

令和 5 年 6 月 2 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K04623

研究課題名(和文)大規模マルチエージェントシミュレーション用基盤の構築と社会シミュレーション

研究課題名(英文) Development of Large Scale Multi-Agent Simulation Platform and its application to Social Simulation

研究代表者

芳賀 博英 (Haga, Hirohide)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：30268114

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではGraphics Processing Unit(GPU)を用いて、大規模マルチエージェントシミュレーション用のライブラリを開発した。このライブラリを用いて、これまで行われなかった実社会の課題に対して、シミュレーションを行った。具体的には選挙制度のシミュレーションを行い、現在の日本選挙制度が、さまざまな意味で比較的平等であることを確認することができた。またこれを大規模なゲーミング環境に適用し、プログラミング教育用のシステムを実装し、実際の高校生に試用してもらい評価を行った。本課題を契機として、東南アジアの大学との共同研究も開始できた。以上のことから本課題は十分成果を上げたと考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発した大規模マルチエージェントシミュレーション用ライブラリは、これまで実現が困難であった大規模シミュレーションを、比較的簡単な工数で実装することを実現した。これにより、さまざまな領域での、より実社会に近い規模のシミュレーションが可能になった。本研究の成果として上げた選挙制度のシミュレーションは、これまで定性的にはある程度行われていたが、マルチエージェント技術を使うことによって定量的な評価ができた。これは従来には無いものであり、社会的・学術的な意義は高い。また本テーマによって、国際共同研究をスタートさせることができ、国際学術ネットワークの構築にも貢献した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a library for large-scale multi-agent simulations using Graphics Processing Unit (GPU).

Using this library, we conducted simulations of real-world problems that have not been conducted before. Specifically, we conducted a simulation of the electoral system and confirmed that the current Japanese electoral system is relatively equal in various ways. We also applied the simulation to a large-scale gaming environment, implemented a system for programming education, and evaluated it by having actual high school students try it out. This project also led to the start of joint research with a university in Southeast Asia.

Based on the above, we confirm that this project has achieved satisfactory results.

研究分野：情報工学

キーワード：マルチエージェント 大規模シミュレーション データ駆動システム 社会シミュレーション GPGPU

### 1. 研究開始当初の背景

社会科学は自然科学と異なり、例外的な場合を除いて実験を行うことは不可能である。そのため、従来は文献などを用いた理論的な研究と、統計的なデータを用いた実証的な研究が行われていた。また人口動態や感染症の伝搬など、数理的モデルで記述できる一部の対象に対しては、定量的な研究も行われてきた。しかし社会現象などを記述する数理モデルを構築することは一般的に困難であり、モデルを構築する場合にも、時として大胆な単純化が必要であり、そのモデルは現象を忠実に記述できているかどうか、という点については大きな疑問が残っている。また仮に数理モデルが構築できても、それを解くことは一般にはきわめて困難である場合がほとんどである。近年のコンピュータの性能の向上と共に、工学や物理学のような自然科学系の学問で、理論・実験に続く第3の研究方法として、シミュレーション法が注目されている。これは対象の系を記述するモデルを構築し、その解を数値的に求める事により、現象を観察する方法である。モデルとしては微分方程式などの数理的なモデルがよく使われるが、対象に

よっては、数式による記述がきわめて困難なものや、対象が複雑すぎて数理モデルが解けないようなものもある。そのような問題に対応する手法の一つとして、マルチエージェントモデルがある。これは複数のエージェントと呼ばれる自律的に動作するソフトウェア単位が、相互に交渉したり自らが存在する環境との交渉を行うようなモデルを構築して、現象をシミュレートする手法である。マルチエージェントモデルでは、エージェント相互あるいはエージェントと環境との相互関係のみを記述し、全体を統括する機構を記述する必要が無い場合、他の手法に比べてモデルの構築が容易であるという特徴がある。

マルチエージェントシミュレーションは、従来の数理モデルに基づくシミュレーションとは異なり、モデルの構築が容易であるという利点があるが、その性格上エージェントの数が増えるに従って、現行のコンピュータの構成(アーキテクチャ)の制限から性能が劣化し、大規模なモデルのシミュレーションを行うことが困難になり、大規模なモデルの実行にはあまり適していなかった。シミュレーション対象を、より実社会に近い規模、したがってより精密にシミュレーションしたければ、多数のエージェントを使わなければならない。これまでは利用できるエージェント数の制限から、十分な精度が期待できるほどの数のエージェントが利用できなかったり、不自然あるいは不十分な簡略化を行っていた。したがって得られた結果は必ずしも実社会を正確にシミュレートできたものではなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、マルチエージェントモデルによる社会シミュレーションを実施するためのソフトウェア基盤(プラットフォーム)の開発と、それを用いたシミュレーションを行うことを目的とする。従来の社会シミュレーションに利用されたエージェントの数は精々 $10^3$ のオーダーであった。しかしこれでは実社会に近い規模の対象のシミュレーションを行うには不十分である。

本研究では従来の1,000倍の規模のエージェント数( $10^6$ のオーダー)を扱うことのできるシミュレーション用プラットフォームの構築と、それを用いたシミュレーションを実施することを目的とする。そのために、GPU(Graphics Processing Unit)を用いた、並列処理シミュレータを実装しシミュレーションを実施する。GPUはその名の通り「画像」を処理する専用のプロセッサであるが、画像の処理は計算機構造的には膨大な数の線形計算から構成されている。GPUはこれらの線形計算を多数の計算コア(計算を実行するプロセッサの核部分)で並列に実行する。近年のGPUは数百個の計算コアを備えており、これらを用いて並列計算を実現している。このように、GPUを画像処理以外の汎用的な計算に用いる技法をGPGPU(General Purpose GPU computing)と呼ぶ。GPGPUはすでに理工系の諸分野では普及が始まっている。GPUは通常のパソコンに標準的に装備されているものであり、価格も数万円と安価である。これを用いてマルチエージェントシミュレーションを並列に実行することにより、安価に大規模シミュレーションを実現することが可能になる。社会科学系と自然科学系の研究の大きな目標は予測と制御である。つまりある現象に対して、どのような働きかけを行えばどのような結果が得られるかという予測と、所望の結果を得るためにはどのような働きかけを行えばよいか、という制御である。従来の社会科学では予測の部分ではある程度の成果を得られていたが、制御の部分では殆ど成果が得られていなかった。そこでマルチエージェントシミュレーションの持つボトムアップ的な側面と、社会科学において所望の現象を発現させるための制御についての知見を得ることを目標とする。

### 3. 研究の方法

本研究では多くのパソコン等で使われているGPU(Graphics Processing Unit)を用いて並列環境を構築し、その環境の上でマルチエージェントモデルをシミュレーションする手法の実装と、それによる大規模対象のシミュレーションを行うことを目指す。GPUはその名の通り「画像」を処理する専用のプロセッサであるが、画像の処理は計算機構造的には膨大な数の線形計算から構成されている。GPUはこれらの線形計算を多数の計算コア(計算を実行するプロセッサの核部分)

で並列に実行する。近年の GPU は数百個の計算コアを備えており、これらを用いて並列計算を実現している。これを用いてマルチエージェントシミュレーションを並列に実行することにより、安価に大規模シミュレーションを実現することを可能にする。

#### 4. 研究成果

本研究では以下の成果を得た。

- (1) 基盤ソフトウェアの開発については、GPU ボードのベンダーの NVIDIA 社から提供されている GPU コンピューティング環境である CUDA を利用するための DSL(Domain Specific Language)である rbcuda を基にして、C++プログラミング言語から GPU(CUDA 環境)を簡便に使うためのライブラリ MasCUDA の開発を行った。MasCUDA は、C++から CUDA 環境を利用するためのクラスライブラリである。MasCUDA は近年急速に普及している汎用中間語 LLVM を利用して、MasCUDA で記述したプログラムをまず Ruby に変換し、そのあと Ruby プログラムを LLVM に変換し、その後既存のコードジェネレーション系を用いて、LLVM プログラムを CUDA 環境のアセンブリ言語である PTX に変換している。その後この PTX プログラムを GPU で実行する。図 1 がその実行フローである。

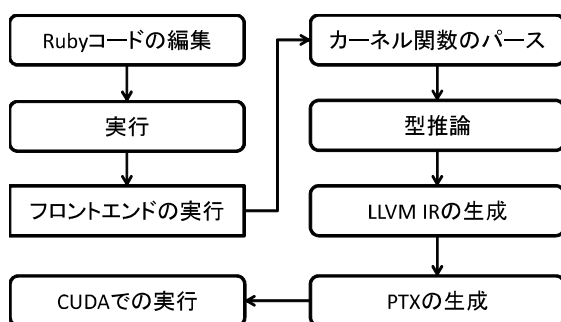


図 1 : MasCUDA の処理フロー

本ソフトは 2019 年度中にバージョン 1 を完成させることができ、それをもちいて基礎的なアプリケーションを開発した。アプリケーションの開発としては、大規模行動シミュレーションのための歩行者モデルの開発をおこなった。これは従来 Social Force モデルの不自然な部分を改善し、より自然な歩行者の動きを実現させるモデルである。また他のアプリケーションとしては、マルチエージェントモデルを偏微分方程式の数値解析に用いたアプリケーション、選挙におけるより良い制度を見つけるためのモデルを開発した。これらの研究成果はいずれも国際・国内学会での口頭発表および学会論文誌として発表した。また選挙制度のモデルについては、学会の招待講演として招かれた。

- (2) 上記国際学会の招待講演を契機として、マレーシア科学大学(Universiti Sains Malaysia)との共同研究がスタートし、同時に報告者が同大学の Academic Fellow(客員教授に相当)に招聘された。この Academic Fellow の業務の一環として、同大学の学生・教員に対して、マルチエージェントシミュレーションの基礎から先端的な応用までをオンラインで講義し、マレーシアだけでなくインドネシア、ベトナム、タイなどの研究者が参加し、その後、国際論文誌に特集論文集を刊行することになった。本論文集は 2023 年 7 月前後に刊行される計画である。
- (3) 最終的には以下の学術成果を得た
  - (a) 査読付き国際学会誌論文：3 編
  - (b) 査読付き国際学会発表：6 編
  - (c) 国際学会招待講演：1 回
  - (d) 大学での特別講義：3 回

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Satoshi Takatani, Hirohide Haga	4. 巻 -
2. 論文標題 Simulation of Japanese National Diet Members Election System using Agent-based Modeling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Springer-Nature Proceedings in Mathematics & Statistics (PROMS) Series - Modelling, Simulation and Applications of Complex Systems	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） 10.1007/978-981-16-2629-6	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 Toru Mizuno, Hirohide Haga	4. 巻 14
2. 論文標題 New Pedestrian Model Based on a Social Force Model with Sub-goals	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Computers	6. 最初と最後の頁 634-649
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.17706/jcp.14.11.634-649	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 Noriyuki Ishiguro, Yusuke Saitoh, Kazuhiro Yamamoto, Hirohide Haga	4. 巻 10
2. 論文標題 Design and implementation of a programming learning support system using the concepts of physical visualization and serious gaming	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Computer and Communications	6. 最初と最後の頁 197,223
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/jcc.2022.1011013	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 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 3件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Hirohide Haga
2. 発表標題 Simulating Physical and Social Phenomenon by Agent-based Method (ABM)
3. 学会等名 3rd Internatitil Conference on Electronics and Electrical Engineering Technology 2020（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirohide Haga
2. 発表標題 Simulation of Japanese Diet Members Election System using ABM
3. 学会等名 Workshop of CoSMos 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高谷聡, 芳賀博英
2. 発表標題 マルチエージェントモデリングによる選挙制度のシミュレーション
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会第36回全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Ohiwa, Hirohide Haga
2. 発表標題 Design and implementation of Multi Agent Simulation library MasCUDA for Parallel Processing with GPU
3. 学会等名 EEET-2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shimizu Yasuhiro, Haga Hirohide
2. 発表標題 Solving partial differential equations using multi-agent modelling
3. 学会等名 AIP Conference Proceedings 2184 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yukihiro Shimizu, Hirohide Haga
2. 発表標題 Solving Partial Differential Equations using Multi-Agent Modelling,
3. 学会等名 MathTech 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hirohide Haga
2. 発表標題 Programming and Programming Languages Based on Mathematical Concepts
3. 学会等名 The International Conference on Mathematical Sciences and Technology 2022 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------	---------