

GRAPE-DRを用いた中性子星磁気圏の3次元プラズマシミュレーション

Three dimensional particle simulation for pulsar magnetosphere with GRAPE-DR

和田 智秀^{1*}, 柴田晋平², 高田順平³

Tomohide Wada^{1*}, Shinpei Shibata², Junpei Takata³

¹国立天文台CfCA, ²山形大学理学部, ³香港大学

¹CfCA, NAOJ, ²Dept of Physics, Yamagata University, ³University of Hong-Kong

規則正しい電磁波のパルスが観測されることで知られるパルサーは高速で自転(周期~0.1秒)し、強い表面磁場(10^{12} ガウス)を持つ中性子星である。回転する中性子星には単極誘導によって電圧(~ 10^{15} Volt)が生じる。発生した電場によってプラズマは加速し、ガンマ線(~GeV)を制動放射をする。続いてこれらのガンマ線光子は磁気圏内で電子陽電子対となり、発生したプラズマは相対論的エネルギーのアウトフローとなる(Pulsar wind)。Pulsar windは中性子星のまわりのシノクロトロン星雲の定常なエネルギー源となっている。

磁気圏からはガンマ線が星の自転周期に等しいパルスとして観測されている。すなわち磁気圏において局所的な粒子加速領域が星とともに剛体回転しており、加速領域からはガンマ線ビームが出ていることになる。磁気圏内で発生した電子陽電子対は自身の加速電場をコントロールしながらこのような加速領域を維持していると考えられるがそのような構造がどこにどのようなものか理解されていない。

パルサーの磁気圏では磁気圏内で大量発生する電子陽電子プラズマの運動とそれに働く慣性の効果が重要である。そして必ずしも理想磁気流体近似が保証されない。磁気圏の大局的構造の理解にはグローバル粒子シミュレーションが有効である。従来の手法としてParticle in Cell法があるが、計算時間の制限から主として局所的な領域の計算に限定されてきた。我々は中性子星磁気圏の定常構造に着目し、場の方程式から

時間変動の効果を省略することで磁気圏全体にわたる大規模計算を実現させることを試みている。その際、粒子間の相互作用の計算ステップ数は粒子数の二乗に比例するため通常の計算機では計算できない。GRAPE-DRはGRAPE-6に引き続き質点間の重力相互作用を超高速に計算する専用計算機である。我々は符号を持たせた質量、すなわち電荷を用いることで、GRAPE-DRをプラズマ間相互作用の計算へと応用した。

今回、数100万体のプラズマでの磁気圏構造を調べるための可能なコードを開発した。このシミュレーションにおいて(1)場の方程式には定常を仮定する。一方でプラズマの運動は三次元でドリフト運動を詳細に追う。(2)計算コストの高い粒子間相互作用をGRAPE-DRによって加速する。(3)システムサイズに比べ微小な運動スケールを持つ個々のプラズマに個別時間刻みを与えて運動を追い、全体の積分ステップ数を減らす(個別時間刻み法)。これらはホストで並列計算する。

今後はこれらに加え、磁気圏内で対生成を起こすガンマ線光子の運動も同時解く必要がある。GPGPUなどとのハイブリット化なども視野にいれている。これらをふまえ、現在得られつつある結果について報告する。

キーワード:プラズマ, N体, 中性子星, GRAPE, GPGPU

Keywords: plasma, N-body, neutron star, GRAPE, GPGPU