

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	た か も と ま こ と 高 本 亮
学 位 (専 攻 分 野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 年 月 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
(学 位 論 文 題 目) A New Numerical Scheme For Resistive Relativistic Magnetohydrodynamics And Its Application to The Crab Pulsar Wind Nebula (相 対 論 的 散 逸 磁 気 流 体 方 程 式 の 新 し い 数 値 解 法 の 開 発 と そ の パ ル サ ー 星 雲 へ の 応 用)	
論 文 調 査 委 員	(主 査) 中 村 卓 史 教 授 青山 秀 明 教 授 国 広 悌 二 教 授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（理学）	氏名	高本 亮
論文題目	A New Numerical Scheme For Resistive Relativistic Magnetohydrodynamics And Its Application to The Crab Pulsar Wind Nebula（相対論的散逸磁気流体方程式の新しい数値解法の開発とそのパルサー星雲への応用）		
（論文内容の要旨） 宇宙現象では磁場の果たす役割は大きい。例えば星間空間には 10^{-6} ガウス程度の磁場があり星の形成進化に本質的な役割を果たす。また中性子星のような高密度星では 10^{12} ガウスもの強磁場が存在し、パルサー並びにパルサー星雲の活動を引き起こす源と考えられている。さて、これらの系では物質の熱伝導率が高いため、熱伝導率を無限だと近似する磁気流体力学（MHD：Magnetic HydroDynamics）を用いた研究が主流であった。磁気流体力学の大きな特徴は磁場の凍結と呼ばれる磁束の保存則が成立していることである。しかし、現実の現象では磁場の再結合のような磁束の保存しない現象が存在しているので、熱伝導率を有限とする有限抵抗MHD（RMHD：Resistive MHD）を適用する必要がある時が数多くある。しかしながら、単にMHDに有限な伝導率で残る項を入れると方程式は方物型となり、相対論的なRMHD（RRMHD：Relativistic RMD）では因果律が破れるという困難が現れる。この困難を逃れるためにはMHD近似で無視されていた電場の時間微分を取り入れる必要がある。 RRMHD での数値コードはいくつかあったが、得られた数値解がなまることや、光速のみを系の特性速度としているため計算時間が掛かり過ぎると言う等の難点があった。申請者はこの難点を解決するために、流体量に対しては音速を、電磁場に対してはアルフベン速度等を特性速度とし、また小さな抵抗を精度良く扱えるように差分式の一部を解析的に解くという工夫をいれて、今までより高精度な数値コードの完成に成功した。 パルサーからは高エネルギー電子が放出されているが、パルサーを出た時は強い磁場のため磁場のエネルギーと粒子のエネルギーの比 σ は1に比べて大変大きい。パルサー星雲の外側では観測的に $\sigma = 10^{-3}$ 程度である。これはどこかで磁場が再結合した事を意味するが、そのメカニズムが不明なため σ 問題と呼ばれている。申請者は得られたコードをパルサー風星雲の σ 問題に適用した。具体的には相対論的なパルサー風が密度に揺らぎのある物質に突入した時に生じるRichtmyer-Meshkov不安定性で磁場乱流中での磁場の再結合過程の2次元数値シミュレーションを実行した。結果は時間が十分たった後には仮定した抵抗値に殆ど依存せずに初期の磁場のエネルギーの内 90%以上が再結合で熱エネルギーに変化するというものであった。この結果は σ 問題の解決の可能性を示すと共に、申請者の開発した数値コードの有用性を示すものである。			

(論文審査の結果の要旨)

磁気流体力学 (MHD) では物質の電気伝導度が ∞ (=抵抗がゼロ) という近似と光速が大きいとして Maxwell 方程式中の電場の時間微分を無視するという大きな仮定がある。その結果 MHD では磁束が物質に凍結するという事が解析的に示される。従って、方向の違う磁場が遭遇して磁場の再結合が起こると言う現象は MHD 近似の数値シミュレーションでは原理的に取り扱えないはずである。しかし、実際には数値差分によって生じる数値抵抗によって磁場の再結合が生じているが、それは差分間隔に依存した結果となり不満足なものである。より正しい方程式系は有限抵抗かつ電場の時間微分を入れた RRMHD となるが、その数値コードはいくつかのパイオニア的なものだけであった。申請者はこのような状況で流体量に対しては音速を、電磁場に対してはアルフベン速度等を特性速度とし、また小さな抵抗を精度良く扱えるように差分式の一部を解析的に解くという工夫を入れて、今までより高精度で効率の良い数値コードの完成に成功した。解析解の再現では今までのコードよりはるかに精度で優れることが示されている。申請者による RRMHD 数値コードの応用範囲は広いし精度も良い点は高く評価出来る。

次に申請者はこの数値コードの応用の最初の例としてパルサー風星雲の σ 問題を取り上げた。物質の密度に揺らぎがあるという簡単な設定にパルサー風を投入して発生する乱流の進化を計算した。その結果、プラズマの抵抗値に殆ど依存せずに σ の値が 10 分の 1 以下になるという興味深い結果を得た。これは σ 問題の解決への糸口を与えたものとして高く評価できると共に申請者が建設した RRMHD コードの有用性を示すものである。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認められるものである。

また、平成 24 年 1 月 16 日 主論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。