

機関番号：12608

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008 ~ 2010

課題番号：20300055

研究課題名 (和文) 大規模社会シミュレーションのための創発的計算機構

研究課題名 (英文) Emergent Computational Institution for Large-Scale Social Simulations

研究代表者

寺野 隆雄 (TERANO TAKAO)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号：20227523

研究成果の概要 (和文)：

本研究課題は、エージェントベースシミュレーションの高速化・大規模化に対して、創発的計算手法を統一的に適用し、社会・経済・組織にグラウンドする応用領域を指向した。その結果、大規模社会シミュレーションのフレームワーク “Social Macro Scope” を開発し、科举制度や企業組織のパフォーマンスを分析した。さらに、「複雑二重ネットワークモデル」を提唱し、貨幣の創発やコンテンツ産業における流行発生メカニズムを明らかにした。この他、種々の社会・経済・組織問題へのエージェントベースモデリングの適用と評価を行った。

研究成果の概要 (英文)：

The objectives of our research project are to employ emergent computational approaches for large-scale agent-based simulation and to apply it to socio-economic systems. As a result, we have developed a large-scale simulation framework, “Social Macro Scope (SOMAS),” and analyzed civil service examination in Chinese history and performances in an organization. Besides, we have proposed a simulation model, “Doubly Structural Network Model” and clarified emergence of money and the mechanism of fashion in contents business. We have also applied agent-based modeling approach to various social, economic, and organizational systems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	6,000,000	1,800,000	7,800,000
2009 年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2010 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	14,600,000	4,380,000	18,980,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：知能情報処理, ABM, 創発計算, 大規模問題

1. 研究開始当初の背景

ソフトウェア・エージェントを用いた社会シミュレーション (Agent-Based Simulation; ABS あるいは Agent-Based Modeling; ABM)

はここ数年、人工知能・計算機科学分野、社会科学野をまたがって注目を集めている。ABM の特長は、人工社会モデルを構築し、エージェント同士の相互作用によって現象の解明を行う点、これまで実験の困難であった

社会経済システム等の分野に適用可能な点、ボトムアップ型のモデル構築が可能な点にある。

ABM/ABSの研究は、21世紀にはいつてから非常に盛んになってきている。米国では、カーネギーメロン大学 (CMU)・ジョージメイソン大学 (GMU)・スタンフォード大学・ブルッキングス研究所・アルゴンヌ国立研究所などを中心に、計算数理組織理論や Agent Based Computational Economics などが活発であり、NAACSOS (North American Assoc. on Computational, Social, & Organizational Sciences) の会議が毎年開催されている。欧州では、英サレー大学・独コブレンツ大学などを中心に理論的な研究が盛んであり、ESSA (European Soc. Sim. Assoc.) が国際会議を開催している。

国内でも人工知能学会、計測自動制御学会、ソフトウェア科学会、組織学会、進化経済学会、社会システム情報学会などで同様の動きがみられる。これらは人工知能分野、ならびに既存の文系・理系の枠組みにとらわれないきわめて学際的な動きである。提案者は、これらにも積極的に参画している。2005年11月には、東工大のメンバを中心に JAWS (Joint Agent Workshop and Symposium) を企画・実施した。東工大の COE プログラム：エージェント・ベース・社会システム科学の創出 (代表：出口弘)、東大・国際社会科学専攻の学術創世プロジェクト：マルチエージェント・シミュレータによる社会秩序変動の研究 (代表：山影進)、ロボカップ・レスキューも我国の代表的なプロジェクトである。

我々はこれら内外の研究活動に 1990 年代初めに ABM 研究が開始された時点から積極的に関与し、研究の発展と普及に努めてきた。さらに、本提案を実施する上では、我々は、ABM、進化計算、マルチエージェント、人工知能、社会システム、進化経済学、シミュレーション、ゲーミングなどの分野において、すでに数多くの成果を挙げており、世界的にも最も先端的な研究を実施している。

最近の提案者の本分野に関連する活動は以下のとおりである：提案者は、アジア太平洋地域の学会 PAAA (Pacific Asian Assoc. on Agent-Based Soc. Sys. Sci.) の代表であり、2001 年度よりこの分野の代表的な会議 AESCS

(Agent-based approach in Economic and Social Complex Systems) を毎年主催している。さらに、NAACSOS、ESSA、PAAA が協力して 2006 年 8 月に京都大学において第 1 回 WCSS (World Congress on Social Simulation) を成功させ、提案者が大会委員長を務めた。

2. 研究の目的

内外の既存研究に比較すると、本提案の特長は以下の 2 点にまとめられる。

- (1) 提案者等のこれまでの研究に基づき、ABS の高速化・大規模化に対して、創発的計算手法を統一的に適用すること；
- (2) 社会・経済・組織の適用分野に関する豊富な適用経験に基づき、実世界にグラウンドする応用領域を指向していること。

したがって本研究では、百万から一千万エージェントのシミュレーションを妥当な時間内 (1 日程度の計算時間) に実行可能とする方式を開発する。これは、グリッド計算システムの利用と新しいシミュレーション算法の開発を前提として実現する。また、社会シミュレータに必然的に存在する膨大なパラメタ空間を効率的に探索する創発計算手法を確立する。

本研究の対象領域としては、経済・金融システム、マーケティングシステム、社会ネットワークシステムなど、従来のトップダウンな手法では分析に限界があるもの、あるいは、従来、規模の制約ゆえ詳細な研究が不可能であった分野を取り扱う。

具体的な内容は以下のとおりである：

- (1) グリッド利用技術：社会シミュレーションに適したグリッド利用技術の開発；
- (2) ソフトウェア技術：計算量の少ないエージェントのインタラクション・モデルの開発；
- (3) シミュレーション効率化：社会シミュレーションにおける系統的なパラメタ探索手法の開発
- (4) 結果の妥当性検査：シミュレーション結果へのモデルマイニング手法の開発
- (5) 適用領域：大規模化が要請される社会・経済・組織問題への適用

3. 研究の方法

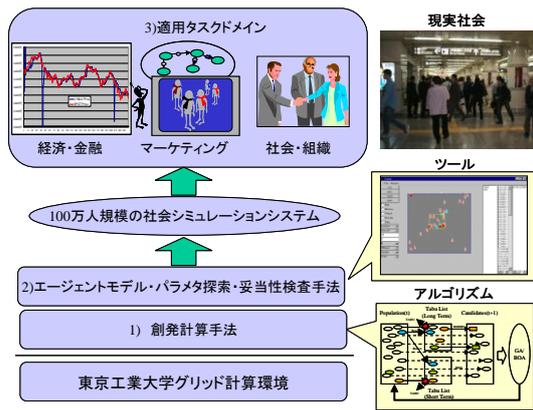


図1：研究項目と関連項目との関係

本研究は以下の3つの大項目とそのもとでの小項目とから構成される。東工大グリッドシステムを最下層に、適用タスク・ドメインを最上層に、それぞれの項目を図1の要領で構成し、研究を実施する。

(1) 創発計算のソフトウェア技術（社会シミュレーションむけの創発計算手法の開発）

ここでは、既存の社会システムシミュレーションを大量かつ容易に並列実行するためのアーキテクチャの設計を実施する。これと並行して、遺伝的アルゴリズムを用いた ABM 実行手法の開発化を担当する。さらに、TSUBAME グリッド上で ABM が効率的に稼動するための、ABM 用創発計算アルゴリズムを開発する。これに加えて、個々のソフトウェアモジュール同士のインタラクションが少ない並列実行の効率化を目的とする。

(2) ABMむけのソフトウェア技術（インタラクション・モデルの開発；系統的なパラメタ探索手法の開発；妥当性検査手法の開発）

現在の社会シミュレータでは、エージェント同士のコミュニケーションは時間・空間を超えて自由に行うことを仮定するが多い。これはエージェント数を増加する場合には効率に悪影響を与える。一方、スモールワールドの研究が示唆するように、現実社会ではエージェント間の実際のコミュニケーション数はあまり多くない。本研究項目では、通信ネットワークの構成法を例に、エージェント・インタラクションの効率を改善できるモデルを開発する。

(3) 大規模問題による実証（社会・経済・組織問題への ABM の適用と評価）

社会シミュレータには、調整すべきパラメタ数が多い。この最適値を探索することは、

社会システムの制度設計につながる。これは悪構造の最適化問題であり、通常の方法では探索することは難しい。本項目では、遺伝的アルゴリズムに代表される進化計算手法を用いる。また、組織的な問題解決の算法を取り扱うとともに、逆シミュレーション手法の改善を行う。逆シミュレーションは、一般の逆問題を解く方法に従う最適化手法である。すなわち要素の設計・望ましい評価関数の設定・シミュレーションの実行・パラメタの自動調整からなるサイクルを用いる。

(4) 妥当性検査手法の開発

社会シミュレーションの結果が正しいかどうかを判定することは難しい。これは、社会システムの法則には自然科学のような第一原理が存在しないことによる。したがって、検査・確認することは大きな研究テーマである。本項目では、シミュレータの構成要素がその変更に対してどのような影響を及ぼすかを調べるモデル・バリデーションの手法と、進化計算算法を用いてパラメタの感度分析を行う遺伝的妥当性検査手法を中心に手法の開発を実施する。対象としては、社会コミュニケーションやインタラクションのシミュレーションモデルを利用する。手法の汎用性を主張するためには、より複雑な問題設定が必要となる可能性がある。

(5) 社会・経済・組織問題への ABM の適用と評価

ここでは、経済問題に関する ABM のモデル化を実施し、特に、個人的・社会的・政策的なオプションの扱いに注目した研究を行う。また、行動ファイナンス・社会的インタラクションの観点からのモデル化の研究を行う。さらに、情報財の流通モデルならびに P2P コミュニケーションの課題を中心にシミュレーション研究を行う。

4. 研究成果

まず、(1) 創発計算のソフトウェア技術、(2) ABMむけのソフトウェア技術、そして(4) 妥当性検査手法の開発、を統合した、大規模社会シミュレーションのフレームワーク “Social Macro Scope (SOMAS)” を開発した (Yang et al., 2009a, 2009b; Terano, 2011)。これにより、ランドスケープを獲得する順シミュレーション、現象を説明するパラメタを探索する逆シミュレーションの実行を容易に行えるようになった。これにより、個々のパラメタの値によって得られる系全体の挙動を効率よく俯瞰することができるだけでなく、実際に発生した事象を説明する

のに最低限必要なパラメタの組み合わせと値をモデル・バリデーションの手法と、進化計算算法を用いてパラメタの感度分析を行う遺伝的妥当性検査手法によって同時に達成することができた。このプラットフォームによって、(3) 大規模問題による実証の一つである、古代中国の科挙試験制度における成功した家系とそうでない家系との間に存在する戦略の相違点を明らかにした (Kurahashi and Terano, 2008) (図 2)。さらに、企業組織構造とパフォーマンスとの関係を明示することができた (菊地ら, 2009; Toriyama et al., 2009)。

これとは別に、知的社会シミュレーション用のプラットフォームも開発し、統計分析手法による妥当性検査も行えるようになった (Khandan and Terano, 2010)。

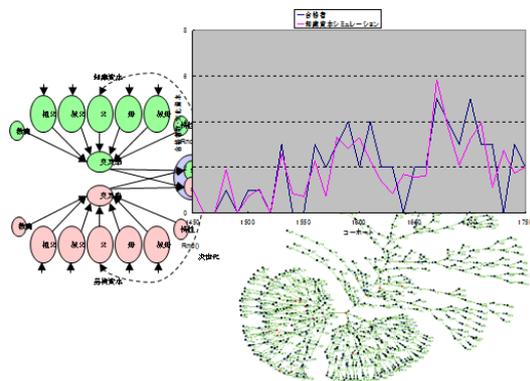


図 2: SOMAS による科挙試験の家系分析

一方、(2) ABMむけのソフトウェア技術の一つであるエージェントのインタラクション・モデルとして、「複雑二重ネットワークモデル」(Doubly Structural Network Model)を提唱した(図 3)。このモデルは、社会ネットワークを構成する個々人の中にもう一つのネットワークを持つものを指す。ここで、個々人が持つもう一つのネットワークはモノやコンテンツの繋がりを表し、モノの繋がりであればその両者は交換可能であるものとし、コンテンツの繋がりであれば両者は関連があるものとする。すなわち、複雑二重ネットワークモデルとは、社会における主体間の取引・コミュニケーション等の動的変化を記述する手段である。しかも、社会における概念・知識のマイクロな伝播・学習をマクロレベルでの創発・自己組織化を容易に記述でき、近似力学系やシミュレーション双方からの解析を可能にする。

その結果、まず、貨幣の創発が発生するための条件として、社会ネットワーク構造と媒介中心的なエージェントの存在が示された (e.g. Kunigami et al., 2010a; 國上ら, 2009)。さらに、社会ネットワーク構造によっては多様な貨幣が共存しうることも示された (Kunigami et al. 2010b)。同様に、マ

イレージポイントが一極集中する条件とそれを促進・抑制するための政策分析も可能になった (Kobayashi et al., 2009)。また、コンテンツ産業における個人間での情報流通の性質についても、多くのユーザに流され、かつ多くのコンテンツと共に流通される「メジャーコンテンツ」が経路依存的に出現するメカニズムを解明した(図 4)。



図 3: 複雑二重ネットワーク (DNS) モデル

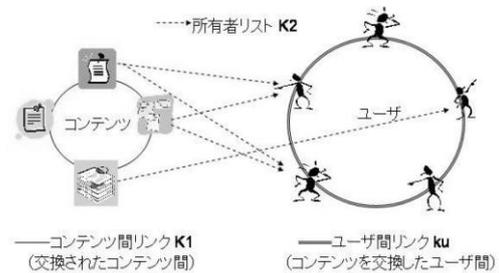


図 4: コンテンツ産業の DNS によるモデル化

さらに、(5) 社会・経済・組織問題への ABMの適用と評価は以下の通りである：① 企業組織で観察される「逸脱」と「改善」のシミュレーションによる説明と報酬制度や組織構造等によるハーネシング (間接制御) の考察 (Kobayashi et al., 2010; 小林ら, 2010)、② 企業組織での組織構成員の多様性と組織パフォーマンスとの関係 (高橋ら, 2010a, 2010b)、③ 行動ファイナンス理論と ABMとの融合による投資家の行動と価格決定メカニズムの解明。特に、自信過剰な投資家の出現、パッシブな投資家が市場に与える影響、さらにパッシブな投資戦略とアクティブな投資戦略が共存するための条件の提示 (e.g. Takahashi and Terano, 2010)、④ 四人のジレンマゲームにおける次善の策を考慮したときのプレイヤーとゲームの挙動の分析と、社会ネットワーク上での入札談合問題分析への適用と談合が発生する条件とそれを防ぐための施策の検証 (大平・寺野, 2010; Ohdaira and Terano, 2009)、⑤ 電子メール解析によって得られたコミュニケーション伝達過程の ABS による再現 (Matsuyama and Terano, 2008)。これらの成果は、ABMによっていくつかの大規模社会・経済現象が様々な角度から初めて説明が可能になったことと、今後とも他の現象への

適用が見込まれることを示している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 28 件)

- [1] 大平哲史, 寺野隆雄, “空間ゲームに基づく入札談合問題の分析,” *電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌)*, Vol. 131, No. 3, pp. 689-697, 2011. (査読あり)
- [2] 寺野隆雄, “巻頭言: シミュレーションで社会を知る,” *知能と情報(日本知能情報フアジィ学会誌)*, Vol. 22, No. 2, p. 1, 2010. (査読なし)
- [3] Takahashi, H., Terano, T., “Agent-Based Modeling Bridges Theory of Behavioral Finance and Financial Markets,” in Shu-Heng Chen, Yasushi Kambayashi, Hiroshi Sato (Eds.), *Multi-Agent Applications with Evolutionary Computation and Biologically Inspired Technologies*, Chapter 8, IGI Global, pp.134-154, 2010. (査読あり)
- [4] Khandan, H., Terano, T., “Knowledge Request-Broker Architecture: A Platform for Social Computational Intelligence,” *International Journal of Energy, Information and Communications (IJEIC)*, Vol. 1, No. 1, pp. 1-15, 2010. (査読あり)
- [5] Kunigami, M., Kobayashi, M., Yamadera, S., Yamada, T., Terano, T., “A Doubly Structural Network Model: Bifurcation Analysis on the Emergence of Money,” *Evolutionary and Institutional Economics Review*, Vol. 7, No. 1, pp. 65-85, 2010. (査読あり)
- [6] 寺野隆雄, “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,” *横幹*, Vol. 4, No. 2, pp. 56-62, 2010. (査読あり)
- [7] Kunigami, M., Kobayashi, M., Yamadera, S., Yamada, T., Terano, T., “A Doubly Structural Network Method and Analysis on the Emergence of Money,” in K. Takadama, C. Cioffi-Revilla, G. Deffuant (eds.): *Simulating Interacting Agents and Social Phenomena: The Second World Congress, Agent-Based Social Systems*, Vol. 7, Springer, pp. 137-150, 2010. (査読あり)
- [8] Ohdaira, T., Terano, T., “Cooperation in the Prisoner’s Dilemma Game Based on the Second-Best Decision,” *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 12 (4) 7 (Online-Journal), 2009. (査読あり)

- [9] 菊地剛正, 鳥山正博, 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. (査読あり)

[10] T. Terano, A. Kishimoto, T. Takahashi, T. Yamada, and M. Takahashi: Agent-Based In-Store Simulator for Analyzing Customer Behaviors in a Super-Market. J.D. Velasquez et al. (Eds.): *Proc. KES 2009, Part II, LNAI 5712*, pp. 244-251, 2009. (査読あり)

[11] 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. (査読あり)

[12] 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. (査読あり)

[13] Yang, C., Kurahashi, S., Kurahashi, K., Ono, I., Terano, T., “Agent-Based Simulation on Women’s Role in a Family Line on Civil Service Examination in Chinese History. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 12, no. 2 (online-journal), 2009. (査読あり)

[14] 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. (査読なし)

[15] Yang, C., Jiang, B., Yamada, T., Terano, T., “Simulating the Effect of Team Management on its Performance,” *Journal of Harbin Institute of Technology*, Vol. 15, SUPPL., pp. 256-261, 2008. (査読あり)

[16] 小林 正人, 國上 真章, 山寺 智, 山田 隆志, 寺野 隆雄, “複雑 2 重ネットワークモデルによる貨幣創発のエージェントシミュレーション,” *コンピュータソフトウェア*. Vol. 25, No. 4, pp. 261-268, 2008. (査読あり)

[17] Terano, T., “Beyond the KISS Principle for Agent-Based Social Simulation,” *Journal of Socio-Informatics*, Vol. 1, No. 2, pp. 175-187, 2008. (査読あり)

[18] Matsuyama, S., Terano, T., “Analyzing the ENRON Communication Network Using Agent-Based Simulation,” *Journal of*

Networks, Vol. 3, No. 7 pp. 26-33, 2008.
(査読あり)

[19] Kurahashi, S., Terano, T.: Historical Simulation: A Study of Civil Service Examinations, The Family Line and Cultural Capital in China. *Advances in Complex Systems (ACS)*, Vol. 11, No. 2, pp. 187-198 2008. (査読あり)

[学会発表] (計 103 件)

[1] Terano, T., “Rewinding the History: Uncovering the Civil Servant Examination System in China through Agent-Based Modeling (Invited Talk)” Proc. US Japan Society for the Proposition of Science Alumni Association 1st Multidisciplinary Science Forum, pp. 62-63, Mar. 11, 2011, Seattle, WA, United States.

[2] 寺野隆雄, “シミュレーションで社会をみる(招待講演),” 計測自動制御学会第44回システム工学部会研究会「第2回社会シミュレーション&サービスシステム・シンポジウム」 pp. 103-110, Mar. 10, 2011, 東京工業大学・田町キャンパス.

[3] Jiang, B., Yang, C., Yamada, T., Terano, T., “Why People Migrate? - Agent-Based Modeling with Active Brownian Particles?” The 3rd World Congress on Social Simulation (WCSS 2010), Sep. 6-9, 2010, Kassel, Germany.

[4] Kobayashi, T., Takahashi, S., Kunigami, K., Yoshikawa, A., Terano, T., “Unifying Organizational Deviation and KAIZEN Activities - An Agent Based Model,” Ernst, A. & Kuhn, S. (Eds.) (2010). Proceedings of the 3rd World Congress on Social Simulation (WCSS 2010), Sep. 6-9, 2010, Kassel, Germany.

[5] Nishida, R., Terano, T., “Identification of Voting with Individual’s Feet through Agent-Based Modeling,” The Sixth International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems (AESCS 2009), November 13-14, 2009, National Chengchi University, Taipei, Taiwan.

[6] Yang, C., Takahashi, T., Jiang, B., Ono, I., Kurahashi, S., Terano, T., “A Grid-Oriented Social Simulation Framework for Large Scale Agent-Based Modeling,” The 6th Conference of European Social Simulation Association (ESSA 2009), September 14-18, 2009, University of Surrey, Guildford, United Kingdom.

[7] Kobayashi, M., Kunigami, M., Yamadera, S., Yamada, T., Terano, T., “How a Major

Mileage Point Emerges through Agent Interactions using Doubly Structural Network Model,” AAMAS International Workshop on Emergent Intelligence on Networked Agents (WEIN’09), May 10-15, 2009, Budapest, Hungary.

[8] Yang, C., Kurahashi, S., Terano, T., “Agent-based Simulation on Women’s Role in a Family Line on Civil Service Examination in Chinese History,” Proceedings of The Fifth Conference of the European Social Simulation Association (ESSA 2008), September 1-5, 2008, University of Brescia, Brescia, Italy.

[9] Kunigami, M., Kobayashi, M., Yamadera, S., Yamada, T., Terano, T., “A Doubly Structural Network Model and Analysis on Emergence of Money,” The second World Congress on Social Simulation (WCSS-08), July 14-17, 2008, George Mason University, Fairfax, VA, United States.

[図書] (計 1 件)

[1] 出口弘, 木嶋恭一 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. 248 ページ. (第8章 社会経済を知識と人のネットワークで観る, pp. 153-166)

[その他]

ホームページ等

<http://www.trn.dis.titech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺野 隆雄 (TERANO TAKAO)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・教授

研究者番号: 20227523

(2) 研究分担者

山田 隆志 (YAMADA TAKASHI)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・助教

研究者番号: 90401570

(3) 連携研究者

倉橋 節也 (KURAHASHI SETSUYA)

筑波大学・ビジネス科学研究科・准教授

研究者番号: 40431663

高橋 大志 (TAKAHASHI HIROSHI)

慶應義塾大学・大学院経営管理研究科・准教授

研究者番号: 60420478