

論文内容要旨 (和文)

平成 15 年度入学 大学院博士後期課程 地球共生圏科学専攻 共生圏発達科学講座

氏 名 和田 智秀



論文題目 A three dimensional particle simulation for the global structure of the pulsar magnetosphere including the effect of electron-positron pair creation
(電子陽電子対生成の効果を含んだパルサー磁気圏の大域的な構造を明らかにするための三次元粒子シミュレーション)

我々は電子陽電子対生成の効果を含んだ三次元粒子シミュレーションによって軸対称なパルサー磁気圏を得た。その磁気圏構造は電子陽電子対とガンマ線ビームを放射するギャップが光円柱より内側の中緯度にあり、定常な電子陽電子対のアウトフローを持つ。

1967 年のパルサー発見以来、パルサーは強く磁化し ($\sim 10^{12}$ gauss)、高速回転する ($0.1\text{--}10^2$ Hz) 中性子星であることが知られている。パルサーから周期的な強度変化をする電磁波のパルスが観測される。現在ではおよそ 2000 個のパルサーが見つかり、それらは放射のメカニズムによって分類されている。パルサー自身の回転エネルギーを外部へと開放するタイプのパルサーは回転駆動型パルサーに分類され、高エネルギーの放射源である粒子の加速機構を探る上で重要である。しかしそのメカニズムは長い間理解されていない。主要な問題はなぜ、またどのように回転エネルギーがガンマ線放射と相対論的なエネルギーの電子陽電子対のアウトフロー (パルサー風) へと変換するのかということである。

ここで我々は三次元粒子グローバルシミュレーションを軸対称なパルサー磁気圏モデルにおいて実行した。粒子シミュレーションを用いることで通常の MHD 近似や Force-free 近似が成り立たないような電荷分極したプラズマや真空ギャップなどの構造のシミュレーションを適切に行うことができる。しかしプラズマ間の相互作用の計算時間は粒子数の二乗に比例して増えていくために現実的な計算時間でシミュレーションを行うことは通常は不可能である。そこで我々は重力多体系用専用計算機である GRAPE-6 をプラズマのクーロン相互作用の計算へと適用し、この計算を実現した。本研究による GRAPE-6 の活用は同計算機の新しい可能性を与えたといえる。シミュレーションにおいて計算機による粒子数の制限から電子陽電子対生成は低く抑えられた。磁気圏を流れる電流は弱いと、磁気圏の磁場形状は双極磁場を仮定している。このモデルはやや年齢の高い Geminga のようなパルサーを代表している。電子陽電子対は中緯度の電荷の欠乏した領域から発生し、この構造は Outer gap として知られている。パルサー風は磁気圏における電磁場による方位角方向の運動と、それにともなう光円柱付近で速度が増大するプラズマの放射の反作用による磁力線を横切ったドリフト運動によって作られる。そのアウトフローは系から帯電量を損失させ、これは gap での電荷の欠乏領域を作り、すなわち電子陽電子対生成を維持する。磁気圏は最終的に粒子の損失と生成がつりあって定常となる。

我々のシミュレーションはパルサー風とガンマ線ビームの放射機構が共存できることを示した。今後の研究では若い Crab のようなパルサーの磁気圏構造を調査するためにより多粒子で詳細な電子陽電子対生成の過程を考慮したモデルでシミュレーションを行う予定である。

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

平成 20年 2月 8日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主 査 柴田 晋平 印
副 査 櫻井 敬久 印
副 査 佐々木 実 印
副 査 印

学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

1. 論文申請者

専攻名 地球共生圏科学専攻
氏 名 和田 智秀

2. 論文題目 (英文の場合は, その和訳を併記すること。)

..... A three dimensional particle simulation for the global structure of
..... the pulsar magnetosphere including the effect of electron-positron
..... pair creation (電子陽電子対生成の効果を含んだパルサー磁気圏の大域的
..... な構造を明らかにするための三次元粒子シミュレーション)

3. 審査年月日

論文審査 平成 20年 1月 23日 ~ 平成 20年 2月 8日
論文公聴会 平成 20年 2月 8日
場所 理学部地球科学棟 23番教室
最終試験 平成 20年 2月 8日

4. 学位論文の審査及び最終試験の結果 (「合格」・「不合格」で記入すること。)

(1) 学位論文審査 合格
(2) 最終試験 合格

5. 学位論文の審査結果の要旨 (1,200字程度) 別紙のとおり

6. 最終試験の結果の要旨 別紙のとおり

専 攻 名	地球共生圏科学専攻	氏 名	和田 智秀
学位論文の審査結果の要旨			
本論文は以下のように構成されている。第一章で、パルサー発見からパルサー磁気圏問題の所在、最近の世界的研究の動向がまとめられ、最後に本論文で解決すべき問題が提示されている。第二章では解決のための方法、特に、専用計算機を用いた計算手法についてのべられている。専用計算機は天文学における重力N体問題のために開発されたものであるが、それをプラズマ物理に応用しており、プラズマ分野での本格的な応用は世界で初めてのものである。第三章で計算結果、第四章でまとめと議論がされている。この研究結果により、従来ははっきりしていなかった問題、つまり、「電場加速領域（ガンマ線パルス放射領域）とパルサー風とが如何に相互作用しつつ共存しているか」という問題が解決されている。なお、パルサー風の存在はX線やγ線で見つかっているパルサー星雲を励起するものとして提案されている相対論的なプラズマの流れである。パルサー風の起源となるプラズマは、γ線放射領域の粒子加速とそれにつづく電子陽電子対生成で作られ、一方、パルサー風によるプラズマの持ち出しが粒子加速を継続させる（プラズマの欠乏したギャップ）といった相互関係を初めて示すことができた画期的な数値計算である。 本研究の一部は、英国の天文学専門誌 Monthly Notices of Royal astronomical Society, Vol. 376 (2007), pp1460-1464 に、“A Particle Simulation for the Global Pulsar Magnetosphere: the Pulsar Wind linked to the Outer Gaps” のタイトルで掲載されている。 以上、本論文は理学博士の学位にふさわしい研究成果としてまとめられており、審査結果は合格と判断される。			
最終試験の結果の要旨			
学位論文の内容を口頭で発表し、研究および宇宙物理学についての口答試問をおこない、学位にふさわしい知識および解析力があることが確かめられた。発表の態度および研究の姿勢も学位にふさわしいものであると判断された。 以上によって、最終試験の結果は合格と判定される。			