

令和 3 年 6 月 15 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00302

研究課題名(和文)クラウド環境でのスワームロボティクスのための進化型人工知能

研究課題名(英文)Evolving Artificial Intelligence for Swarm Robotics on Cloud Computing

研究代表者

松村 嘉之(Matsumura, Yoshiyuki)

信州大学・学術研究院繊維学系・准教授

研究者番号：50362108

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：クラウド等を含む複数拠点に点在するGPU計算資源を安価に活用した。スワームロボティクスシステムを可塑的群知能システムとして構築するための新規設計論を構築することを目標にして、難易度レベルの異なるいくつかのマルチエージェント問題を取り扱い、群挙動が創発できた。特に、人工知能を人工社会シミュレーション実装の際のモデリングで活用することを指向し、人工社会でのモデル産業として繊維業界に着目し、繊維関連業界データを取り扱えた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間の影響の増大に応じて、ネットワーク直径は正に反応し、集団中最大の次数中心性は負に反応した。また、空間の影響を国内産業の文脈で置き換えるために、JPY/USD為替変動との実際のネットワーク指標の関係を相関分析によって再分析も実施し、学術的意義を示せた。

産業を企業のネットワークと見なした複合的な観点に基づくネットワーク分析や、企業の振る舞いを模したネットワーク生成のシミュレーション実験が、多様な産業の連携を実現する社会設計の手法として有用であることも示し、社会的意義があった。

研究成果の概要(英文)：Cloud computing (including GPU) was used to design artificial neural network for swarm robotic system. The various levels of agent-based modeling have been addressed to build new theory of plastic swarm intelligent systems for the emergence of the collective behavior. Especially, in this research, textile industry was focused on as the model of industry in the artificial society. The agent-based model was designed and tested based on qualitative information on Japanese textile and apparel industries.

Consequently, network analysis revealed power-law properties and the structures of centralized hub companies. Moreover, in the simulation experiments, the centralizations of the networks generated by the agent-based model due to innovation in ICT and logistics technology were illustrated. Therefore, one of the predicted cases regarding changes that occur in the B2B networks was explained as centralizations to hub companies.

研究分野：知能情報

キーワード：クラウド計算 企業間取引関係 GPU計算 エージェントシミュレーション 複雑ネットワーク 繊維・アパレル産業 企

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

ハチやシロアリなどの社会性構造を備える昆虫は社会性昆虫と呼ばれる。社会性昆虫は、自身の能力を超えたタスクを成し遂げるために各個が協調し合うことが知られている。このような社会性昆虫の能力は研究者の大きな関心を導き、Swarm Intelligence (SI) [Bonabeauら, 1999]という学术領域が生まれるに至った。SI は多くの新生の学术領域を感化し、社会性昆虫の学問から自律ロボットの群れに対する制御アルゴリズムの設計まで幅広い学問を網羅するように発展している。

近年では、マルチロボットシステムへSI を適用するシステムに関して、Swarm Robotic Systems (SRS)[Dorigoら2004][Sahin2005]という言葉が使われるようになった。SRSの具体的な定義は、「多数のロボットによって構成されるマルチロボットシステムのうち、与えられたタスク達成にロボット間の協調が不可欠であるような問題を取り扱うシステム」である[Dorigoら2004]。SRS では、各ロボット同士またはロボットと環境との局所的な相互作用から、多数の単純なロボットに所望の群行動を創発させることを目指している。

2. 研究の目的

これまで、申請者らは進化計算の並列分散性に着目した研究を実施し、進化計算の最適化能力を向上させ、いくつかの進化設計の課題に取り組んできた。一連の研究で提案している手法によって、最適化を効率よく行えるようにはなったが、取り扱う問題が大規模化することによって、莫大な計算量が必要となり、他の進化計算の研究グループと同様に、計算時間の長期化が深刻な問題となっている。そこで、クラウドコンピューティングとGPUを利用したシミュレーションを実施できるよう計算機環境を整備する。そして、この計算実験環境の並列分散性を有効に利用し、繊維産業関連データを利用したエージェントベースモデリングの実験により、群としてのロボットに見立てた企業群の振る舞いを(産業形成として)創発させる。さらに、ネットワーク分析や生態学に基づいた分析手法を用いて、機能と構造の関係性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究課題では、当初の計画した計算機環境を用意し、高速に計算機実験を実施する。取り扱う題材として、Society5.0のシームレス社会実現へ向けての多様な産業間の連携を図ることを念頭に、産業間の連携を実現するための産官による施策と、その効果の評価のための手法を確立することへの貢献することを目指した。産業は企業間取引のネットワークによって構成されており、企業の振る舞いを考慮した産業の振る舞いや経済現象を分析することで、産業の振る舞いについての理解が深まると思われるが、そのようなマクロとミクロの中間的領域に着目した仮説や手法による分析結果は十分な報告例は多くない。そこで本課題では、産業を企業間取引ネットワークと見なすことで、企業のネットワークで構成された産業という中間的な領域を見出し、ネットワーク分析の手法を適用することで数値化を試みる。また、企業間取引ネットワークの形成過程の理解を深めるために、企業の振る舞いを模したエージェントベースモデルを構築しネットワーク構造の形成過程に関するシミュレーション実験を試み

る。

4. 研究成果

繊維・アパレル産業の企業間取引ネットワークがレディス、メンズ、総合アパレル等の部門に分類される企業群によって形成されていることに着目して、全体と部門別についてのネットワーク分析を試みた。その結果、全体と部門のネットワークについて、べき乗則の回帰モデルに基づきスケール・フリー性に準ずる性質が得られた。この分析結果を言い換えるならば、全体と部門のネットワークはやや異なる構造でありながら、統計的には同様な性質を、全体と部門について繰り返して示すという自己相似的ネットワーク構造が明らかになった。総合アパレル部門のネットワークを対象にした中心性に関する分析では、総合商社やアパレル企業が部門の中心的企業として抽出されたが、メンズやレディスでは、専門商社やアパレル企業が中心的な企業として抽出された。つまり、統計的に見れば、全体と部門はおおよそ同様な性質を示すが、より詳細な視点では産業部門の違いが現れることが明らかになった。

繊維・アパレル産業は為替変動に応じて変遷してきたことが、マクロ経済学や経営学で言及されている。そこで、総合アパレルと専門部門のネットワーク構造の分析結果を受けて、総合アパレル部門が現在の繊維・アパレル産業を代表する部門であることを想定し、ネットワークの変遷に着目した分析を試みた。具体的には、USD/JPY の為替変動に着目して、円安と円高の両方のトレンドを含む 2005-2010 年度の総合アパレル部門の企業間取引ネットワークとの関係を示す統計モデルについて分析を試みた。その結果、ネットワークの核に相当する構造である総合商社について、USD/JPY の為替変動に対して正に相関した単回帰モデルが得られた。このことは、製造業の大部分が国外移転を果たし輸入に依存する、現在の繊維・アパレル産業を代表する振る舞いとして解釈することができる。一方で、ネットワークの核に対する周辺に相当するネットワーク直径について、負に相関した単回帰モデルが得られた。これは、存続する国内の製造業の振る舞いとして解釈することができる。つまり、国内外の産業における優位性は、企業間取引ネットワークの変遷に対しても相補的に影響を及ぼすことが明らかになった。

繊維・アパレル産業は異質な企業群の集合であり、産業部門ごとに独自に企業間取引ネットワークを発達させてきた。この状況に伴って、取引関係の情報産業化が求められていた。そこで、中心企業と、かつては中心ではなかった企業に着目して比較分析を行い、ネットワーク変遷の因果関係を定性的に考察した。その結果、ある総合商社の経時的な固有ベクトル中心性において、統計的に有意である分析結果が得られた。一方、分析対象期間内での繊維・アパレル産業における出来事として、かつて非中心的企業であった総合商社による SCM システムの導入として、つまり情報産業化に伴う変化が生じている。したがって、情報産業化に伴ってネットワーク構造にハブ構造が形成されたことが明らかになった。

上記は、企業間の地理的な関係性がネットワークに影響を及ぼしていることが解釈できることを鑑み、空間的な影響とエージェント間の取引に基づいてネットワークが形成されるという仮説検証モデル実験を試みた。その結果、空間の影響の増大に応じて、ネットワーク直径は正に反応し、集団中最大の次数中心性は負に反応した。空間の影響を国内産業の文脈で置き換えるために、JPY/USD 為替変動との実際のネットワ

ーク指標の関係を、相関分析によって再分析した。この結果、実験で得られた知見と共通な反応である、JPY/USD との正の関係がネットワーク直径においてみられ、JPY/USD との負の関係が次数中心性において明らかになった。また、モデル実験から得られたネットワークの分布特性を表した相補累積分布関数において、実際のデータから得られた統計的性質に近い統計値を示すスケール・フリー性の分布特性が特定の試験条件において示された。以上により、仮説検証モデル実験によっても繊維・アパレル産業の企業間取引ネットワークの形成過程を再現可能なことを示した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 小粥勇作、松村嘉之、星野雄介	4. 巻 Vol. 60, No. 5
2. 論文標題 繊維・アパレル産業における取引関係の経年変化 (2005-2010) 複雑ネットワークのマクロ的指標に基づく為替変動との回帰分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本繊維製品消費学会誌	6. 最初と最後の頁 393-399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11419/senshoshi.60.5_393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 小粥勇作、松村嘉之、星野雄介	4. 巻 Vol. 60, No. 6
2. 論文標題 繊維・アパレル産業におけるハブ企業に着目した企業間取引ネットワークの変化(2005-2010) 中心性に基づく為替変動との回帰分析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本繊維製品消費学会誌	6. 最初と最後の頁 479-485
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11419/senshoshi.60.6_479	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Y. Ogai, Y. Matsumura, Y. Hoshino, T. Yasuda, K. Ohkura	4. 巻 31
2. 論文標題 Centralized Business-to-Business Networks in the Japanese Textile and Apparel Industry: Using Network Analysis and an Agent-Based Model	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 546-557
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2019.p0546	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Y. Ogai, Y. Matsumura, Y. Hoshino	4. 巻 Vol. 7, No. 5
2. 論文標題 Changing Structures of BtoB Networks on Japanese Textile and Apparel Industry: Economic Relations between Core-Networks and Periphery-Networks from the Perspective of Complex Systems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Fashion and Textile	6. 最初と最後の頁 1 - 20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40691-019-0198-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 森本大智、平賀元彰、大倉和博、松村嘉之	4. 巻 Vol. 33, No. 5
2. 論文標題 深層強化学習とDeep Neuroevolutionによるロボティックスワームの群れ行動生成と解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 システム制御情報学会論文誌	6. 最初と最後の頁 163 - 170
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5687/iscie.33.163	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Hoshino and Yoshiyuki Matsumura	4. 巻 35
2. 論文標題 Approaching Indirectly to Complementors and Taking Neutral Position in Platform: Exploratory Research on the Progression from a Start-Up to a Platform Leader	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Entrepreneurship and Small Business	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1504/IJESB.2018.10010393	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小粥勇作, 松村嘉之, 大谷毅, 高寺政行, 星野雄介, 保田俊行, 大倉和博	4. 巻 58(7)
2. 論文標題 アパレル産業の企業間取引ネットワークにおける自己相似的構造	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本繊維製品消費科学会論文誌	6. 最初と最後の頁 590-598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11419/senshoshi.58.7_590	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小粥勇作, 松村嘉之, 星野雄介	4. 巻 61(7)
2. 論文標題 繊維・アパレル産業の情報産業化に起因した国内企業間取引ネットワークの形成に関する一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本繊維製品消費科学会論文誌	6. 最初と最後の頁 533-54
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11419/senshoshi.61.7_533	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 3件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Y. Matsumura and Y. Ogai
2. 発表標題 BtoB Networks in the Japanese Textile and Apparel Industry
3. 学会等名 The Fiber Society 's Spring 2019 Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Matsumura, S. Fukawa, N. Izyang and Y. Ogai
2. 発表標題 Trends based on Emotion and Reach on Twitter
3. 学会等名 Comfort and Smart Textile International Symposium (CSTIS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Ogai, Y. Matsumura and Y. Hoshino
2. 発表標題 Changes in the BtoB Networks with Exchange Rate: A case of Japanese Textile and Apparel Industry
3. 学会等名 Textile Bioengineering and Informatics Symposium (TBIS) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 N. Izyang, Y. Ogai, Y. Matsumura and Y. Hoshino
2. 発表標題 Information on Photos and Its Reflection of Cultural Differences: A Case Study of Visual Content on Instagram
3. 学会等名 Asian Textile Conference (ATC) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村嘉之
2. 発表標題 Swarm視点でのAI群戦略の有効性について：繊維関連業界取引関係データから生存戦略を捉えるには？
3. 学会等名 第24回ナノテク高機能テキスタイル基盤技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福頼征弥、平賀元彰、大倉和博、松村嘉之
2. 発表標題 Predator-Preyモデルにおける群れ行動生成とその定量的計測手法
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森本大智、平賀元彰、大倉和博、松村嘉之
2. 発表標題 DQNとDeep-Neuroevolutionによるロボティックスワームの群れ行動生成と解析
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鉄山法隆、森本大智、平賀元彰、大倉和博、松村嘉之
2. 発表標題 深層強化学習によるロボティックスワームの群れ行動生成とその制御器解析
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森本大智、平賀元彰、大倉和博、松村嘉之
2. 発表標題 Deep Neuroevolutionによるロボティックスワームの二点間往復タスクにおける群れ行動の生成
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusaku Ogai, Yoshiyuki Matsumura, Yusuke Hoshino, Masanori Goka, Toshiyuki Yasuda, Kazuhiro Ohkura
2. 発表標題 Agent-Based Modeling and Complex Network Analysis for Clarifying Changes in the Japanese Textile and Apparel Industry B2B Networks
3. 学会等名 The 22nd Asia Pacific Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems (IES2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松村嘉之
2. 発表標題 スワーム：複雑系の観点からAI群戦略を繊維関連業界データをヒントに評価分析できないでしょうか？
3. 学会等名 第18回複雑系マイクロシンポジウム (CSMS2019) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松村嘉之
2. 発表標題 進化する人工知能：ここ20年ぐらいの基礎研究レベルで”出来そうかな？”が見えてきた事例（複雑系の繊維関連業界の視点から）
3. 学会等名 2018年度機能性高分子材料研究総会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小粥勇作、松村嘉之
2. 発表標題 繊維産業の企業間取引ネットワークにおけるコア・ペリ構造としての国際企業と国内産業
3. 学会等名 第18回複雑系マイクロシンポジウム (CSMS2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小粥勇作、松村嘉之
2. 発表標題 技術革新がもたらす繊維・アパレル産業の企業間取引ネットワークの変遷
3. 学会等名 第21回日本感性工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小粥勇作、清澤周平、森山徹、松村嘉之
2. 発表標題 マダコの行動特性を考慮した人工社会モデルの構築
3. 学会等名 ロボット・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小粥勇作、松村嘉之
2. 発表標題 距離の価値変化に着目した企業間取引ネットワーク構造変動に関する人工社会実験
3. 学会等名 システム制御情報学会研究発表講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小粥勇作、松村嘉之
2. 発表標題 社会システムとしてのネットワーク構造の集中化と分散化
3. 学会等名 第61回システム工学部会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六川 雄真、松村 嘉之
2. 発表標題 プロスポーツ選手の育成システムにおけるドラフト制度の影響
3. 学会等名 第14回日本感性工学会春季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六川 雄真、松村 嘉之
2. 発表標題 プロスポーツ選手の育成システムに資する地域振興の考察 -野球を題材にした出身地の地方間格差の視点からの分析を 通じて-
3. 学会等名 日本機械学会 北陸信越支部 第56期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 府川周平、松村 嘉之
2. 発表標題 日本人とアメリカ人のツイートに対する意識の比較
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会第53回卒業論文発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大沼知世、小粥勇作、松村嘉之
2. 発表標題 Twitterを用いた日本音楽業界の流行予測
3. 学会等名 第12回Webインテリジェンスとインタラクション研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小粥勇作、松村嘉之、星野雄介
2. 発表標題 技術革新がもたらす繊維・アパレル産業の企業間取引ネットワークの変遷
3. 学会等名 2018年度 精密工学会 北海道支部 学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 星野雄介、松村嘉之
2. 発表標題 SNS における口コミとオンラインショップの売上に関するシミュレーション
3. 学会等名 2018年度 精密工学会 北海道支部 学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小粥勇作、松村嘉之、高寺政行、大谷毅、星野雄介、保田俊行、大倉和博
2. 発表標題 繊維産業の企業間取引ネットワークの性質を考慮したエージェント・ベース・モデルの構築と分析
3. 学会等名 日本繊維製品消費科学会2017 年度年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小粥勇作, 松村嘉之
2. 発表標題 繊維産業の企業間取引ネットワークの分析とマルチエージェント・シミュレーション実験
3. 学会等名 第27回インテリジェント・システム・シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小粥勇作, 松村嘉之
2. 発表標題 企業間取引ネットワークの歴史と生物進化におけるネットワークの集中化と分散化 学習アルゴリズムを実装した人工生命によるシミュレーション実験
3. 学会等名 第18回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関