

無衝突プラズマの超並列ブラソフシミュレーション

梅田 隆行¹ 深沢 圭一郎² 成行 泰裕³

1 名古屋大学太陽地球環境研究所

2 九州大学理学研究院

3 高知工業高等専門学校

宇宙の体積のうち 99.9%以上はプラズマ(電離気体)の状態にあり, 宇宙プラズマの研究は人類が活動している太陽-地球系空間「ジオスペース」を理解する上で本質的である. 特に, 太陽表面の爆発(フレア)や太陽コロナホールから噴き出している高速太陽風によって引き起こされる地磁気の乱れなどの宇宙嵐を予測するための宇宙天気は人類の今後の宇宙活動において極めて重要となる. しかし, プラズマの挙動はその強い非線形性により非常に複雑であり, その理解には計算機シミュレーションが不可欠である.

ジオスペースにおいて, 太陽コロナ上空から地球電離圏上空までの空間はプラズマが非常に希薄であり, ほぼ無衝突とみなすことができる. この場合のプラズマ運動論は, 速度分布関数の変化を記述するブラソフ(無衝突ボルツマン)方程式と電磁場の変化を記述するマックスウェル方程式で表わされる. またブラソフモデル以外の第一原理方程式系として, 個々の荷電粒子の運動をニュートン-ローレンツ運動方程式により記述する電磁粒子モデルも存在する. ブラソフ方程式の0~2次モーメントをとり, 質量, 運動量およびエネルギーの保存則を導くと磁気流体(MHD)方程式が得られる. MHDモデルは無衝突プラズマを扱う方程式系としては最も近似が粗いが, 恒星圏全体や惑星磁気圏全体といった巨視的スケールの現象を扱うのに適しており, 近年の宇宙天気シミュレーション手法の主流となっている.

一方で, 宇宙プラズマの多スケール性は, 近年の人工衛星による「その場」観測でも指摘されている. 宇宙プラズマには, 流体としての巨視的(マクロ)スケールの現象, 重いイオンが電磁場と相互作用する中間(メゾ)スケールの現象および, 軽い電子の運動による微視的(マイクロ)スケールの現象が存在しており, しかもそれらの多スケール間の現象が互いに影響し合っている. 「宇宙天気予報の実現」には, この多スケール間の相互作用であるスケール間結合を理解することが本質であり, そのためには既存のMHDモデルから脱却したモデルを新たに構築する必要がある. 本研究では, 次世代宇宙プラズマシミュレーション技術として, 第一原理ブラソフモデルの開発を目指している.

本研究では, 超並列2.5次元(実空間2次元, 速度空間3次元)ブラソフコードの実効性能評価として, 様々なアーキテクチャのスカラプロセッサで構成された超並列計算機における計算速度を計測した. Opteronプロセッサを採用したT2K型超並列計算機(Hitachi HA8000及びFujitsu HX600)では, 2048並列において実効効率が14~15.5%となった. 次世代スーパーコンピュータの試作機であるFujitsu FX1(SPARC64VIIプロセッサ)では, 3072コアでの実効効率は約13%であった. またPOWER6プロセッサを採用したHitachi SR16000では128並列程度において実効効率が約10%であったが, 単コアあたりの実効速度は最も速く, 約2GFlopsであった.

本研究は科学研究費補助金 若手研究(B) No.21740352の助成を受けて行われた. 名古屋大学情報基盤センターFX1およびHX600の計算リソースは同大学太陽地球環境研究所の計算機共同利用研究より提供された. 東京大学T2Kオープンスパコン(HA8000)及び九州大学SR16000の計算リソースは学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点公募型共同研究(JHPCN10-0010, 代表: 荻野竜樹), 東京大学情報基盤センター512ノードサービス及び九州大学情報基盤研究開発センター先端的計算科学研究プロジェクト(代表: 深沢圭一郎)により提供された.