

惑星磁気圏超並列高効率 MHD シミュレーションの開発

深沢圭一郎¹、南里豪志¹、梅田隆行²、荻野瀧樹²、石井克哉³、永井亨³

1. 九州大学情報基盤研究開発センター
2. 名古屋大学太陽地球環境研究所
3. 名古屋大学情報基盤センター

宇宙プラズマ研究において、我々は主に太陽から吹いてくる磁場を伴ったプラズマの風（太陽風）と地球の磁場が相互作用して起こる様々な現象を研究ターゲットにしている。これらは宇宙空間で起きる現象であるため探査機を打ち上げて観測を行うが、基本的に”その場”の観測しか行えない（立体空間情報を得ることができない）。そのため、宇宙プラズマ計算機シミュレーションがこの分野の理論の発展、また観測結果の理解の促進に非常に重要な役割を果たしてきている。特に我々が注目している太陽風と惑星の磁場との相互作用によって形成される惑星磁気圏というグローバルな領域においては、巨視的な構造に着目しているために、プラズマの振る舞いを電磁流体 (MHD) 近似でよく表すことができ、そこから導出される MHD 方程式（電磁場を考慮した流体方程式）を用いてグローバル磁気圏シミュレーションをおこなっている。

地球磁気圏において行われているグローバル MHD シミュレーションでは現状で最低グリッド幅が $0.2\sim 0.3R_e$ (R_e は地球半径) に設定されているが、我々が近年行い始めた $0.1R_e$ のグリッド幅を使用したグローバル地球磁気圏シミュレーションでは、今まで解像できていなかったパッチ状のプラズマ流、磁気圏の境界に発生する渦構造などが世界で初めて示された。これは地球磁気圏のグローバル構造自体が今までの理解と大きく異なっていることを表し、惑星磁気圏シミュレーションにおいて高精細化が強く必要とされる動機になっている。同様に土星磁気圏においても $0.1R_s$ (R_s は土星半径) というグリッド幅を利用することで、今までに見えなかった場所での渦構造、それに伴うパッチ状のオーロラなど新しい構造が見えている。

本研究では、このような惑星磁気圏ダイナミクスを調べるグローバル 3 次元 MHD シミュレーションを超高精細化し、超並列計算機での実行に向けた、高実行効率、超並列対応シミュレーションコードを開発することを目的としている。

昨年度は名古屋大学計算機システムの更新があり、新しく導入された FX10、CX400 に対して小規模ノードを利用して基本的な性能測定を行った。特に CX400 には Xeon Phi と呼ばれるコプロセッサが導入されており、この新しいシステムに対して基本的な最適化を行った。特に最適化を施さない場合は 4%ほどの実行効率だったが、いくつかの最適を行ったところ 8%の実行効率を得ることができた。実行効率で見るとあまり良くないが、Xeon Phi1 枚の性能が 1TFlops あるために、1枚あたりの性能は FX10 を超えることが確認できた。