

国立天文台 天文学データ解析計算センター
成果報告書 (平成 16 年度)

提出期限：平成 17 年 3 月 14 日 (月)17:00 必着

応募カテゴリ（いずれかを選択） C

システム（いずれかを選択） VPP

プロジェクト ID:rea45c

研究代表者（現在のユーザ ID : asanoej）

氏名	浅野 栄治	
所属機関名	千葉大学 理学部 物理学科 宇宙物理学研究室	
連絡先住所	〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1 - 3 3 千葉大学理学部物理学科宇宙物理学研究室	
電話番号	043-290-3720	
E-mail	asano@astro.s.chiba-u.ac.jp	
職または学年	自然科学研究科数理物性科学専攻 博士後期課程 2 年	
研究代表者が学生の場合には指導教官の氏名	松元亮治	

研究課題名

(和文)	HLL スキームに基づいた相対論的 MHD コードの開発
(英文)	Developments of a Relativistic Magnetohydrodynamic Code Based on HLL Scheme

研究分担者

[illegible]

成果に関連して出版、もしくは印刷、投稿中の論文リスト

(1) このプロジェクト（同様の過去のプロジェクトも含む）での成果

2005 年日本天文学会春季年会（発表予定）

(2) これまでのプロジェクトの今年度中の成果

”Time evolution of Relativistic Force-Free Fields Connecting a Neutron Star and its Disk”

Eiji ASANO, Toshio UCHIDA, Ryoji MATSUMOTO, (2005 年 2 月 16 日受理、PASJ Vol.57, No.2, 2005 年 4 月 25 日発行予定)

成果の概要

1 概要

我々は、パルサーやブラックホールの周りの相対論的現象をシミュレートするため、HLL 法に基づいた相対論的 MHD コードを作成してきた。本研究では、これまで使われてきた Lax-Wendroff 法との比較を行い、それぞれのスキームの特徴を示した後、我々が新たに実装した方法によるテスト計算を行った。

2 イン트로ダクション

相対論的アウトフローは活動銀河核、マイクロクェーサー、 γ 線バーストやパルサーによって生成されることが知られている。そのダイナミクスには磁場が効果的な役割を演じていると考えられる。我々は、相対論的かつ強い磁場が関わる現象を数値計算で扱うため、HLL 法に基づいた相対論的 MHD コードを作ってきた。

相対論的 MHD 方程式を解くには、2 つのアプローチが考えられる。(1) 非保存形式のエネルギー方程式を解く (e.g., de Villiers and Hawley 2003, Manmoto based on CIP method) 方法、(2) 衝撃波を捉えるための保存形式のエネルギー方程式を解く方法 (e.g., Koide 1996) がある。

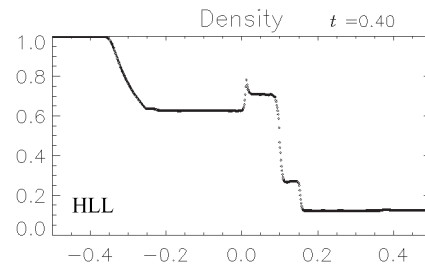
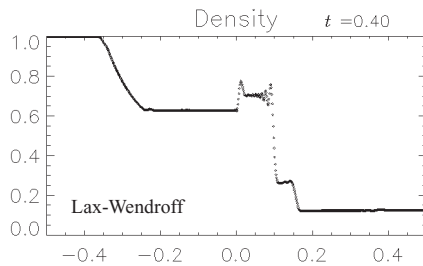
(2) の方法で解く場合、保存量から基本量を求める際、陰関数の代数方程式を解かなくてはならない。これを繰り返し法などにより数値的に求めるが、高いローレンツ因子の問題を解く場合、計算機の時間を消費したり、繰り返し数が安定しないなど問題があった。最近、Del Zanna et al. (2003) により新たな方法が提案された。我々はこれを HLL 法に基づいた相対論的 MHD コードに実装した。

3 HLL スキーム

HLL 法は風上差分法のひとつであり、Roe 法と比較すると、システム方程式から求めた速度行列の固有値、固有ベクトル（相対論的 MHD 方程式でこれを求めるのは困難）を用いる必要がなく、特性速度の最大値、最小値を用いればよい。オリジナルの HLL フラックスは 1 次精度なので、MUSCL により高次精度化を行った。

4 HLL と Lax-Wendroff スキームの比較

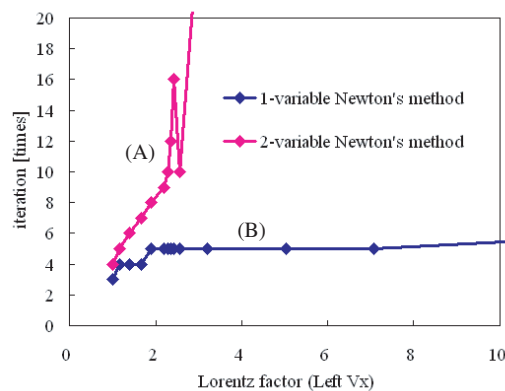
衝撃波管問題による二つのスキームの比較を行った。



Lax-Wendroff 法は数値振動が見られるが、これが非物理解を導き、繰り返し法における解の収束性を悪くする原因ともなっている。一方 HLL 法は数値振動もなく滑らかに解を捉えていることが分かる。

5 繰り返し法

保存量から基本量を求める際の陰的代数方程式を解く方法はこれまで、(A) 2つの方程式に帰着させ、解を2変数の Newton 法を用いて解く方法 (Koide 1996) が用いられてきたが、高いローレンツ因子問題では、解が見つかるまでの収束回数が悪くなったり、解自体が見つからないことがあった。一方、(B) Del Zanna(2003)の方法は、二つの方程式の内、一方を解析的に解き、その解をもう一方の方程式に用い、それを1変数の Newton 法で解くという方法である。次の図は (A:ピンク)(B:青) を比較したものである。これによると、(B)

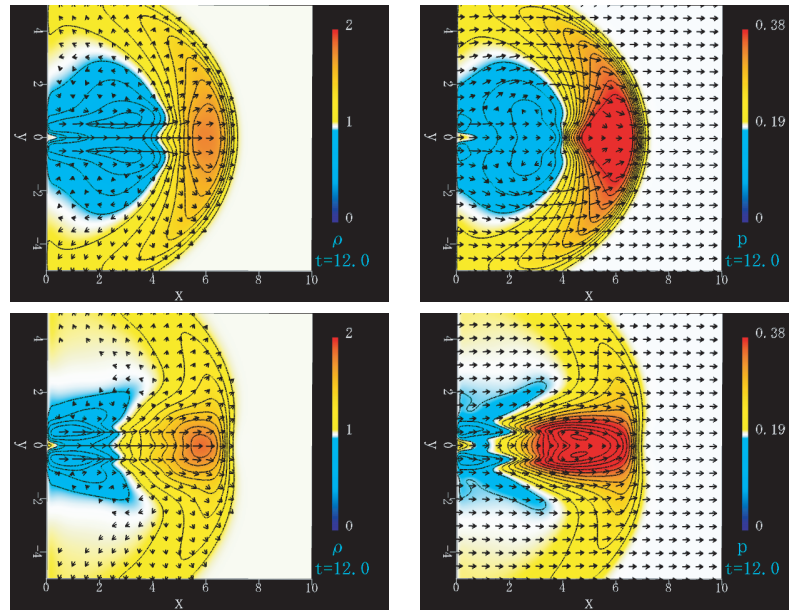


が高いローレンツ因子でも安定した回数で解を求めることができています。利点として、プログラムを並列化する場合のベクトル化率向上が期待できる。

6 2次元テスト計算

これらの結果を踏まえて、2次元 MHD ジェットのテスト計算を行った。スキームは HLL 法、代数方程式は2変数の Newton 法を使った。図はカルテシアン座標 (200×200 メッシュ)、 x 方向に一樣な磁場 (上段: $\beta = 100$ 、下段: $\beta = 1$ 、 β はプラズマベータ) を与え、 $x = 0$ から光速の 90% の速度のジェットを注入した。

(左図：カラーは密度、矢印は速度場、右図：カラーは圧力、矢印は磁場)



強い磁場中では、ジェットは広がらずコリメートされた。また、ジェットの先端部分の圧力が高い部分は磁場が強い場合の方が狭い。

今後の課題としては、より安定した計算ができるであろう、HLL 法に Del Zanna の方法を実装し、実際の物理現象に適用し、相対論的現象の解明を行っていく。