

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Large-scale Global MHD Simulation for Solar Wind Interaction with Magnetosphere on Multi-GPU Systems
著者(和文)	WONGUnhong
Author(English)	Un Hong Wong
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9998号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:青木 尊之,長崎 孝夫,肖 鋒,長谷川 純,横田 理央
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9998号, Conferred date:2015/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員 (案)

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	黄 遠雄 (Wong Un Hong)		
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	青木 尊之	教 授	審査員	横田 理央	准教授
	審査員	長崎 孝夫	准教授			
		肖 鋒	准教授			
		長谷川 純	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Large-scale Global MHD Simulation for Solar Wind Interaction with Magnetosphere on Multi-GPU Systems」(マルチ GPU システムを用いた太陽風と磁気圏相互作用の大規模グローバル MHD シミュレーション)と題し、全6章から構成されており、英語で書かれている。

第1章「Introduction」では、宇宙探査と宇宙天気予報の現状、グローバル MHD (Magneto-hydrodynamics) シミュレーションの重要性および課題を示し、大規模太陽風と磁気圏相互作用シミュレーションの目的やそれを実現するための要素を述べている。大規模グローバル MHD シミュレーションを用いて太陽風との広範囲な磁気圏相互作用を明らかにすることを目的としているが、MHD シミュレーションは計算負荷が高く、対象とする磁気圏の規模が大きいため、大規模シミュレーションと高速計算が不可欠である。そのため、マルチ GPU システムを用いた大規模グローバル MHD シミュレーションの開発が必要であることを述べている。

第2章「GPU Accelerated Space Plasma Simulation」では、近年の GPU (Graphics Processing Unit) によるシミュレーションの高速化を概説し、MHD シミュレーションへ GPU を適用することにより高速化が可能であることを述べている。スーパーコンピュータやクラスタに多数の GPU が導入されており、それらを用いて大規模 MHD シミュレーションを効率的に実行するには、データ通信の時間や階層的構造のメモリへのアクセスなどに課題があることを指摘している。

第3章「GPU Direct-MPI Hybrid Framework」では、GPU 間のデータ通信を高速化するために開発したフレームワークについて述べている。ノード内では GPU 間のデータ通信を CPU のメモリを介さずに直接行う GPU Direct を用い、ノード間は MPI (Message Passing Interface) ライブラリによりデータ通信を行う、ハイブリッド通信手法を提案し、実装と実行性能の検証を行っている。GPU を各ノードに複数搭載したスーパーコンピュータにおいて、大規模 MHD シミュレーションの効率的な実行が可能であることを示している。

第4章「Large-scale Global MHD Simulation」では、太陽風と地球磁気圏相互作用の大規模シミュレーションとリアルタイム可視化について述べている。東京工業大学の TSUBAME スーパーコンピュータの 216 GPU を使い、 $1980 \times 1320 \times 1320$ 格子を用いた大規模グローバル MHD シミュレーションを行った結果、4.38 TFLOPS (Tera Floating-point Operations Per Second) の高い実行性能を得ている。Polar cusp、磁気圏シースなど太陽風との相互作用の特徴が再現されている。さらに、クォータニオンを用いて地磁極が傾いたシミュレーションも行い、太陽風と他の惑星の磁気圏相互作用にも適用できることを明らかにしている。

大規模グローバル MHD シミュレーションを実行すると、大量のシミュレーション結果のデータが生成される。そのデータを可視化マシンへ転送するには長時間かかるため、計算結果の解析が非常に困難になっている。大規模シミュレーションのリアルタイム可視化を実装し、シミュレーションのデータが GPU のメモリ上にある段階で直接可視化することにより、所望の計算ステップの終了と同時に可視化することを可能にしている。

第5章「Advanced Simulation for Solar Wind-Earth's Magnetosphere Interaction」では、全地球磁気圏を含む広い宇宙空間での太陽風と地球磁気圏相互作用の大規模シミュレーションについて述べている。Adaptive Mesh Refinement (AMR) 法を GPU 計算に実装することにより、計算領域を全地球磁気圏とすることが可能になり、速い太陽風と遅い太陽風との地球磁気圏の相互作用の違いをシミュレーションで明らかにしている。磁気圏シースのプラズマ密度は衝撃波の外側より低い磁気圏後部より高く、流れが不安定になっていることを明らかにしている。また、月が磁気圏シースの中にいる時間は、月を周回する探査衛星に影響を与えるため重要であると述べている。

第6章「Conclusion and Future Work」では、本研究で得られた成果をまとめるとともに、今後の課題および展望について述べている。

以上を要するに、本論文はマルチ GPU システム上で効率的に実行することのできる大規模グローバル MHD シミュレーション・コードを開発し、それを用いた太陽風と磁気圏相互作用のシミュレーションを行い、変動する太陽風の影響を明らかにしたものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。