

社会科学におけるエージェント研究の 動向と課題

寺野 隆雄† 出口 弘‡

†筑波大学ビジネス科学研究科

〒112-0012 東京都文京区大塚 3-29-1

‡東京工業大学知能システム科学専攻

〒565-0456 大阪府吹田市河田 4-5-6

E-mail: †terano@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp,

‡deguchi@dis.titech.ac.jp

あらまし 経済学や組織科学, 心理学などの社会科学分野の研究において, エージェントに基づくシミュレーション手法が導入されるようになってきた. 本稿では, 最近1年間に開催された社会科学分野におけるエージェント研究の国際会議の動向に基づいてこの分野の研究のサーベイを行う. まず社会科学におけるエージェント研究のきっかけと背景について我々の考えを示し, つぎに, 最近の国際会議の動向を紹介する. ついで, エージェント研究の現状と課題について考察する.

キーワード エージェントシミュレーション, 計算組織理論, 計算社会科学, 複雑系

Perspective on Agent-Based Simulation Study in the Social Sciences

Takao TERANOI† and Hiroshi DEGUCHI‡

† Graduate School of Business Sciences, University of Tsukuba, Tokyo

3-29-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo, 112-0012 Japan

‡ Dept. Computational Intelligence and Systems Science, Titech

4259 Nagatsuta-cho, Midori-ku, Yokohama, 226-8502 Japan

E-mail: †terano@gssm.otsuka.tsukuba.ac.jp,

‡deguchi@dis.titech.ac.jp

Abstract: In the literature of social sciences such as economics, sociology, and psychology, recently, the researchers collaborate with computer scientists and employ agent-based simulation studies. In this paper, we give a perspective on the new emerging domain. We discuss the state-of-the-art of the research based on the survey of recent international conferences. First, we give the background of computational social sciences, then report the results of representative conferences. Based on this, we address the importance of agent-based simulation approaches to social sciences for analysis and design of our real societies.

Key words Agent-Based Simulation, Computational Organization Theory, Computational Social Sciences, Complex Adaptive Systems

1. はじめに

経済学や組織科学、心理学などの社会科学分野の研究において、エージェントに基づくシミュレーション手法が導入されるようになってきた。本稿では、最近1年間に開催された社会科学分野におけるエージェント研究の国際会議の動向に焦点をあてて、現在の状況と今後の課題について考察する。

本稿で対象とした国際会議は、AESCS (Agent-based approach in Economic and Social Complex Systems) (5月松江) [Namatame 2001], CASOS (Computational Analysis for Social and Organizational Science) (5月カーネギーメロン大学) [Carley 2001], SimSoc (Simulating Society V) (9月ポーランド) [SIMSOC 2001], Adaptive Agents, Intelligence, and Emergent Human Organization (10月, UC Irvine) [Berry 2001]である。我々はこれらに出席し、発表を行っている。

以下では、まず社会科学におけるエージェント研究のきっかけと背景について我々の考えを示し、つぎに、最近の国際会議の動向を紹介する。ついで、エージェント研究の現状と課題について考察し、最後に結論を述べる。

2. エージェント研究の背景

情報技術の発展にともなって、世界規模で市民の意識・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。たとえば、世界各地で頻発する文化的な摩擦やテロなどの現象、地域・学校におけるコミュニティ行動の変化や、インターネット上の商取引の発展などは、従来の社会科学の研究方法では理解できず、トップダウン型の政策決定方法では制御できない。一方で、実践的な応用システム・工学システムの発展と普及は著しい。その結果、きわめて些細な人為ミスがきっかけになって大きな惨事が発生する可能性も高まっている。この現実と理論のギャップの解決は次世代の社会実現への焦眉の課題である。

社会科学の文脈の中では、このような問題に対して、現実には発生している現象に注目して、理論をテストするという新しい研究の枠組みが模索されるようになった。たとえば、塩沢は、「ギリシャ以来の論理と思索による第1モードの科学、ルネッサンス以降の実験と検証とを重視する第2モードの科学に加えて、現在は第3モードの科学を求めなければなら

ない」と主張する[塩沢 1999]。また、Axtelなどは「近代計算機科学のための新しい社会科学」の必要性を述べている。

その結果として、いわゆる複雑適応系研究の中で注目を集めているエージェントに基づくボトムアップなモデル構築と、コンピュータ上での定量的な分析と制度デザインの試みが注目されるようになったと考えられる。

ここでエージェントとは、内部状態をもち、自律的かつ相互参照的に問題解決・行動を行う主体を意味する。結果として、人間・組織・コンピュータソフトウェアを同じ枠組みのもとに考察することとなる。従来からなされてきた数理的研究と事例分析とを補完する位置付けにある。エージェントシミュレーションに基づくモデルによれば現実のデータとモデルのパラメータとを自然な形で統合することができる。そしてこれに基づいてビジネスモデルを開発し、組織現象のシミュレーション実験を行うことにより従来の経営学の研究と実践に新たなフレームワークを提供できると考える。

社会や組織システムの研究にシミュレーション技法を用いる研究は古くから行われている。このアプローチは1960年代初めのCyert & Marchの組織行動モデル[Cyert 1964], 1970年代のMarch, Cohen & Olsen[March 1984]のごみ箱モデルなどに始まる。最近、コンピュータ技術の発展に伴い、エージェントに基づく組織行動の分析手法は、計算(数理)組織理論(Computational (& Mathematical) Organization Theory; CMOT, COT), 経済理論や社会心理学研究の文脈でしばしば用いられる。たとえば、サンタフェ研究所ではB. Arther等を中心に、社会経済システムの研究が重視されている。また、アイオワ州立大学などを中心にAgent Based Computational Economics(ACE)などの概念も普及してきている[Tesfatsion 2001]。COT, CMOTでは人間もしくは人工物、あるいはその混合からなる組織を計算論的な存在とみなして、数理モデル、計算モデルを適用した研究を行う[Carley 1993, 1995, 1999]。

3. 国際会議の動向

エージェント研究に関する国際会議には、人工知能に関連してICMAS(Int. Conf. On Multi-Agent Systems), Agents, PRIMA(Pacific Rim In. conf. On Multi-Agents)など注目すべきものが数多く開催されている。これらの会議と比較すると、社会科学を

主要なターゲットとする会議には以下の特徴がある。

- ・ エージェント研究を「科学革命」と捉えて哲学・社会学・経済学・システム科学・物理学・計算機科学など多方面にわたる専門家が学際的な立場から参加している。
- ・ 従来の工学的な立場からの設計問題ばかりでなく、組織行動の改善や政策提言など社会システムに対する制度設計を目標にしている。
- ・ エージェントに利用者とコンピュータを結ぶという役割をもたせず、人間もソフトウェアも同一の主体とみなす。
- ・ 計算機科学の観点からは、技術的に洗練されていないモデルやシステムが多く、ツールの開発も含めていっそうの研究が望まれる。

AESCS2001 は 2001 年度人工知能学会全国大会の国際ワークショップの一環として開催されたもので、K. Carley, M. Cohen をはじめとして内外から 24 件の発表がなされた。主要なテーマとしては、U-Mart [塩沢 1999 ほか] を中心とする人工市場による経済現象に関する研究；計算組織理論に基づく社会制度・組織現象に関する研究；政策シミュレーションに関する研究；社会ゲームやゲーミングシミュレーションに関する研究が挙げられる。

CASOS2001 は 1990 年代初頭から継続して行われている計算組織理論に関する国際会議である。80 名程度の参加者が 3 日間にわたって発表を行った。ここでの主要なテーマは、社会ネットワークに関する分析；現実の社会現象・組織現象に関するシミュレーション研究；計算組織理論の研究アプローチに関する議論などであった。発表中にデモをまじえることが普通に行われるようになったのが、以前の CMOT の会議との違いといえる。

SIMSOC V は N. Gilbert を中心にやはり 1990 年代初頭からヨーロッパで開催されている会議の 5 回目である。これは他の会議とは異なり、小人数の参加者が集まって集中的な議論を行うことに特徴がある。今回の参加者は 40 名程度であった。ここでは、経済物理学の方法を援用する社会物理学の提案；エージェントシミュレーション環境に人間を参加させる方法；シミュレーションと社会学研究に関する議論などが注目を集めた。

Irvine コロキウムはアメリカ科学アカデミーが主催した会議で、130 名程度の参加者があった。主催者が非常に斬新な立場から企画としていること；参加者と研究スコープの幅の広さ；の 2 つの観点から

エージェント研究に関する非常にエポックメイキングなものであった。我々は、この会議を 1 つのきっかけにして新しい学問分野が熟成されていく可能性を感じている。人間の合理性と学習能力の理解；組織的な創発現象における協調と競合の問題；エージェントによる経済現象のシミュレーション；組織行動と公共政策のエージェントモデル；エージェント研究によって社会科学を発展させるためのプラットフォームと方法論の 5 つのセッションが行われ、活発な討論がなされていた。

以下に 4 つの会議の（我々を含めた）主要な出席者をまとめて示す。

表：2001 年の主要な国際会議の参加者

	寺・出	Gilbert	Carley	Axtel	Cohen
AESCS	○		○		○
CASOS	○		○	○	○
SIMSOC	○	○			
Irvine	○	○	○	○	

各会議とも参加者が増加してはいるもののコミュニティは小さく、重複した参加者が多く見られる。その一方で、各会議の参加者数は確実に増加しており、社会科学におけるエージェント研究が新しい分野として勃興しつつあることが感じられる。

来年度も多く国際会議が予定されている。その中でも、Irvine 会議に続いて UCLA 主催で 5 月に開催される予定の Computational Social Science and Social Complexity - Agent-based Modeling for the Social Sciences についてはすでに参加申し込みが 100 名を越えているということである。

4. エージェント研究の現状と課題

シミュレーションによるアプローチの優れている点は、数学的モデルと事例分析の中間に位置するところである。すなわち、これによれば対象の記述と厳密な理論展開に加えて、プログラムの実行という形での理論の検証が可能である。

Simon は、かつて記号処理が知的な行動を実現するためには必要十分な機能であることを主張し、これを「物理的記号システム仮説 (Physical Symbol System Hypothesis)」と呼んだ [Simon 1982]。さらに、個々人のモデルとして認知モデル、知識ベースモデル、情報処理モデルの重要性を主張した。計算組織理論の最近の研究の多くは、この十数年、著しく

発展した人工知能研究の成果[Russel 1996, Weiss 1999]をこのような記号処理とエージェントの観点から利用し、社会科学の対象とする複雑な問題に適用することをねらっている。

たとえば、Carley と Gasser [Carley 1999, 2000, 2001]は、計算組織理論では Simon の情報処理モデルは以下の点において拡張されていることを主張している。限界合理性、情報遍在性、タスク指向性、分散制約性、不確実性、組織知能、経路依存性、コミュニケーションの必要性。そして、この立場からは、組織的な現象は、モデル化可能であり、それによって組織的効率の差異を区別できるとする。その結果、「組織」は操作でき、設計できる存在となり、実際の組織行動の研究と実践に、比較的安価で、適用できるとする。

[Epstein 1996]では、「ボトムアップの社会科学」と称して、格子状の離散世界 (SugarScape) で生活・繁殖・協調活動を行うエージェント (Artificial Ants) を用いたシミュレーション実験が行われている。エージェントは非常に単純な機能のみをもつにもかかわらず、実験では、商取引や流行病に対する免疫などの現象が創発することが観測される。[Masuch 1992]は、組織経営の諸問題に対して人工知能技術を適用した論文を収録した初めての論文集である。[Morecroft 1996]では、システムダイナミクスを主な道具として用いて、組織における意思決定・学習に関する研究成果を報告している。

これらの研究の特徴は、単純な機能をもつエージェント群を準備しておき、適当なパラメタ設定によって、社会システムにみられる協調、競合、流行、問題解決などの現象を説明しようとする点である。このような手法を、内部モデルをもつある程度粒度の大きなエージェントが、環境や他エージェントとの相互作用の中でどのような創発的現象を引き起こすかを解明しているという意味で(ポリ)エージェントに基づく手法と呼ぶ [寺野 1995, 1997, 1999]。

また、シミュレーション研究の意義と課題については、[Carley 1994]の序論において Cyert が明確に記述している：

「シミュレーションは現実の世界において簡単には観測できないような組織理論の命題をテストするのに有効な手段である。しかしながらシミュレーション研究自身が非常に複雑になったため、モデルを分析することが現実の世界を分析するところと同様に難しくなってしまった。結果として組織学者にとつ

ては、シミュレーションそのものが現実の世界であるかのように見えてしまうことも多い。」

繰り返し囚人のジレンマゲームを対象に社会行動の分析を行った Axelrod [Axelrod 1984]は、最近の著書 [Axelrod 1997] で以下のように述べている：

「エージェントに基づくシミュレーションの目的は、現実の問題を正確に表現する手段を提供することではなく、さまざまな問題に適用可能な社会現象の基本的なプロセスを理解することにある。そのためにはできるかぎり単純なモデルを構築するという KISS 原理 (Keep It Simple, Stupid) が重要である。」

ここで KISS 原理は、通常「オッカムのかみそり」と呼ぶ原理と等しい。実際、[Carley 1994]、[Masuch 1992]、[Prietula 1998]などで提案されているモデルの多くは単純であり、[Gaylord 1998]にあるような簡単なプログラムとして記述できる。それにもかかわらず、エージェントに基づくシミュレーション研究では単純な機能の集まりから「興味深い」大域的な構造や行動が発現することが繰り返し報告されている：

- ・シミュレーション過程を観測すると興味深い組織的な現象が発現する。
- ・制御機構やシステムパラメタの些細な変更によってシミュレーションモデルの性質が大きく変化する。
- ・分散型計算機システム、社会システム、経済システム、社会性昆虫のふるまいなど、いわゆる複雑系には表面的な類似性が多く見られる。

我々もこれまでの研究の中でこのような現象が容易に創発することを観測し、それに対してさまざまな考察を加えてきた [Aiba 1996, Hatakama 1997, Terano 1994]。

しかしながら、これらの既存研究には次のような大きな3つの問題点がある。これらを解決することによって初めて組織行動のシミュレーション研究の進展が得られると考えられる。

(問題 I) 多くのシミュレーションモデルはボトムアップに開発されているが、各エージェントに実装される機能が単純すぎるために、複雑な実世界の組織行動研究に使用するには無理がある。たとえば「繰り返し囚人のジレンマ」問題から得られた知見を実際の組織分析に使うのは妥当だろうか？

(問題 II) その一方で、シミュレーション実験を実施する立場からは、モデルのパラメタが非常に多く、それを調整することで、開発者が「思いどおり」の

結果を出すことができしてしまう。逆に、そのような結果も出せないモデルには意味がない。換言すると、モデルそのものの中に答えが隠されている；

(問題 III) モデルを実行して得られた結果と実社会の創発的な現象との間に関連性が乏しい。

それに対する我々の回答は以下のとおりである：

(解 I) 問題(I)については、社会科学、経営学の諸概念を実装できるように、十分豊富な機能とパラメタをもつエージェントを設計し、それをを用いたシミュレーションによって(現在のところ)計算可能でない(あるいは操作的でない社会システム)の概念の計算論的な意味付けを明らかにする。

(解 II) 問題(II)に対しては、モデルのパラメタを恣意的に調整することを避け、そのための手法を開発する。我々は複雑かつ多変数な関数の最適化をはかるために遺伝的アルゴリズム{Goldberg1989}を採用する。そして大規模な逆問題を解くという意味で「逆向きシミュレーション(Inverse Simulation)」を行う[倉橋 1999, 2001]。

(解 III) 問題(III)については、現実の社会現象で観測できるマクロ的な情報とシミュレーションから得られるデータとを関連させ、過度な抽象化を避けるようにする[Kurahashi 1999, Terano 1998, 菱山 2000, 石川 2000, 出口 2000]。

我々は、さらに複雑な社会現象を解明するには KISS 原理を越える接近法が必要と考えている。そのための方法論として以下の観点が重要である：

- ・ 社会学者と計算機学者の積極的な協力体制の確立とそのための継続的な努力。
- ・ 両分野の交流を可能とするオープンなテストベッド・ツール・フレームワークの研究。U-MART, Virtual-Economy の研究開発はこの一環である。
- ・ コンピュータ上のリアリティ・システム科学に基づく理論構築・現実の現象の観察の3者の融合による計算社会科学の方法論の実現。
- ・ それを可能とする、人間参加者によるゲーミングシミュレーションとエージェントシミュレーションの融合。
- ・ 計算社会科学を実現する新しい研究教育体制の実現。

5. おわりに

本稿では、社会科学におけるエージェントアプローチの現状を概観し、今後の課題について考察した。我々はこの2,3年の研究開発によって、新しい学問分

野が起りつつあることを実感している。金融市場に典型的に見られる市場経済の複雑な動きは、従来の経済理論では十分には説明されない。そして現実の要請にしたがって金融工学が発展してきた。社会科学におけるエージェント研究は同様な状況にある。さまざまな社会現象の解明と設計の問題について我々が積極的に関与することで新しい研究分野と教育体制が確立されることを期待する。

参考文献

- [Aiba 1996] Aiba, H., Terano, T. 1996. A Computational Model for Distributed Knowledge Systems with Learning Mechanisms. Expert Systems with Applications, Vol. 10, No. 3/4, pp. 417-427.
- [Argyris 1978] C. Argyris, D. A. Schon: Organizational Learning. Addison-Wesley, 1978.
- [Axelrod 1984] Axelrod, R. 1984. The Evolution of Cooperation. Basic Books. (松田浩之(訳): つきあい方の科学. HBJ 出版, 1987)
- [Axelrod 1997] Axelrod, R. 1997. The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration. Princeton University Press.
- [Bradshaw 1997] Bradshaw, J. M., ed. 1997. Software Agents. AAAI/MIT Press.
- [Berry 2001] Berry, B. J. L., Kiel, D., Elliott, E. (eds.): Adaptive Agents, Intelligence and Emergent Human Organization: Capturing Complexity through Agent-Based Modeling. Arthur M. Sackler Colloquia of the National Academy of Sciences, 2001.
- [Carley 1994] Carley, K. M., Prietula, J. (eds.) 1994. Computational Organization Theory. Hillsdale, N. J.: Lawrence-Erlbaum Assoc.
- [Carley 1995] Carley, K. M.: Computational and Mathematical Organization Theory: Perspective and Directions. Computational and Mathematical Organization Theory, Vol. 1, No. 1, pp. 39-56, 1995.
- [Carley 1999] Carley, K. M., Gasser, L.: Computational Organization Theory. in [Weiss 1999], pp. 299-330, 1999.
- [Carley 2000] キャサリン M. カーリー, (寺野隆雄訳): 社会システム・組織システムの計算論的分

- 析. 組織科学, Vol. 34, No. 2, pp. 4-10, 2000.
- [Carley 2001a] Carley, K. M.: Adaptation in a Changing Environment. 人工知能学会代15回全国大会講演集, 1A2-01(招待講演), 2001.
- [Carley 2001b] Carley, K. M., et al. (eds.): Proceedings of CASOS 2001, 2001.
- [Cohen 1972] Cohen, M. D., and J. G. March 1972. A Garbage Can Model of Organizational Choice. *Administrative Science Quarterly*, Vol. 17, pp. 1-25.
- [Cyert 1963] Cyert, R. M., March, J. G. 1963. *A Behavioral Theory of the Firm*. Prentice-Hall.
- [Deguchi 1986] Deguchi, H., Nakano, B.: Axiomatic Foundations of Vector Accounting. *Systems Research*, Vol. 3, No. 1, pp. 31-39, 1986.
- [出口 2000a] 出口弘, 和泉潔, 塩沢由典, 高安秀樹, 寺野隆雄, 佐藤浩, 喜多一: 座談会: 「人工市場を研究する社会のおよび学問的意義」. 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 6, pp. 966-973, 2000.
- [出口 2000b] 出口弘: 複雑系としての経済学. 日科技連出版社, 2000.
- [Epstein 1996] Epstein, J., Axtell, R. 1996. *Growing Artificial Societies*. Brookings Institution Press, The MIT Press.
- [Espejo 1996] Espejo, R., Schuhmann, W., Schwaninger, M., Bilello, U. 1996. *Organizational Transformation and Learning*. John Wiley & Sons.
- [Farrell 1998] Farrell, W.: *How Hits Happen*. Harper Business, 1998.
- [福本 2001] 福本力也, 喜多一: 仮想市場システムの構築と進化的アプローチによる取引エージェントの構成, SICE 社会組織のマルチエージェントシステム分析 ~数理とシミュレーションからのアプローチ~資料 (SICE 01PG0004), 2001.
- [Gaylord 1998] Gaylord, R. J., and D'Andria, L. J.: *Simulating Society: A Mathematica Toolkit for Modeling Socioeconomic Behavior*. NY: Springer-Verlag, 1998.
- [Goldberg 1989] Goldberg, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
- [Hatakama 1996] Hatakama, H., Terano, T.: A Multi-Agent Model of Organizational Intellectual Activities for Knowledge Management. in Schreinemakers, J. F. (ed.): *Knowledge Management - Organization, Competence and Methodology*, Ergon Verlag, pp. 143-155, 1996.
- [幡鎌 1999] 幡鎌 博, 寺野隆雄: ナレッジチェーン - サプライチェーンモデルを越えて -. 経営情報学会 1999 年春季全国研究発表会, pp. 1-4, 1999.
- [菱山 2000] 菱山玲子, 寺野隆雄: マルチエージェントを用いた社会的交渉の分析. 情報処理学会「知識と複雑系研究会」資料, 2000.
- [石川 2000] 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「知識と複雑系研究会」資料, 2000.
- [倉橋 1999] 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.
- [倉橋 2001] 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.
- [Kurahashi 1999] S. Kurahashi, U. Minami, T. Terano: Why not Multiple Solutions: Agent-Based Social Interaction Analysis via Inverse Simulation. *Proc. IEEE SMC'99*, II-522-II-527, 1999.
- [小林 1996] 小林四一: コンピュータ・コミュニケーションにおける電子コミュニティの構造分析. 筑波大学大学院経営システム科学修士論文, 1996.
- [March 91a] March, J. G., and Sproull L., S.: Learning from Samples of One or Fewer. *Organizational Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 1-13, 1991.
- [March 91b] J. G. March: Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organizational Science*, Vol. 2, No. 1, pp. 71-87, 1991.
- [Masuch 1992] Masuch, M., and Warglien, M. eds. *Artificial Intelligence in Organization and Management Theory*. North-Holland, 1992.
- [松井 2000] 松井啓之: インターネット上の仮想市場 (U-Mart) 実験プロジェクト, 日本シミュレーション&ゲーミング学会 第12 回全国大会研究発表論文集, 38-41, 2000.

- [McMaster 1996] McMaster, M. D.: *The Intelligence Advantage - Organizing for Complexity -*. Butterworth-Heinemann, 1996.
- [Morecroft 1994] Morecroft, J. D. W., Sterman, J. D. eds.: *Modeling for Learning Organizations*. Productivity Press, 1994.
- [Namatame 2001] Namatame, A. (ed.): *Proc. JSAI 2001 International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems (AESCS 2001)*, 2001.
- [野中 1990] 野中郁次郎: 「知識創造の経営—日本企業のエピステモロジー」 *日本経済新聞社*, 278 pp., 1990.
- [野中 1996] 野中郁次郎, 竹内広高 (梅本勝博 (訳)): 「知識創造企業」 *東洋経済新報社*, 402 pp., 1996.
- [Prietula 1998] Prietula, M. J., Carley, K. M., and Gasser, L. eds.: *Simulating Organizations: Computational Models of Institutions and Groups*. Morgan-Kaufmann, 1998.
- [Russel 1995] Russel, S., and Norvig, P.: *Artificial Intelligence A Modern Approach*. Prentice Hall, 1995.
- [佐藤 1999] 佐藤浩, 石西正幸, 廣岡康雄, 村上英治, 久保正男, 生天目章: *V-Mart 実験システムの開発, SICE システム情報部門シンポジウム1999 講演論文集*, 175-180, 1999.
- [佐藤 2000] 佐藤浩, 久保正男, 福本力也, 廣岡康雄, 生天目章: *人工市場のシステム構造, 人工知能学会誌*15-6, 974-981, 2000.
- [佐藤 2001] 佐藤浩 (他): *オープン型人工市場におけるエージェントの戦略と市場の挙動. 計測自動制御学会第13回自律分散システム・シンポジウム y 資料*, pp. 203-208, 2001.
- [塩沢 1999] 塩沢由典, 出口弘, 喜多一, 寺野隆雄: *バーチャル市場研究の構想と意義 -- V-Mart 研究の目指すもの --. 計測自動制御学会, 情報部門合同シンポジウム*, pp. 169-174, 1999.
- [塩沢 1999b] 塩沢由典: *U-Mart の意義—共通テストベッドとしてのバーチャル市場, 進化経済学論文集第3集—第3回大会研究報告*, 253-256, 1999.
- [Simon 1982] Simon, H. A. *The Sciences of the Artificial*, 2nd Edition. MIT-Press, 1982.
- [SIMSOC 2001] *Simulating Society V: Frontiers in Social Sciences Simulations*, 2001.
- [Tsfatsion 2001] Tsfatsion, L. ed: *Special Issue on Agent-Based Modeling of Evolutionary Economic Systems. IEEE Trans. On Evolutionary Computation*, Vol. 5, No. 5, 2001.
- [Terano 1994] Terano, T. et. al.: *A Machine Learning Model for Analyzing Performance of Organizational Behaviors of Agents. Proc. of the Third Conference of the Association of Asian-Pacific Operational Research Societies (APORS)*, pp.164-171, 1994.
- [Terano 1998] Terano, T., Kurahashi, S., Minami, U. 1998. *TRURL: Artificial World for Social Interaction Studies. Proc. 6th Int. Conf. on Artificial Life (ALIFE VI)*, pp. 326-335, 1998.
- [Terano 1999] Terano, T. et al.: *Understanding Your Business through Home-Made Simulator Development. Developments in Business Simulation and Experiential Learning*, Vol.26, (Proc. ABSEL'99), pp. 65-71, 1999.
- [高玉 1998] 高玉圭樹, 中須賀真一, 寺野隆雄: *組織学習エージェントによるプリント基板設計問題への接近. 電子情報通信学会論文誌*, Vol. J81-D-I, No. 5, pp. 514-522, 1998.
- [高玉 1999] 高玉圭樹, 寺野隆雄, 下原勝憲, 堀浩一, 中須賀真一: *組織学習に基づく分類子システムを用いた組織的問題解決への接近. 計測自動制御学会論文集*, Vol. 35, No. 11, pp. 1486-1495, 1999.
- [Takadama 1999] Takadama, K., Watabe, M., Shiomhara, K., Nakasuka, S.: *How to Design Good Rules for Multiple Agents in Scheduling Problems? in Nakashima, H., Zhang, C. eds.: Approaches to Intelligent Agents - Proc. PRIMA'99*. pp. 126-140, 1999.
- [寺野 1995] 寺野隆雄: *ネットワーク上の分散知能. in 高木, 木島, 出口 (他): 「マルチメディア時代の人間と社会」日科技連出版社*, pp. 151-183, 1995.
- [寺野 1997] 寺野隆雄: *学習するエージェントとその組織的問題解決. オペレーションズ・リサーチ*, Vol. 42, No. 9, pp. 599-603, 1997.
- [寺野 1999] 寺野隆雄: *社会科学を実験科学に: エージェントで社会をみる. 人工知能学会全国大会 (第13回) 論文集*, pp. (34)-(39), 1999.
- [寺野 2000a] 寺野隆雄: *スマート IC カードを用い*

- た知的携帯エージェントシステム. 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 1, 2000.
- [寺野 2000b] 寺野隆雄, 倉橋節也: エージェントシミュレーションによる社会的インタラクションの分析. 組織科学, Vol. 34, No. 2, pp. 23-35, 2000.
- [寺野 2000c] 寺野隆雄, 倉橋節也: エージェントシミュレーションと人工社会・人工経済. 人工知能学会誌, Vol. 15, No. 6, pp. 966-973, 2000.
- [U-Mart 2000] U-Mart 研究会: U-Mart Project Web Page, <http://www.u-mart.econ.kyoto-u.ac.jp/>, 2000 .
- [Weiss 1999] Weiss, G. (ed.): Multiagent Systems - A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence. MIT Press, 1999.
- [山重 2001] 山重真紀夫, 山村雅幸: 仮想市場 U-Mart において多人損失を押さえる手法の開発, 進化経済学論集第5集-第5 回大会研究報告, 467 , 2001 .