

令和 2 年 7 月 8 日現在

機関番号：32706

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00328

研究課題名（和文）ヘテロジニアスな計算機を用いた大規模群衆避難シミュレーションの高速化に関する研究

研究課題名（英文）Study on acceleration of large-scale crowd evacuation simulation using heterogeneous computer

研究代表者

浅野 俊幸（Asano, Toshiyuki）

湘南工科大学・工学部・教授

研究者番号：40377594

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）：本研究では、ヘテロジニアスな計算機を用いた大規模なマルチエージェントシミュレーションの高速化として、Boidモデルを利用してGPU等を備えたヘテロジニアスなスーパーコンピュータへの実装を試み、多階層並列処理によるロードインバランスの緩和策を提案した。具体的には、京コンピュータとヘテロジニアスなマルチプロセッシング（HMP）ユニットに向けて並列化手法を改良し、両システムでのパフォーマンスを評価した。改良した多階層並列化により、両システムでロードインバランスを効果的に軽減できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、大規模な災害帰宅困難者を代表とする避難対策が注目されている。そこで、様々な避難計画等を計算機上で検証できる人流マルチエージェントシミュレーション技術が注目されている。応募者は、精緻な人流マルチエージェントシミュレーションモデルを開発した。本研究では、このモデルを用いて大規模な人流避難シミュレーション実現に向けてヘテロジニアスなスーパーコンピュータに実装し、大規模計算が困難なマルチエージェントシミュレーションを高速処理する技術開発とモデル構築を目指す。これにより計算の高速化が図られ、歩行者の大規模・詳細化をすすめ、大規模災害の様々な避難計画や施策に利用することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research, we attempted to implement a large-scale multi-agent simulation using a heterogeneous computer on a heterogeneous supercomputer equipped with a GPU using a Boid model, and tried to implement multi-layer parallel A measure to mitigate the load imbalance by processing was proposed. Specifically, we improved the parallelization method for the K computer and the heterogeneous multiprocessing (HMP) unit, and evaluated the performance of both systems. It was confirmed that the load imbalance can be effectively reduced in both systems by the improved multi-layer parallelization.

研究分野：知識情報処理

キーワード：マルチエージェント ヘテロジニアス シミュレーション

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年、大規模な災害帰宅困難者を代表とする避難対策が注目されている。そこで、様々な避難計画等を計算機上で検証できる人流マルチエージェントシミュレーション技術が注目されている。しかし、多様で複雑な歩行者をモデル化し、大規模な帰宅困難者の避難シミュレーションをするモデルの提案には至っていない。

### 2. 研究の目的

応募者は、精緻な人流マルチエージェントシミュレーションモデルを開発した。本研究では、このモデルを用いて大規模な人流避難シミュレーション実現に向けてヘテロジニアスなスーパーコンピュータに実装し、大規模計算が困難なマルチエージェントシミュレーションを高速処理する技術開発とモデル構築を目指す。これにより計算の高速化が図られ、歩行者の大規模・詳細化をすすめ、大規模災害の様々な避難計画や施策に利用することが期待される。

### 3. 研究の方法

・シミュレーションモデルの並列化による高速化を検討するにあたり、性能分析が必要となる。シミュレーションコードを細分化し、各処理区間の計算実行時間の測定を行い、性能情報をもとに並列化効率、通信処理等で計算効率を阻害しているボトルネック部分を特定する。ボトルネック部分ごとに性能向上手段として、通信処理の見直し、データコピー処理の改善等を実施する。  
・同一ノード内のスレッド並列化を試み、OpenMP を利用した並列化で性能向上を評価する。  
・近年、高速演算装置として注目されている GPU 等を備えたヘテロジニアスなスーパーコンピュータへの実装を試みる。このタイプのコンピュータは、比較的小規模でありながら、大規模な計算が行えることが特徴であり、社会実装を考えた場合には重要な要件と考える。微小なプロセッサを数百搭載している GPU を利用するには、シミュレーションプログラムに高度なプログラミング言語 OpenACC や OpenMP4.0 等を実装する必要がある。また、独自のメモリ管理、並列化のアルゴリズムに対する考案が必要となる。

### 4. 研究成果

シミュレーションモデルの並列化による高速化を検討するにあたり、性能分析が必要となる。そこで、シミュレーションコードを細分化し、各処理区間の計算実行時間の測定を行い、性能情報をもとに並列化効率、通信処理等で計算効率を阻害しているボトルネック部分を特定した。ボトルネック部分ごとに性能向上手段として、通信処理の見直し、データコピー処理の改善等を実施した。次に、同一ノード内のスレッド並列化を試み、OpenMP を利用した並列化で性能向上を達成し評価した。

上記で検討・実装された大規模並列化技術は、複数の CPU のみで構成されたホモジニアスなスーパーコンピュータに実装して評価された。さらに本研究では、ヘテロジニアスな計算機を用いた大規模なマルチエージェントシミュレーションの高速化として、Boid モデルを利用して近年、高速演算装置として注目されている GPU 等を備えたヘテロジニアスなスーパーコンピュータへの実装を試み、多階層並列処理によるロードインバランスの緩和策を提案した。具体的には、京コンピュータとヘテロジニアスなマルチプロセッシング (HMP) ユニットに向けて並列化手法を改良し、両システムでのパフォーマンスを評価した。改良した多階層並列化により、両システムでロードインバランスを効果的に軽減できることを確認した。HMP ユニットでは計算負荷に応じた高性能コアと低消費電力コアを動的に切替えることにより、消費電力を効果的に制御できることを確認した。さらに、高性能コアと低消費電力コアを両方同時に使用した場合、理論演算性能が高くなるにも関わらず、低消費電力コアの処理待ちにより、却って計算が遅くなる可能性が明らかとなった。また、京コンピュータでは、リアルシミュレーションの実行が可能であり、世界最大となる 3 兆規模の Boids モデルの計算が可能であることを確認した。

#### (1) OpenMP 並列化の検証

オリジナルの実行結果と OpenMP 並列化実施版のスレッド数 1 の実行が一致するかどうかの検証を実施するために以下の作業を行った。

並列化実施版での修正と同様に一つ前の繰り返しの値を参照する部分を更新した値を参照するように変更した。

乱数を固定値にして結果を比較し一致することを確認した。コンパイルオプションに `-Drnd_chk` を指定すると乱数は固定値になる。なおスレッド数 8 以上で足し込みの順序が変わる影響と考えられる差異が確認されたが、影響ない範囲であった。

オリジナル版 :	<code>iselect_comm_way</code>	=	30051
OpenMP 並列化版 :	<code>iselect_comm_way</code>	=	30055

検証に用いたシステムは NEC LX サーバを用いた。

CPU : Intel [R] Xeon (R) CPU Gold6154 @ 3.0GHz  
2CPU/node, 18cores/CPU

メモリ： 192GByte  
コンパイラ： gfortran 4.8.5 20150623

次に、2つの人数が異なる評価データ 288ped と 1512ped を用いて並列効果を検証した。計測した時間は標準出力に出される Total Time を使用した。(図1)

以上より、データの規模が大きい 1512ped の並列効果がより高く 32 スレッド時には 21.7 倍の並列化効果が認められた。

## (2) MPI 化の検討

### MPI 化の目的

実行時の使用メモリサイズ分割を目的とした MPI 化の検討を実施した。MAS コードは非 MPI の共有メモリプログラムである。そのためプログラムの実行は計算機 1 ノードを用いて実行し、計算機に搭載されたメモリサイズを上限としたデータ量しか扱うことができない。

より大きなデータ量を扱うためには、分散メモリ並列である MPI プログラムに実装する必要がある。MPI 化により、複数の計算機を用いた実行が可能となり、より大きいメモリ空間で実行することが可能となる。

### メモリ分割の対象

プログラム内で用いる配列データを MPI プロセスに分散することで、ノードあたりの使用メモリサイズを削減することができる。分割対象とするデータはエリア情報(配列名 oAreaArray)とし、エリア単位で MPI プロセスに割り当てて検討した。

分割対象となる配列 oAreaArray はそのエリアに所属する経路、建物、避難所に関する情報を保持している。

### MPI 化における問題点

oAreaArray を参照するループ内では、ループ変数および避難者数に依存しているため、現状は避難者を起点としてエリア情報を参照する実装となっている。この実装では、エリア情報を MPI プロセスで分割すると避難者が所属するエリアが変わる度にエリア情報の交換処理(通信処理)が発生する。

この問題点を解消するため、避難者を起点としてエリア情報を参照するのではなく、そのエリアに含まれる避難者の処理をおこなうように修正すれば本課題を解消することが可能であると結論付けた。その際、配列データとして保持する情報を以下のように修正する必要がある(図2)。

しかし、大幅なコード修正になることが予想されたため、現状では修正作業に着手できていない。今後、対応したいと考えている。

## 3. おわりに

本研究では、浅野等が開発したヒューリスティックモデルで 2 次元モデルであることが特徴である MASH モデルを用いて性能・特徴分析を行い、並列化の阻害要因を明らかにしてノード内並列で効果的に実行できる手法について検討した。ノード内並列については、阻害要因であるエスカレータ前の順序付けに対して、解決手法を適用し効果的な並列処理を実現した。一方、MPI 並列化については、阻害要因を突き止めた。現状では避難者に対する MPI プロセス分割が検討されるものの、エリア情報の通信が増加することが見込まれ並列化効果が期待できない。そこで、エリアに対して避難者を紐づけ、エリアで分割することで並列化効果が見込まれるという見解を得ることができた。

人流のマルチエージェントシミュレーションは、パラメータを変えたケーススタディーを数千、数万と実行することが多い。しかし、本研究のような高速化に関する研究は多くなく、有用な知見が得られたと考える。

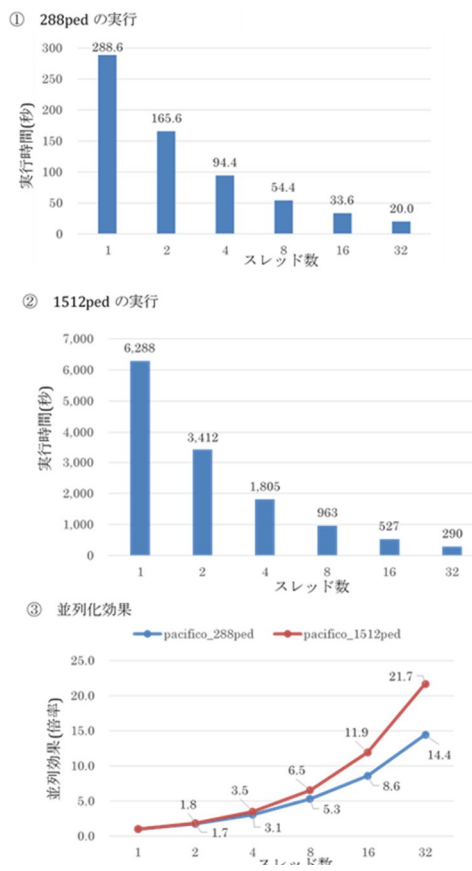
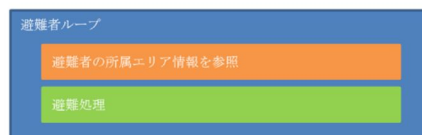


図1 OpenMP 化の効果

### ○ 現状



### ○ 修正イメージ

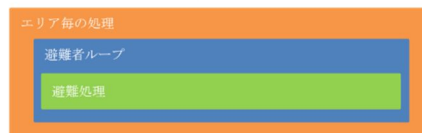


図2 MPI 化における問題点

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 0件）

1. 著者名 西川憲明、廣川雄一、山田武志、印南潤二、浅野俊幸	4. 巻 10巻2号
2. 論文標題 避難指示への応諾性を考慮した段階的避難の有効性評価	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本シミュレーション学会論文誌	6. 最初と最後の頁 47 - 57
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.11308/tjsst.10.47">https://doi.org/10.11308/tjsst.10.47</a>	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 廣川雄一、西川憲明、山田武志、印南潤二、坂井隆志、浅野俊幸	4. 巻 2018-MPS-120
2. 論文標題 土地鑑を考慮した徒歩経路探索モデルによる浸水避難シミュレーション	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌 数理モデル化と応用	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 西川憲明、廣川雄一、浅野俊幸	4. 巻 -
2. 論文標題 群集ダイナミクスの連結階層シミュレーション	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2018 (JAWS2018)予稿集	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 廣川雄一、西川憲明、山田武志、印南潤二、浅野俊幸	4. 巻 -
2. 論文標題 浸水シミュレーション予測が避難行動に与える影響の検討	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2018 (JAWS2018)予稿集	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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 Yuichi Hirokawa, Masaaki Terai, Teruo Matsuzawa, Noriaki Nishikawa and Toshiyuki Asano	4. 巻 -
2. 論文標題 A Large-Scale Parallelization of the Boids Model on the K Computer and the Heterogeneous Multi-Processing Unit	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Twenty-Fourth International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB 24th 2019)	6. 最初と最後の頁 493-498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 廣川 雄一, 西川 憲明, 山田 武志, 印南 潤二, 坂井 隆志, 浅野 俊幸	4. 巻 -
2. 論文標題 土地鑑を考慮した浸水避難時における徒歩経路探索モデル	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2017 (JAWS2017)予稿集	6. 最初と最後の頁 39 - 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 西川 憲明, 廣川 雄一, 山田 武志, 印南 潤二, 浅野 俊幸	4. 巻 -
2. 論文標題 大規模展示ホール施設を対象とした群集避難シミュレーション	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 合同エージェントワークショップ&シンポジウム2017 (JAWS2017)予稿集	6. 最初と最後の頁 9 - 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 -

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 西川憲明、廣川雄一、山田武志、印南潤二、浅野俊幸
2. 発表標題 大規模展示ホール施設を対象とした段階的避難の有効性に関する検討
3. 学会等名 2018年度 人工知能学会全国大会 (第32回)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 浅野俊幸、廣川雄一、西川憲明、丹羽雄輔
2. 発表標題 都市部における群衆避難シミュレーションの検討
3. 学会等名 可視化情報学会 第46回可視化情報シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣川雄一、西川憲明、山田武志、印南潤二、坂井隆志、浅野俊幸
2. 発表標題 土地鑑を考慮した徒歩経路探索モデルによる浸水避難シミュレーション
3. 学会等名 情報処理学会、第 120 回数理モデル化と問題解決(MPS)研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西川憲明、廣川雄一、浅野俊幸
2. 発表標題 連結階層モデルによる群衆流動シミュレーション
3. 学会等名 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 西川憲明、廣川雄一、浅野俊幸
2. 発表標題 連結階層モデルによる群衆シミュレータの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会 第18回社会システム部会研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西川 憲明, 廣川 雄一, 山田 武志, 印南 潤二, 浅野 俊幸
2. 発表標題 ヒューリスティックモデルによる群集流動シミュレータの開発
3. 学会等名 計測自動制御学会 第14回社会システム部会研究会
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
研究分担者	板倉 憲一  (Itakura Kenichi)  (00359217)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (地球情報基盤センター)・グループリーダー   (82706)	
研究分担者	上原 均  (Uehara Satoshi)  (00359225)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (地球情報基盤センター)・グループリーダー   (82706)	
研究分担者	廣川 雄一  (Hirokawa Yuichi)  (30419147)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (地球情報基盤センター)・特任技術研究員   (82706)	
研究分担者	西川 憲明  (Nishikawa Noriaki)  (80415984)	国立研究開発法人海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門 (地球情報基盤センター)・特任技術研究員   (82706)	