

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：14501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25600159

研究課題名(和文) 粒子法マルチエージェントシミュレーション開発に関する萌芽的研究

研究課題名(英文) Research and development on particle model multi-agent simulation method

研究代表者

白井 英之 (USUI, Hideyuki)

神戸大学・システム情報学研究科・教授

研究者番号：10243081

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：マルチエージェントシミュレーションの一例としてSugarscapeモデルを取り上げ、エージェントを粒子に置き換えることによりエージェント粒子と砂糖場の相互作用を解き進めることができるPSSシミュレーションを開発しその動作の妥当性を検証した。また、PSSシミュレーションを当研究グループで開発したAMRフレームワークに応用し、スーパーコンピュータの利用によりMASのマルチスケールシミュレーションへの拡張、マルチプロセスを用いたシミュレーションの並列化、大規模化に成功した。シミュレーション結果解析により、AMRフレームワークを用いた粒子法MASの妥当性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, we dealt with the Sugarscape model as one example of multi-agent simulations and developed PPS simulation code in which the agents are treated as particles. By performing the PSS simulation, we could simulate and examine the interaction between the agent particles and the sugar field in the self-consistent manner. In addition, by applying the PSS simulation to the AMR framework which we have developed in our research group, we succeeded in performing multi-scale simulation of PSS model as well as parallelization of the PSS code. By analyzing the obtained simulation results, we could confirm the validity of the particle model multi-agent simulation using the AMR framework.

研究分野：宇宙理工学

キーワード：マルチエージェントシミュレーション sugarscape プラズマ粒子シミュレーション 適合格子細分化法

1. 研究開始当初の背景

多様化した現代社会の様々な現象を理解し予測するには平均化されたマクロ的な考え方だけでは不十分である。そこで、ボトムアップ的な方法論として、活動主体と定義されるエージェントを多数用い、そのミクロな構成主体の集まりや相互作用によって変化するマクロ環境を計算機によりシミュレーションする「マルチエージェントシミュレーション(MAS)」が注目を浴びている。MASでは多数のエージェントを用いるため専用プログラム開発が行われているが、計算機シミュレーションは一般の社会学者には敷居が高くそれらの大規模化、高機能化を進めるには計算科学の専門知識を導入する必要がある。一方、我々は宇宙プラズマ環境に関する粒子シミュレーション研究を長年行っており、特に衛星と周辺プラズマの相互作用の研究をスーパーコンピュータにより重点的に行っている。本研究では、MASにおける各エージェントと我々が用いるプラズマ粒子が非常に類似している点に着目し、エージェントを粒子に置き換えることによりエージェントと環境との相互作用に関するシミュレーションの実現、およびその大規模化、高性能化を実現できるのではないかと、いう発想に至った。

2. 研究の目的

我々のグループにおいて、局所的かつ動的に空間解像度を変化させることができるマルチスケール粒子シミュレーション手法は開発済みである。まずは、これをMASに応用、導入する際の問題点などを検討する。その後、テスト的に各粒子にエージェント属性を持たせ、典型的な事例を用いてその動作確認、テストシミュレーションを行う。これによりMASにおける粒子法導入の効果を評価する。またスーパーコンピュータを用いた大規模並列計算における問題点の抽出およびその解決法の検討を行いシミュレーションプログラムの高速化を図る。並行して、適合格子細分化によりマルチスケールシミュレーションを試み、粒子法MASの妥当性の評価及びシミュレーション性能評価を行う。

3. 研究の方法

本研究では、社会シミュレーションの1つである Sugarscape モデルシミュレーションを例にとる。

まず、プラズマ粒子シミュレーションで一般的に取り扱われる粒子とフィールド情報の相互作用という概念を Sugarscape シミュレーションに取り入れ、独自の粒子系 Sugarscape モデル(PSS)を作成する。粒子法では、空間格子システムで形成されたモデル領域に、ある空間密度分布に従って多数の粒子を分布させる。図1に示すように、個々の粒子は格子サイズと同じ大きさを持ち、粒子が持つ物理量は一旦隣接格子点に分配される。

空間格子に集められた粒子情報を用いて、空間格子システム上で定義されたマクロ場の更新を行う。更新された場を再び各粒子位置に戻し、それらの情報を用いて粒子情報(例えば、位置)が更新される。このように粒子法では、任意の位置を取る粒子と格子点上で定義されたマクロ場の相互作用をセルフコンシステントに解き進めることができる。この考え方を Sugarscape モデルに応用し開発された PSS モデルシミュレーションを実行し、その動作テストおよび結果の妥当性評価を行う。これにより MAS への粒子法導入の妥当性及び総合的評価を行う。

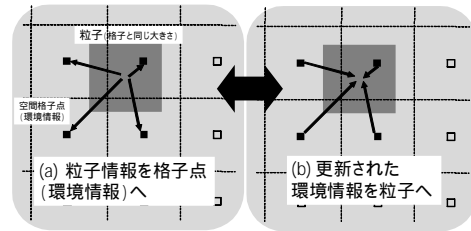


図1：粒子と空間格子のやり取り

並行して、構築した PSS モデルプログラムの並列化にも着手する。我々の研究グループでは、物理計算を行う既存の差分ベース汎用プログラムを移植することで、局所細分化やMPIを利用したプロセス並列化を比較的簡単にを行うことができる AMR(Adaptive Mesh Refinement (図2参照))フレームワークを開発し、それに粒子を取り扱うための処理ルーチンを追加実装した。本研究では、本フレームワークを用いることにより、PSS モデルシミュレーションの並列化を実現し、その性能評価を行うとともに、プログラムのマルチスケール化を試みる。人工社会においてエージェントが空間的に均一に分布していることはまれであり、むしろ人口や交通、流通のように粗密状態が一般的である。この状況においてはエージェントの空間密度が高い所において局所的に分解能を上げる必要がある。我々は、本フレームワークを用いて、PSS モデルを局所的かつ動的に高分解化するマル

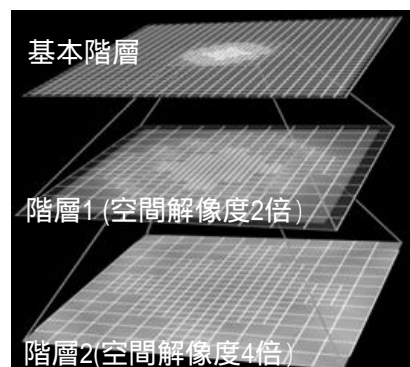


図2:AMR によるマルチスケールの概念図。
局所的かつ動的に空間格子点を細分化。

チスケールシミュレーションを試み、その結果の妥当性を評価する。

4. 研究成果

4.1 粒子系 Sugarscape モデル(PSS)の開発

Sugarscape モデルとは人工社会のための実験環境として Joshua M. Epstein と Robert Axtell によって提案されたエージェントベースモデルで、エージェント、環境、ルールの3つの要素から構成されている。環境として2次元平面に砂糖を配置し、その平面上でエージェントが活動する。配置する砂糖は2次格子点上に定義され、各格子点は現在の砂糖の量と砂糖の最大量の要素を持つ。エージェントは2次元平面の格子点上に配置され、その内部状態の要素としては自身が存在している位置(x, y)、砂糖を消費する量を表す代謝率、エージェントが保持する砂糖の量を表す財産などがある。なお、従来の Sugarscape モデルでは1つの格子上に同時に存在できるエージェントは1体のみである。そこで本研究では、格子点とは無関係にエージェント位置を設定できるようにし1格子内に複数のエージェントが存在できるようにした。各格子点では、格子内に存在するエージェント数から求まるエージェント密度を定義できるようにした。このモデルを粒子系 Sugarscape モデル(PSS)と呼ぶ。

PSS モデルでは、エージェント粒子は格子点に依存せずにシミュレーション領域内を移動する。エージェント粒子の位置及び速度の時間変化は以下の運動方程式を解き進めることによって得られる。

$$\frac{\partial \mathbf{x}}{\partial t} = \mathbf{v}$$

$$\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = m\mathbf{F}_s - n\mathbf{F}_d$$

ただし、 F_s は砂糖密度場の勾配の力、 F_d はエージェント密度場の勾配の力であり、それぞれ以下の式によって定義される。 S は砂糖密度場、 β, γ, m, n は比例係数を表す。

$$F_s = \beta \nabla S$$

$$F_d = \gamma D'$$

これらの式からわかるように、エージェント粒子は砂糖量が多い方へ、かつ、エージェント密度が小さい方へ進むように力を受ける。砂糖密度場やエージェント密度場は離散的に格子点上に定義されているため、それらの勾配値 F_s 及び F_d も格子点上で得られる。そのため、各エージェント粒子位置での F_s 、 F_d は格子点上の値をエージェントの位置に補間して反映させる。

動作確認のため以下のパラメータでPSSシミュレーションを行った。シミュレーション領域は 512×512 の格子点からなり、格子幅を $dx = dy = 1.0$ 、エージェント粒子数は 10

万とする。なお、本研究においてはエージェント粒子の視力、代謝の設定は行っていない。また、従来の Sugarscape モデルシミュレーションを再現するため、エージェント密度場の影響力を0とする。砂糖密度場の初期設定は従来の Sugarscape モデルと同様に、シミュレーション空間内に砂糖の山を2つ配置した形を再現する。さらに全エージェントを乱数によりシミュレーション空間内に一様に配置する。

図3にシミュレーション結果の一部を示すが、2つの砂糖の山の頂上付近にエージェントが多く集まっていることがわかる。ステップごとの出力をアニメーションにして確認したところ、エージェントが砂糖の山の頂上付近に集まっては通り過ぎていくという動きが何度も見られた。これは F_s がエージェント粒子にとってバネの張力に相当するため

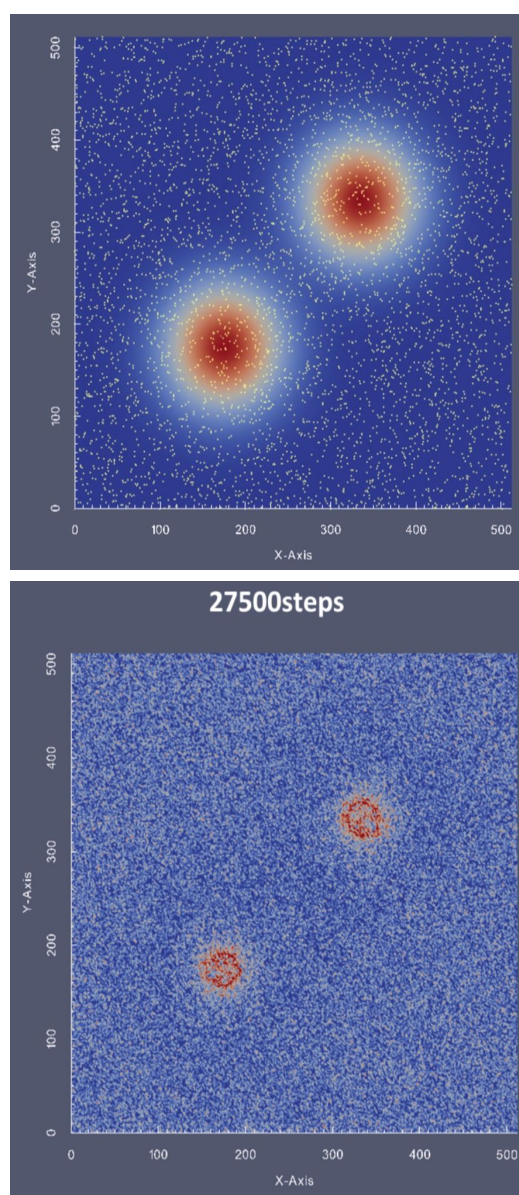


図3: 砂糖密度場のコンター図(上図)と27500ステップ後のエージェント粒子の分布(下図)。

である。初期配置された位置において砂糖場勾配が大きい部分に存在しているエージェント粒子は大きな F_s を受けるため、砂糖の山の頂上付近に早くたどり着く。これらの結果から、PSS シミュレーションにより従来モデルシミュレーションと同等の結果が得られていることが確認できた。

4.2 PSS の AMR フレームワークへの実装

本 AMR フレームワークを用いた PSS(以下 FW-PSS)シミュレーションでは、エージェント粒子がより多く集まっている部分で細分化を行う。つまり、エージェント密度場が設定した閾値より高い場合、そのブロック領域を細分化する。PSS シミュレーションにおけるエージェントの速度決定には砂糖密度場やエージェント密度場の勾配から受ける力が関係する。そこで、エージェント粒子がよ

り多く集まっている領域のブロックに細分化を施し、より細かい格子を配置することでそこに存在するエージェント粒子それぞれに対してより正確な勾配の力を与えることができる。

図 4 に AMR フレームワークを用いた PSS シミュレーション結果の一部を示す。下図に示すように、時間経過とともに、2つの砂糖の山の頂上付近ではエージェント粒子が他の場所より多く集まってくるため、エージェント粒子密度が高くなる。このため、細分化条件を満たす当該ブロック領域では空間格子の細分化が行われ、白線で示したように、より細かな格子が動的に配置されて高解像度になる。図に示した 27500 ステップ目では、2 段階の細分化が行われていることがわかる。また、図 3 と比較すると、ほぼ同等の結果が得られていることから、AMR フレームワークを用いた PSS シミュレーションの妥当性は確認できた。

また、シミュレーション規模を大きくし、領域を 1024×1024 、エージェント粒子数を 100 万、密度の違う砂糖場を 3 つ配置した場合に行った AMR フレームワーク PSS シミュレーションの結果の一例を図 5 に示す。図中の黄色の線はプロセス境界を示す。このように、マルチプロセスを用いた PSS シミュレーションの並列化、大規模化も本 AMR フレームワークでは各パラメータを設定するだけで簡単に行うことができる。

以上のように、本研究では、マルチエージェントシミュレーション(MAS)の一例として Sugarscape モデルを取り上げ、エージェントを粒子に置き換えることによりエージェント粒子と砂糖場の相互作用を解き進めることができる PSS シミュレーションを開発しその動作の妥当性を検証した。また、PSS シミュレーションを当研究グループで開発した AMR フレームワークに応用し、スーパーコ

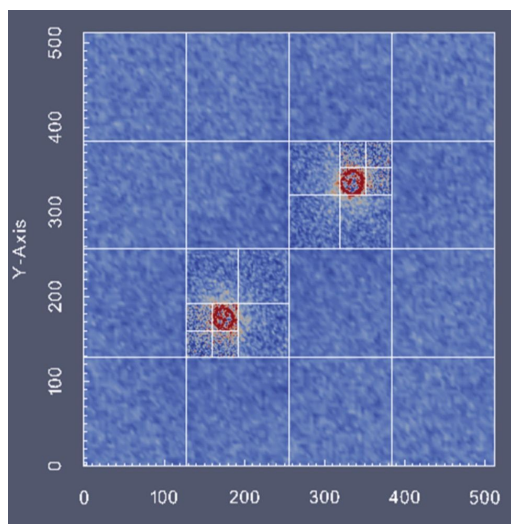
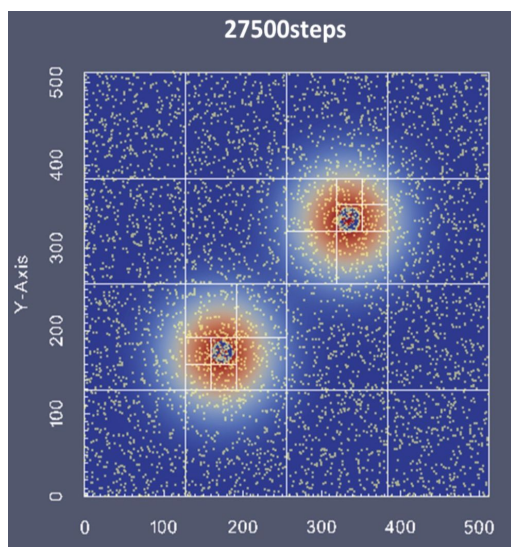


図 4 : AMR フレームワーク PSS によるシミュレーション結果。上は砂糖密度場。下はエージェント粒子密度場のコンター図。白線はブロック領域境界。

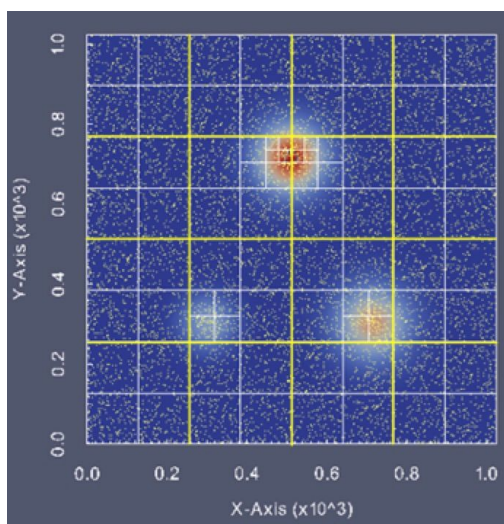


図 5 : 大規模 AMR フレームワーク PSS シミュレーションの一例

ンピュータの利用により MAS のマルチスケールシミュレーションへの拡張、マルチプロセスを用いたシミュレーションの並列化、大規模化を試みた。シミュレーション結果解析により、AMR フレームワークを用いた粒子法 MAS の妥当性を示すことができた。本萌芽研究により、粒子モデルシミュレーションの MAS への応用及び AMR フレームワークを用いたマルチスケール化、大規模並列化を実証することができたことは、今後、スーパーコンピュータを用いた MAS の大規模化やマルチスケール化に大きく貢献できると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

- (1) 福土雄太、臼井英之、「マルチエージェントを用いた並列パンデミックシミュレーション」, 情報処理学会研究報告, ICS, [知能と複雑系] 2015-ICS-178(13), Page 1-7. 一般社団法人情報処理学会
<http://id.nii.ac.jp/1001/00113204/>

〔学会発表〕(計2件)

- (1) 鬼頭沙希、臼井英之、沼波政倫、「ブロック型適合格子細分化法フレームワークの Sugarscape シミュレーションへの応用」, 平成27年度 RISH 電波科学計算機実験シンポジウム, 2016年2月25日, 京都大学生存圏研究所(宇治市)
- (2) 福土雄太、臼井英之、「マルチエージェントを用いた並列パンデミックシミュレーション」, 「社会システムと情報技術研究ウィーク in ルスツリゾート」第178回 ICS(知能システム)研究発表会, 北海道ルスツリゾート(北海道), 2014年3月2日

6. 研究組織

(1)研究代表者

臼井 英之 (USUI, Hideyuki)
神戸大学・大学院システム情報学研究科・教授
研究者番号: 10243081