である。しかし、複雑な事象・システムを対象とする学問分野では、二つの研究方法ではたりない。多様な科学分野において複雑系の考えが生まれてきた背景にはこうした事情がある。理論と実験にならば第3の科学研究法 (第3モードの科学研究法) が提案されなければならない。それは数学的な解析がうまく進められない複雑な相互作用のある現象について、なんとか確実な知識をえようとする試みであ

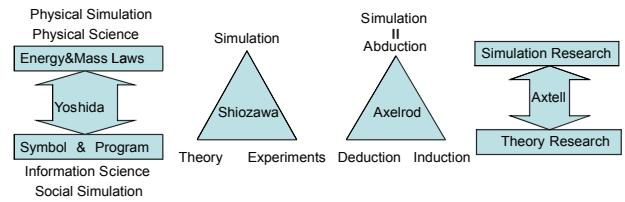


Fig. 3: The methodologies for ABM

る。現在、それはほぼ全面的にコンピュータ実験という形を取っている。」

Axelrod [18] は社会科学におけるシミュレーションを別の意味で第3の方法に位置づける。第1, 第2の方法は、演繹と帰納である。「シミュレーションは演繹と同様に明示的な仮定のもとに始まるが、定理を証明するかわりに、帰納的に分析可能なデータを生成する。しかし、典型的な帰納法と異なり、そのデータは実世界を計測して得たものではなく、あらかじめ規定されたルールから生成されたものである。帰納ではデータのパターンを見出すことができ、演繹では仮定から導ける帰結を見出す。シミュレーションは直観を養う思考実験の道具である。」

さらに、エージェント・ベース・モデリングのためには、モデルをプログラムコード化すること、結果を分析すること、結果を共有すること、モデルを再現することが科学研究への重要なステップであると主張している。

Axtell [19] は、エージェント・シミュレーションを社会科学へ適応する際、これまでの理論研究が捨象していたさまざまな要素をひろい上げることができることを示唆している。たとえば、経済理論は合理的な経済主体の上に最適化された均衡状態の存在を想定するが、エージェント・シミュレーションでは、限定合理的なエージェントを直接に記述・分析の対象とすることで、合理的主体という仮説がどこまで緩和可能かを検証することができる。また、最適均衡・準最適均衡・その他の均衡状態の存在・到達可能性・到達経路依存性を直接取り出すことができ、さらに均衡状態以外の超長時間緩和と仮定・動的安定、永続的不安定も分析の対象とできる。

4. エージェント・シミュレーションへの要請

社会現象をより深く理解するためには、KISS原理を逸脱することが必要である。しかし、実世界にあわせてむやみに複雑なモデルを作成すればよいというものではない。社会シミュレーションの特定について、以下のような議論がなされている。

- パターン指向モデリングの概念 [20]

単純なモデルでは、生態系や市場経済といった複雑なシステムの性質を予測したり、説明したりすることはできない。しかしながら、複雑なモデルを

作成してしまうと、今度は、その妥当性の検査や、数学的な分析は不可能になる。このような状況に対して Grimm 等 [20] は、パターン指向モデリング (Pattern-Oriented Modeling) という手法を提案している。これは、モデルにおいて、問題記述のレベルから結果として得られたログデータまでのさまざまなレベルにいて、どのようなパターンが創発しているかを観測することで、モデルの構造を識別したり、結果に決定的な影響を与えるパラメータを同定したりすることを目的としている。社会システムシミュレーションに対する生態学的な接近法ということができ、彼等は、この手法は複雑系に関する説明モデルを設計・開発するための一般的な方法であると主張している。

• 計算文化力学の概念 [21]

計算論的な観点から社会科学の諸問題に接近しようという研究分野として、計算的文化モデリング (Computational Cultural Modeling)、計算的社会行動モデリング (Computational Social and Behavioral Modeling)、あるいは計算的文化力学 (Computational Cultural Dynamics) という用語が使われるようになってきている [21]。

この方法論では、数理的方法と社会プロセスや人間行動を解析するための手法とを併用して用いる。そして、社会の安全、政治的安定性、法と秩序、社会文化的变化などの分野において、現象の分析と意思決定を援けるための概念と技術を提供しようとしている。

IEEE Intelligent Systems の特集記事 [21] では、政治的暴動、社会的衝突、文化の変化などの社会学的研究に対して、研究例が報告されている。

以上のような研究の動向を踏まえて、以下では社会システムシミュレーション実験、それも特に、エージェント・シミュレーションを行う場合の要請をとりまとめる [14]。

(1) 現実と整合的な結果が得られること

自然現象と異なり、社会現象には再現性がない。しかし、金融工学や経済学をはじめとして、現象を説明するための確固たる理論体系は存在する。シミュレーションでは、それらの理論や現実の現象と整合する結果を示せることが重要である。

(2) 既存の数理理論では説明が困難な現象を示せること

さらに、第一原理の存在を仮定するような既存の数理理論では説明が困難であるが、実際に存在する現象が限定的な意味において再現されることが重

要である。たとえば、株価が正規分布をしていると仮定すると、株価の乱高下現象はとうてい発生することがありえない事象である。実際に株価の分布はすそ野が長いファットテールの形状である。このような現象は、従来の統計的な理論では説明が難しいが、ミクロなエージェント間のインタラクションを表現したシミュレーションモデルでは容易に再現できる。さらに、これに対しては、経済物理学からの新しい解釈や説明がなされている。エージェント・シミュレーションはこのような新しい解釈のきっかけになる。

(3) シミュレーション結果に満足できること

社会現象のシミュレーション研究においては設定すべきパラメータ数が非常に多くなる。このため、パラメータチューニングによって思い通りの結果を出すことも可能である。モデル作成者が満足できないような結果は意味をもたない。そして、得られたデータを謙虚に分析することによって、結果が満足できる理由が明確になる。

(4) 結果の妥当性を評価できること

シミュレーション実験を実行すれば、必ずなんらかの結果は出る。しかし、その妥当性を示すことはきわめて困難である。シミュレーションのもとになった理論、エージェントに実装した機能の根拠、プログラムの正しさ、結果の感度分析などを厳密に行わないと、説得力に欠けるものになる。

(5) 既存の数理理論で説明困難な課題に対して接近できること

既存の経済学に多く見られるような数理モデルは、エージェントの行動や意思決定に関するきわめて厳格なある種の合理性を仮定して作られている。ところが実際の現象では、その合理性の仮定が崩れる場合が多い。そのような性質をもつ課題に対して、シミュレーションによって系統的な説明が与えられ、隠れた条件が明確になることもある。

この際には、検証や妥当性検査とは別の尺度で結果を評価することが必要である。たとえば、行動モデリングとシミュレーション分野の米軍関係の応用を意識した Zacharias 等による報告 [22] では、これに「モデルの信頼性」(Accreditation) という概念をあてており、Accreditation を得ることが結果そのものよりも重要となることを主張している。

Table 1: Interesting phenomena obtained from agent-based simulation

- ・社会的インタラクションからグループリーダーが生まれる [23]
- ・敵対するエージェント環境の中からも協調活動が生まれる [15]
- ・一般にフリーライダーは秩序を乱すが、情報財については別である [6]
- ・知識は共有すべきである [13]
- ・経営学の解説どおりに優良企業はできない [13]
- ・リスク管理が世をあやうくする [8]
- ・貨幣は信用以外のなにものでもない [24, 25]
- ・ゆとり教育は間違っている [26]
- ・人間は間違うがカシコイ [7]
- ・強い機械学習エージェントは作れない [7]
- ・全員が賢いカーナビをもってはいけない [13, 14]
- ・規制のない状況において金融市場は乱高下する [8, 27]
- ・なにもしないことも金融市場ではいい戦略である [7, 8]
- ・牧羊犬でも複雑系は御せる [24]
- ・流行はカオスをもたらす [24]
- ・ABM は社会アンケートを補完することができる [13, 14]
- ・社会ネットワークはマーケティング戦略に大きな影響を与える [13, 14]
- ・ABM とゲームを融合することで新たなビジネス教育が可能となる [13, 14]
- ・ABM で最適な人事政策をみつめることができる [28]
- ・中小企業ものづくりではコーディネータが必要である [14]
- ・ABM による避難シミュレーションは思わぬアイデアをもたらす [14]
- ・社会規範は行政組織の間接的な関与で整備することができる [24]
- ・マイルージポイントシステムは集中化する [24]

5. エージェント・シミュレーションの事例

最近のエージェント・ベース・モデリングの研究の中から得られた興味深い現象をいくつか紹介する。Table 1 には、その中で主要な結果をキーフレーズの形にまとめて示した。これは、[13, 14, 29] を補ったものである。これらのうち主要なものの概要を以下で説明する。

(1) 争いの発生しうる状況でも協力することが重要である [15]

繰り返し囚人のジレンマゲームにおいては、「通常は「協力」し、相手に裏切られた場合に限って「裏切る」という単純な戦略がきわめて有用であることが判明している。しかも相手とのやりとりにいるような制約条件を加えてもこの結果はほとんど変わらない。

争いが発生しそれが有利に働きそうな状況におい

ても、相互に協調するという考え方は重要であり、それが計算組織理論による比較的単純なシミュレーションによって確認できる。

(2) 文化は伝播するが、文化の棲み分けも発生する [15]

人々は互いに性格が似ていればその習慣や文化を受け入れやすい。これによって、自らの考え方が徐々に変化していく。こうして形成される同質的なグループの存在はしばしば体験されることである。これが文化の伝播である。一方、しかしながら、世代の差、宗教の違いなど人々の（ちょっとした）考え方の違いにより、グループ間に理解しがたいほど深刻な壁が発生することもよく知られている。これが文化の棲み分けの現象である。

このような現象もまたエージェント・シミュレーションによって確認することが可能である。これによって、隣同士の関係から国家のレベルに至るまで、大小さまざまなグループが形成されること、いったんグループ間の争いが発生するとそれが信じられないほど長く深いレベルまで継続してしまうこと、いったん形成されたように見える同質なグループがいつのまにか分裂してしまうこと、などの現象が説明できる。

(3) 免疫の仕組みで病気の伝染を防ぐことができる [30, 31]

免疫の仕組みをエージェント・シミュレーションで模擬することが可能である。ここでパラメタを調整すると急激に病気が伝染するシナリオとそうでないシナリオを自由に再現できる。特に、従来の研究方法では難しかった、「拡散による連続的な菌の伝播」と「保菌者の移動による離散的な菌の移動」とを同じ考え方のもとに分析できるのは大きな利点である。このような結果を受けて、SARS などの伝染病の発生と抑制（サイバー）テロリズムの問題などが最近、エージェント・ベース・モデリングの研究資金のもとになってきている。

(4) 放任すると市場は乱高下する [7, 8, 27]

株式を含む金融市場の状態を解析し、その予測を行うことは非常に重要である。金融工学は、そのために発展してきたと言ってよい。U-Mart では、参加したエージェントが市場で取引を行うことによって価格を形成し、その価格がまたエージェントの行動に影響を与えるというマイクロ・マクロリンクが存在する。

実際の市場ではちょっとした情報がきっかけとなって市場が乱高下する現象がしばしば発生する。取引

き額の限界に関する制約が存在しない場合は、U-Martでも似たような乱高下が発生する。エージェント・シミュレーションはしばしば現実を先取りする。制約の及ばない領域では、放任することがシステムの乱れを増長させることもある。

(5) 集団思考は発生するが抑制することもできる [23]

過度な楽観論や集団固有の道徳への無批判、満場一致の幻想などは集団思考の症候であり、その結果稚拙な集団意思決定が引き起こされる。このような「集団思考」現象は我々のシミュレーションでも発生する。そして、リーダー存在性の低い社会では意見の偏りが抑制される。これは、リーダーの存在が「集団思考」現象における斉一化の圧力を抑制できることを示している。ネットニュース社会においてより急激な意見の偏りが生じることがあるのは、この「集団思考」現象が生じているためと考えられる。

(6) 情報フリーライダーは生き残る [6]

今日の情報社会の中では、形の無い情報も貴重な資源となっている。この情報資源は、分配によってただちに減るものではないが、その取得コストや分配コストは発生する。このため、情報資源の分配においても、互恵的な規範は崩壊しやすいこはずである。そのきっかけがフリーライダーの存在である。このような共同分配規範の安定化と崩壊のプロセスをエージェント・シミュレーションによって分析した。これによると、直接的な罰則を与えない不寛容な者の存在が共同分配規範の崩壊を防ぐこと、さらに、情報の分配による知識の共有の効果が大きいために、フリーライダーを故意に抑制しなくても、社会全体の知識量が増加することもわかった。

(7) ゆとり教育は子供をダメにする [26]

ゆとり教育の導入で子供の学力が低下しているらしいことは、最近、マスコミでよく議論されている。我々は、学習者の意欲、所得格差、与えるカリキュラムをパラメタにしたエージェント・シミュレーションを用いてこの現象を分析した。

それによると次のような興味深い現象が観察された。「ゆとり教育」によって学習者全体の学力が低下する。特に、中位下位の社会階層において学力低下が著しく、上位層との学力格差が拡大する。また、「ゆとり教育」によって受験競争が緩和されても、その恩恵を受けるのは上位層が多い。格差の原因は、階層を特徴づける初期値の学力や財産の多寡ではなく、学習者の課題達成への行動ルール、すなわち学習意欲が大きな影響を与える。

6. おわりに

本稿では、エージェント・ベース・モデリングならびにエージェント・シミュレーションの基本的な考え方を紹介し、社会システムを知る上でなぜエージェント・シミュレーションが本質的な役割を果たすのかを論じた。

エージェント・シミュレーションは、我々普通の市民が使いこなすことが可能なはずの単純かつ強力な道具である。これによって、金融・災害・歴史・流行など興味をひくような事柄に関して自らどうなるかを試してみることが可能となる。そして、社会現象は物理現象と違ってパラメタが非常に多いのでいくらかでも大きな計算機資源が必要になる。その意味でも、エージェント・シミュレーションは、グリッドコンピュータをはじめとする次世代の計算システムの大きな応用分野になる可能性が高い。

ひとつのことに囚われずさまざまシナリオを実際に動かしてみなくては、社会現象に関する正しい見解は得られない。人々が社会ネットワークを形成することで、社会システムとして大きな力を持つようになる今後、エージェント・シミュレーションはそのための誰でも使える道具になっていく必要がある。

もともと社会シミュレーションの研究開発は、個別の領域の研究者のみで達成できるものではなく、本質的に学問横断的である。さらなる発展のためには、横幹連合のような組織が主導する統合的な研究プロジェクトを開始する必要がある [29]。そのためにも、[22, 31-33]などにみられるようなイニシアティブが重要な役割を果たすと考える。今後の発展に期待したい。

謝辞: 本稿の初期のバージョンは、横幹連合で実施した「社会シミュレーションのアカデミック・ロードマップ」プロジェクトの報告書 [29] である。本委員会に参画された方々の意見が本稿をまとめるのに参考となった。感謝の意を表する。

参考文献

- [1] R. M. Cyert and J. G. March: A Behavioral Theory of the Firm, Prentice-Hall, 1963.
- [2] M. D. Cohen, J. G. March, and J. P. Olsen: A Garbage Can Model of Organizational Choice, Administrative Science Quarterly, Vol.17, No.1, pp. 1-25, 1972.
- [3] D. H. Meadows: Limits to Growth, University Books, 1972.
- [4] K. M. Carley and J. Prietula, (Eds.): Computational Organization Theory, Lawrence-Erlbaum, 1994.
- [5] M. Masuch, and M. Warglien, (Eds.): Artificial Intelligence in Organization and Management Theory, North-Holland, 1992.
- [6] 倉橋節也, 寺野隆雄: エージェントシミュレーションに

- よる共同分配規範モデル, 電子情報通信学会論文誌 D-I, Vol.J84-D-I, No.8, pp. 1454-1461, 2001.
- [7] 塩沢由典, 松井啓之, 谷口和久, 中島義裕, 小山 友介: 人工市場で学ぶマーケットメカニズム - U-Mart 経済学編, 共立出版, 2006.
- [8] 高橋大志, 寺野隆雄: エージェントシミュレーションが行動ファイナンス理論と実市場をつなぐ, 人工知能学会誌, 特集「ファイナンスにおける人工知能応用」, Vol.24, No.3, pp. 392-399, 2009.
- [9] 出口弘, 木嶋恭一(他)編著: エージェントベースの社会システム科学宣言 - 地球社会のリベラルアーツめざして, 勁草書房, 2009.
- [10] C. Yang, S. Kurahashi, K. Kurahashi, I. Ono, and T. Terano: Agent-Based Simulation on Women's Role in a Family Line on Civil Service Examination in Chinese History, J. of Artificial Soc. and Social Simulation, Vol.12, No.2, 2009, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/12/2/5.html>
- [11] オペレーションズ・リサーチ: 特集「シミュレーションの数理: 最近の動向」, Vol.46, No.4, 2001.
- [12] オペレーションズ・リサーチ: 特集「エージェントベース社会シミュレーションの動向と展望」, Vol.53, No.12, 2008.
- [13] 寺野隆雄: エージェント・ベース・モデリング, その楽しさと難しさ, 計測と制御, Vol.43, No.12, pp. 927-931, 2004.
- [14] 寺野隆雄: エージェント・ベース・モデリング, KISS 原理を超えて, 人工知能学会誌, Vol.18, No.6, pp. 710-715, 2003.
- [15] R. Axelrod: The Complexity of Cooperation, Agent-Based Models of Competition and Collaboration. Princeton University Press, 1997.
寺野隆雄(監訳): 対立と協調の科学 - エージェント・ベース・モデルによる複雑系の解明 -, ダイアモンド社, 2003.
- [16] 吉田民人: 21 世紀の科学 - 大文字の科学革命 -, 組織科学, Vol.32, No.3, pp. 4-26, 1999.
- [17] 塩沢由典: マルクスの遺産, 藤原書店, 2002.
- [18] R. Axelrod: Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences, In R. Conte, et al., (Eds.), Simulating Social Phenomena, Springer Verlag, pp. 21-40, 1997.
- [19] R. Axtell: Why Agents? On the Varied Motivation for Agent Computing in the Social Sciences, Brookings Institution CSED Technical Report, No. 17, November, 2000.
- [20] V. Grimm, E. Revilla, U. Berger, F. Jeltsch, W. M. Mooij, S. F. Railsback, H. Thulke, J. Weiner, T. Wiegand, and D. L. DeAngelis: Pattern-Oriented Modeling of Agent-Based Complex Systems: Lessons from Ecology, Science, Vol.310, No.5750, pp. 987-991, 2005.
- [21] IEEE Intelligent Systems: Special Issue: Computational Cultural Dynamics, IEEE Intelligent Systems, Vol.23, No.4, pp. 18-64, 2008.
- [22] G. L. Zacharias, J. Macmillan, and S. B. Van Hemel (Eds.): Behavioral Modeling and Simulation, From Individuals to Societies, National Academy Press, 2008.
- [23] 倉橋節也, 南潮, 寺野隆雄: 逆シミュレーション手法による人工社会モデルの分析, 計測自動制御学会論文集, Vol.35, No.11, pp. 1454-1461, 1999.
- [24] 國上真章, 小林正人, 山寺智, 寺野隆雄: 複雑 2 重ネットワークモデルによる貨幣の創発現象の分析, 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用 (TOM), Vol.2, pp. 57-69, 2009.
- [25] 寺野隆雄: 複雑二重ネットワークモデル-知識と人のネットワークで社会を観る, オペレーションズ・リサーチ, 特集「エージェントベース社会シミュレーションの動向と展望」, Vol.53, No.12, pp. 661-666, 2008.
- [26] A. Arai and T. Terano: Yutori Is Considered Harmful, Agent-Based Analysis for Education Policy in Japan, R. Shiratori, K. Arai, and F. Kato, (Eds.), Gaming, Simulations, and Society Research Scope and Perspective, Springer Verlag, pp. 129-136, 2005.
- [27] 人工知能学会誌: 特集「ファイナンスにおける人工知能応用」, Vol.24, No.3, pp. 392-399, 2009.
- [28] 鳥山正博, 菊地剛正, 山田隆志, 寺野隆雄: エージェントシミュレーションを用いた組織構造最適化の研究 - スキーマ認識モデル -, 電子情報通信学会誌, Vol.J92-D, No.11, pp. 1919-1926, Nov., 2009.
- [29] 横断型基幹科学技術研究団体連合: 分野横断型科学技術アカデミック・ロードマップ報告書(第4章 社会システムのモデリング・シミュレーション技術分野のアカデミック・ロードマップ), 2009.
- [30] J. M. Epstein and R. Axtell: Growing Artificial Societies, Brookings Institution Press, The MIT Press, 1996.
服部 正太, 木村香代子(訳): 人工社会, 共立出版, 1999.
- [31] J. M. Epstein: Generative Social Science, Studies in Agent-Based Computational Modeling, Princeton University Press, 2007.
- [32] S. K. Chai, J. J. Salerno, and P. L. Mabry, (Eds.): Advances in Social Computing, Springer, LNCS 6007, 2010.
- [33] M. Richiardi, R. Leombruni, N. Saam, and M. Sonnessa: A Common Protocol for Agent-Based Social Simulation, J. of Artificial Societies and Social Simulation, Vol.9, No.1, 2006, <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/9/1/15.html>

寺野 隆雄



1976 年東京大学工学部計数工学科卒業。78 年同大学院工学系研究科修士課程修了。78-90 年(財)電力中央研究所, 90-04 年筑波大学講師・助教授・教授を経て 04 年より東京工業大学大学院総合理工学研究科教授。96 年イリノイ大学アーバナシャンペン校, スタンフォード大学客員研究員。工学博士。社会シミュレーション, データマイニング, サービスサイエンスなどの研究に従事。