

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 17 日現在

機関番号：82723

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330277

研究課題名(和文)レジリエントなマルチエージェントシステムとその応用に関する研究

研究課題名(英文)A Study of Resilient Multi-agent Systems and Their Application

研究代表者

生天目 章(NAMATAME, AKIRA)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・教授)

研究者番号：70546051

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：マルチエージェントシステムのレジリエンスに着目し、社会経済システムに応用しながら、新しい科学的知見を得た。特に、リスク分散が極めて大きい、べき分布型リスク(低頻度・巨大災害)に有効に対処するためのリスク共有プロトコルを設計し、マルチエージェントシステムに実装し、エージェントネットワークの可塑性などを具現化しながらシステムのレジリエンスを評価した。リスク共有プロトコルに基づくシステム構成法の妥当性を評価しながら、レジリエントなマルチエージェントシステムの設計法を確立することができた。さらには、航空網やサプライチェーンに応用し、カスケード障害の軽減化が図れることを確認した。

研究成果の概要(英文)：This research investigates the possibilities and constraints of creating decentralized and coordinated solution to enhance system resilience with an agent-based approach. An agent-based modeling is used to analyze how a local propagates through the dynamic networks and form avalanches of failure. The linkage dependence among agents at the micro-level is focused in order to estimate the impact on the macro activities. Combining agent-based modeling with the network analysis can shed light on understanding the primary mechanism of risk propagation. An effective method based on the concept of risk sharing is provided with a simple micro-foundation based on coordinated incentives to absorb external shocks in order to survive collectively. It is analyzed how risk sharing rules can actually affect the agent's resilience to external shocks in the areas such as transportation networks and supply chain networks.

研究分野：情報工学

キーワード：マルチエージェントシステム キーワード：マルチエージェントシステム, べき分布型リスク

1. 研究開始当初の背景

電力、通信、交通、金融システムなどは、大規模なネットワークを形成しながら、相互連結度を高めている。このことで、個々のシステムの効率性や利便性を高めているが、反面、一部の障害がネットワーク全体に連鎖的に波及するカスケード障害の危険性をも高めている。金融面では、一部の金融機関の破綻が他の金融機関に連鎖し、金融システム全体が混乱に陥る、システムック・リスクの危険性も指摘されている。自然災害などのリスクに対しては、過去の統計データに基づきリスクを分散させる方法があるが、低頻度・巨大被害に対処するための新しい方法論の確立が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、レジリエンスの高いマルチエージェントシステムを実現し、社会経済システムに応用しながら、システム設計法に関する新しい科学的知見を得ることを目的とする。特に、生態学から知見を得た制御法に着目し、リスク共有プロトコルを設計し、マルチエージェントシステムに実装し、またエージェントネットワークの可塑性を具現化しながらレジリエンスを評価する。さらには、社会・経済システムに応用し、カスケード障害の軽減化が図れることを確認する。

3. 研究の方法

(1) 同時に大きな外乱やショックを受けたとき、それをネットワーク結合されたエージェント間で分散を図るためのリスク共有プロトコルを設計し、その有効性を評価する。特に、低頻度・巨大被害型リスクにも有効なリスク共有のあり方を検討する。マルチエージェントシステムにリスク共有プロトコルを実装し、カスケード障害やシステムック・リスクの危険性をもつ社会・経済システムに応用する。

(2) 生態系は、大きな環境変化に対して高いレジリエンスを維持している。その秘訣は、多種多様な種間で形成される生態ネットワークを柔軟に変化させる可塑性などにあるとされている。このような生態系がもつ性質から知見を得て、マルチエージェントネットワークの可塑性を実現する。具体的には、多数のエージェントが相互作用を繰り返す中、エージェントネットワークを自己触媒的な方法で成長させる仕組みを導入する。個々のエージェントに定義される適応度とシステム全体の適応度の間でバランスを図りながら、関係性をもたないエージェントとは新しくリンクを形成し、リンク結合されているエージェントとは関係性を強める(あるいは弱める)、リンクを切断するなどの方法を取り入れ、ネットワークの可塑性を実現する。このことで、マルチエージェント全体を制御することなく、特定のエージェントの追加、既存エージェントの消滅、既存エージェント間の

結合度の変更することによるネットワーク制御法を確立する。また、ネットワーク構造に着目しながら中心的な役割を果たしているコアエージェントの動作を制御する、ピンポイント的な制御法を確立する。

4. 研究成果

本研究では、(i)エージェントモデルを構築し、(ii)連鎖型リスクに対するレジリエントなマルチエージェントシステムの構築、複雑ネットワークの視点から、金融経済と実体経済の連関性に応用した連鎖型リスクの分析・評価、(iii)世界の航空ネットワークと海上輸送ネットワークに関する大規模な実データを分析し、カスケード障害の評価を行なった。特に、応用研究を通じて、レジリエントなマルチエージェントシステムの設計論の完成度を高めるための総合的な分析と評価を行った。

(1)近年の社会システムは複雑になっており、複雑ネットワークの分析手法が用いられるようになってきている。複雑ネットワーク上で起こる現象は、ネットワークの構造と要素間で起こるダイナミクスの組合せによって変化している。複雑な振る舞いを示すネットワーク上でダイナミクスに関する研究は、基礎研究から現実社会での応用まで幅広く行われ、重要な研究分野として注目されている。本研究では、あるノードが故障したとき、連鎖的に他のノードを故障させてしまう、カスケード故障ダイナミクスを取り上げた。そしてカスケード故障を如何に抑え、カスケード故障に対するシステムのロバスト性をどのように向上させることができるのかを、エージェントネットワークモデルによって提案した。

(2)一部の金融機関の破綻は、信用不安など人々の心理面での負の連鎖により、他の金融機関の破綻を引き起こすことにつながることから、金融システムの安定性をいかに確保するかは、多くの国に共通する緊急の課題である。金融機関の戦略的な相互作用をバランスシートの操作としてモデル化し、マルチエージェントシステムに実装し、金融危機における個々のエージェント(金融機関)の流動性選好が及ぼす影響などを、バランスシートと金融ネットワーク構造上の特徴と関連づけて明らかにできた。

(3)特に、金融経済と実体経済の両部門の複雑な相互作用に着目し、金融、実体経済の主体をなす銀行、企業をエージェント化し、両者間の融資関係をネットワーク表現し、エージェント状態やネットワークの動的変化が系全体に与える影響を可視化・分析することで、リスク伝搬プロセスを解明するための組みを構築した。

(4)物流に関しては、エージェントモデルに基づき、サプライチェーンネットワークを構築し、一部の工場の生産能力の低下、市場の突然の変化(需要変動)、交通ルートの中断

などの様々な事業中断シナリオの下で、サブライチエネットワークのレジリエンス(事業継続性)を向上させるための方策について、個々のエージェントの動作やネットワークの視点から分析をした。

(5) ネットワークのカスケード障害の対処法の研究では、電力網等のネットワークで起こる過負荷型カスケード故障のモデルを検討し、その緩法を考案した。特に、ロバストなネットワークの構築法(ハブ同士が連結する中心のコアと周辺ノードが繋げる新たなネットワークの構築)、リンクの張り替え法(既存のネットワークの次数分布を保存しながらリンクだけ張り替える手法)有効なルーティングの構築法、そしてノード間でのリスク共有法を提案し、提案した手法の有効性と限界を明らかにできた。(6) また重み付きネットワーク上でのカスケード障害の緩和法を検討するため、オープンデータに基づき世界の航空ネットワークと海上輸送ネットワークを構築して、これらの二つの現実ネットワークの構造と脆弱性の関係を明らかにした。これらの実データに基づく研究を通じて、レジリエントなマルチエージェントシステムの設計論の完成度を高めることができた。特に、一部の空港や港の過度な負荷によって生じるカスケード障害の軽減化につながることを、マルチエージェントシミュレーションにより評価した。

以上の成果から、カスケード障害の制御や防御法に関する従来の提案手法と比較しながら、マルチエージェントによる制御法の利点や課題などを明らかにできた。

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20件)

Akira Namatame, Takanori Komatshu "Modeling of desirable socio-economic networks" in OUP Handbook on Computational Economics and Finance, S. Chen, M. Kabououan, Y. Du (Eds.) Oxford University Press, 2015.

Yujin Kitamura, Akira Namatame, "The influence of stubborn agents in a multi-agent network for inter-team cooperation/negotiation", International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, Vol.4, No.5, pp.1-9, 2015.

Hoang Anh Q. Tran, Akira Namatame "Mitigating Cascading Failure with Adaptive Networking" New Mathematics and Natural Computation, Vol. 11, No. 2, pp.151-163, 2015.

Saori Iwanaga, Akira Namatame "Hub Agents Determine Collective Behavior" New Mathematics and Natural Computation, Vol. 11, No. 2 pp.165-181, 2015.

Saori Iwanaga, Akira Namatame, "Collective behaviour in cascade model depends on turn of the choice", New Mathematics and Natural

Computation Vol. 11, No. 2 pp.33-50, 2015.

Viet Chau Dang, Masao Kubo, Hiroshi Sato, Tomohiro Shirakawa, Akira Namatame, "Occupancy grid map of semi-static objects by mobile observer", Artificial Life Robotics, March 2015, Volume 20, Issue 1, pp. 7-12, 2015.

Hoang Anh Q. Tran, Akira Namatame "Design Robust Networks against Overload-Based Cascading Failures" International Journal of Computer Science and Artificial Intelligence. Vol. 4.pp.35-44, 2014.

Hoang Anh Q. Tran, Akira Namatame, "Mitigation of Cascading Failures with Link Weight Control, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Volume 5 Issue 7, pp.99-105, 2014.

Yujin Kitamura, Akira Namatame, "Optimal network design for consensus formation: wisdom of networked agents, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 5, No. 8, pp.150-162, 2014

Kiyotaka Ide, Akira Namatame, Loganathan Ponnambalam, Xiuju Fu, Rick Siow Mong Goh "A Study on Relationship between Modularity and Diffusion Dynamics in Networks from Spectral Analysis Perspective" International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 5, No. 9, pp.24-31, 2014.

Kiyotaka Ide, Akira Namatame, Loganathan Ponnambalam, Xiuju Fu, Rick Siow Mong Goh "A new centrality measure for probabilistic diffusion in network"Advances in Computer Science: an International Journal, Vol. 3, Issue 5, No.11, pp.115-121, 2014.

Chau Dang Viet, Masao Kubo, Hiroshi Sato, Akira Namatame, "Design of Safety Map with Collectives of Smartphone Sensors" Human Behavior Understanding in Networked Sensing, Springer, pp.431-452, 2014 .

Yoshito Suzuki, Akira Namatame, Yuji Aruka, "Agent-based Modeling of Economic Volatility and Risk Propagation on Evolving Networks, Proceedings of Adaptation, Learning and Optimization Series, Springer-Verlag, pp.463-480, 2014.

Akira Namatame, Kiyotake Ide, "Systemic Risks and Resilience in Global Financial Networks", Proceeding for 2014 International Conference on Global Economy, Commerce and Service Science, pp.1-5, 2014

Kiyotake. Ide, Ryouta Zamami, Akira Namatame, "A Mesoscopic Approach to Modeling and Simulation of Systemic Risks", Proceeding of IEEE Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics, pp.144-151, 2014.

Viet Chau Dang, Masao Kubo, Hiroshi Sato, Tomohiro Shirakawa, Akira Namatame, "Anomaly stop detection by Smartphone", Journal of Robotics, Networks and Artificial Life, Vol. 1, No. 1, pp.2-6, 2014.

〔学会発表〕(計 16 件)

Plenary talk “Catastrophe Modeling”, The Second Asian Conference on Defense Technology, Chiang Mai, Thailand, January 21-23, 2016

Invited talk “Agent-based Supply Chain”, Surabaya Institute of Technology, Indonesia, March 12-13, 2015

Invited talk “Smart network: Smart Supply Chain Networks”, Bandung Institute of Technology, Indonesia, March 14-15, 2015 .

Invited talk “Disruption management in global supply chains”, Nanyang Technological University Singapore, March 16-17, 2015

Invited talk “Crowdsourced real-data in humanitarian logistics”, The First Asian Conference on Defense Technology, Hah-Hin, Thailand, January 21-23, 2015

Invited talk “Global Logistics and Geopolitics of Flows”, The third Asia-Pacific Econophysics Conference, Singapore, July 13-15, 2015

Keynote talk “Collective intelligence with integrating smart phone data: building safety road maps”, 2015 International Workshop on Wireless Communication and Network, August 21-23, Kunming, Yunnan, China, 2015

Keynote talk “Design of Desirable Socio-economic Networks”, The 19-th International Conference on Intelligent and Evolutionary Systems, November 23-25, Bangkok, 2015

Tutorial talk “Systemic Risks”, ESHIA Conference, Tianjin, China, June 15-19, 2014

Tutorial talk, “Survivability of Networked Agents with Risk Sharing” 2014 International Conference on Intelligent Autonomous Agents, Networks and Systems(INAGENTSYS 2014), Bandung, Indonesia, August 19-21, 2014.

Invited talk “Agent-based Analysis of Economic Crises” Social Modeling and Simulations + Econophysics Colloquium(SMSEC) 2014, Kobe, Japan, Nov.5-7, 2014

Plenary talk “Design Resilient Systems from Optimizing Principles” The 7-th IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense Applications (IEEE CISDA) Ha Noi, Vietnam, December 14-17, 2014.

Tutorial talk “Introduction to Complex Networks”, The 7-th IEEE Symposium on Computational Intelligence for Security and Defense , Applications (IEEE CISDA) Ha Noi, Vietnam, December 14-17, 2014,

Plenary talk “Contagion Risks on Optimized Networks” ESHIA Winter Workshop :Towards Large Multiscal Simulations of Complex Socio-Economic Systems of Heterogeneous Agents ②Singapore, November 18-19, 2013

Plenary talk “Synchronized Control of Networked Agents and Wisdom of Collective”, The 3rd International Conference on

Instrumentation, Control, and Automation ②Bali, Indonesia, August 28-30, 2013.

Tutorial talk “Systemic Risks” ②WEHIA-COST PH.D School ②Reykjavik University, Iceland, June 17-19, 2013.

Tutorial talk “Simulation Models on Systemic Risks” ②IEEE Series of Computational Intelligence, ②Singapore, April 16-19, 2013

〔図書〕(計 2 件)

Agent-based Modeling and Network Dynamics , Oxford University, 2016.
社会システム , ミネルヴァ書房 , 2014

6 . 研究組織

(1)研究代表者

生天目 章 (AKIRA NAMATAME)
防衛大学校・電気情報学群・教授
研究者番号 : 70546051

(2)研究分担者

高玉 圭樹 (KEIKI TAKKADAMA)
電気通信大学・情報理工学・教授
研究者番号 : 20345367

(3)研究分担者

佐藤 浩 (HIROSHI SATO)
防衛大学校・電気情報学群・准教授
研究者番号 : 30295737

(4)研究分担者

久保 正男 (MASO KUBO)
防衛大学校・電気情報学群・准教授
研究者番号 : 30292048