

応用課題

MHD・流体モデル

- | | |
|----------------------------------|-------|
| 1. 磁気リコネクション | 柴田一成 |
| 2. Richtmyer-Meshkov 不安定性 | 加藤精一 |
| 3. 降着円盤とジェット | 松元・桑原 |
| 4. 衝撃波とガス雲との相互作用 | 福田尚也 |
| 5. パーカー不安定性 | 野澤 恵 |
| 6. CIP | 尾形陽一 |
| 7. 太陽風磁気圏相互作用の 3 次元 MHD シミュレーション | 荻野・中尾 |
| 8. 相対論的磁気流体 | 小出眞路 |

応用課題の簡単な説明

1. 磁気リコネクション

柴田一成

磁気リコネクションは、太陽フレアや磁気圏サブストームなどの天体磁気プラズマ爆発現象における、最も基本的なエネルギー解放機構である。近年は、恒星フレアや降着円盤、宇宙ジェットなどにおいても重要な役割を演じていると考えられている。多次元電磁流体数値シミュレーションを行うものは、磁気リコネクションの物理を熟知しておかなければならない。本応用課題では、Alfven wave 発生エンジンという役割に注目して、2次元非対称リコネクションのシミュレーションを行う。

2. Richtmyer-Meshkov 不安定性

加藤精一

Richtmyer-Meshkov 不安定性は、密度の異なる層の境界面を衝撃波が通過する際にその境界面で起こる流体力学的な不安定性であり、活動的な現象のシミュレーションを行なう際にはよく現われると考えられる。似たような状況で起こり得る不安定性に Rayleigh-Taylor 不安定性があるが、本課題では、2つの不安定性の違いを 2次元シミュレーションを通して比較して理解を深めてもらう予定である。

3. 降着円盤とジェット

松元亮治・桑原匠史

初期に回転軸方向の磁場に貫かれた差動回転円盤からの磁気流体ジェットの形成過程を円筒座標系 2次元軸対称の MHD コードを用いてシミュレートする。円盤の角運動量分布、初期磁場の強さ、コロナ密度などを変えてシミュレーションを行い、ジェットの速度、質量放出率などのモデルパラメータへの依存性を調べる。この計算では降着円盤内部も計算領域に含めるため、円盤内部における磁気回転不安定性の成長、円盤磁場の増幅過程もシミュレートすることができる。

4. 衝撃波とガス雲との相互作用

福田尚也

星間空間のガス雲は、超新星や OB 型星の HII 領域や星風によって生じた衝撃波によって圧縮を受けたり、吹き流されたりしている。そのようなガス雲の進化を調べる。ガス雲の状態方程式による違いや磁場の向きによる違いを比較する。

5. パーカー不安定性

野澤 恵

磁気シートに働くパーカー不安定は、太陽の内部から浮上する磁場の原因と考えられ、また太陽以外にも銀河などでも起こり、星間空間に磁場を膨張させている。パーカー不安定は磁場に並行に摂動を与えた場合のあくまで二次元の不安定であるが、実際の現象は三次元のため、磁場の方向と垂直な摂動を与えた場合や、それらが一緒になった不安定の結果はまだよくわかっていない。そこで、二次元または三次元の MHD コードを用いて、MHD シミュレーションを行なう。できれば、CIP 化したコードの結果との比較も考えている。

6. CIP

尾形陽一

授業で行なった内容に沿って、従来の CIP 法・有理関数 CIP 法・CIP-CUP 法と近年提案された保存保証型 CIP 法 (CIP-CSL2 法) について、1~3 次元計算を通してそれぞれの使い方・特徴・他差分法に対する優位性などを理解する。(流体計算が主である。) また、進行具合によって工藤らによって開発された MHD への適用 (CIPMOCCT 法) についても扱い、スキームの基礎を学ぶ。

7. 太陽風磁気圏相互作用の 3 次元 MHD シミュレーション

荻野竜樹、中尾真季

ベクトル化とベクトル並列化 (MPI) された 3 次元 MHD コードを用いて、SUN ワークステーションとベクトル並列型のスーパーコンピュータ Fujitsu VPP5000 で太陽風と地球磁気圏相互作用のグローバル MHD シミュレーションを行い、惑星間磁場 (IMF) が北向きと南向きの場合の磁気圏構造を調べる。図形処理として、断面図や 3 次元磁力線構造の描画、VRML を用いた 3 次元可視化を実行する。

3D-MHD, Modified Leap-Frog scheme, 並列化コード (MPI)

8. 相対論的磁気流体

小出眞路

今夏新しく開発された CANS 一般相対論的流体力学計算部を用いて、特殊相対論的流体力学現象 (相対論的衝撃波管, 相対論的音波の伝播, 相対論的ケルビン・ヘルムホルツ不安定性) から一般相対論的流体力学現象 (ブラックホールへの流体の落下, ブラックホールまわりでの円軌道回転流体の不安定性) までの現象の中から各人の興味に応じて課題を選びシミュレーション実習を行う。

課題・コード仕様テキスト：CIP

1.1 次元コード

1.1 : 基本編

コードの仕様

CIP 法と CIP-CSL2 法を用いた下記の式

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uf) = 0 \quad (1)$$

を解く 1 次元コードのパッケージが次のディレクトリ「1D-dir」内にそれぞれ「CIP-dir」と「CSL2-dir」に入っています。内容はそれぞれ次の様になっています。

コードは全て Fortran で書かれています。

・ CIP-dir

CIP.adv : 1 次元 CIP の移流相計算

CIP.bou : 境界条件

CIP.f : メインプログラム

CIP.ini : 初期条件の設定

CIP.non : 非移流相 (値・微分値) の計算

CIP.shf : 値の更新

Makefile : コンパイル

PARAMETER : 格子数の設定

・ CSL2-dir

CSL2.adv : 1 次元 CIP-CSL2 の計算

CSL2.bou : 境界条件

CIPCSL2.f : メインプログラム

CSL2.ini : 初期条件の設定

CSL2.non : 非移流相 (値) の計算

CSL2.shf : 値の更新

Makefile : コンパイル

PARAMETER : 格子数の設定

内部変数 (共通)

YR (値) : f^n , YRN : f^{n+1} , RHO (積分値) : ρ^n , RHON : ρ^{n+1} , YU (速度) : u

使用法

それぞれのディレクトリに移動し、「make」とするだけです。実行ファイルを実行すると最後にデータが吐き出されるので、IDL で可視化します。

課題 1

それぞれのコードを実行し、格子数等を変えて結果を比較・可視化する事。また、質量保存誤差を CIP 法と CIP-CSL2 法で比較し、保存性の検証を行う事。

(速度 = 一定、速度が空間変化する場合の 2 種類)

1.2 : 応用編 流体コード

コードの仕様

次に、1次元圧縮性流体を CIP 法、CIP-CSL2 法、CCUP 法を用いて解くコードを用意しました。(デカルト座標系) 解く基礎方程式は下記の式です。

$$\text{連続の式: } \frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} = -\rho \frac{\partial u}{\partial x} \quad (\text{CIP 法} \cdot \text{CCUP 法})$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} = 0 \quad (\text{CIP-CSL2 法})$$

$$\text{運動方程式} \quad \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{共通})$$

$$\text{圧力の式} \quad \frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} = -\gamma p \frac{\partial u}{\partial x} \quad (\text{共通})$$

テキスト参照

・ CSL2-dir

CSL2.adv : 1次元 CIP-CSL2 の計算

CSL2.bou : 境界条件

CSL2.f : メインプログラム

CSL2.ini : 初期条件の設定

CSL2.del : 非移流相 (密度) の計算

CSL2.pre : 非移流相 (圧力) の計算

CSL2.vel1 : 非移流相 (速度) の圧力項計算

CSL2.vel2 : 非移流相 (速度) の人工粘性計算

CSL2.vis : 人工粘性項

Makefile : コンパイル

PARAMETER : 格子数の設定

CIP 法 (CIP-dir) \ CCUP 法 (CCUP-dir) も拡張子に準じて同様です。但し、CCUP 法には圧力のポアソン方程式を解く「CUP.sor」がある。

課題 2

- それぞれのコードで衝撃波管問題を解き、IDL で可視化する事。また、衝撃波を強くしていき、大きいマッハ数の計算も行う事。
- CIP 法と CIP-CSL2 法のコードをそれぞれ新しいディレクトリを作成し、テキストに従って円柱座標系・球座標系に書き換える事。
(余裕があれば CCUP 法も。但し、ポアソン方程式の反復法も変えなくてはならない。) CIP-CSL2 法では密度の式を (1) 式になる様にして、CIP-CSL2 法が適用出来る形にする。また CIP 法は非移流相を書き換えればよい。更に書き換えたコードを用いて「衝撃波管問題」を計算し、座標系による結果の違いを比較する事。
- 球座標系コードを用いて「点源爆発」「重力収縮」の計算を行う事。

2. 多次元コード

2. 1 : 2 次元コード

CIP 法と CIP-CSL2 法を用いた下記の式

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uf) + \frac{\partial}{\partial y}(vf) = 0 \quad (2)$$

を解くコードを用意しました。Directional Splitting なので、前章の 1 次元ルーチンを 2 回使用しています。

課題 3

それぞれのコードで、Doswell の「Front genesis」問題を解き、IDL で可視化する事。また、保存性についても議論する事。

< Front Genesis 問題 >

前線形成のモデルになっている基礎的問題。初期分布は

- ・速度場

$$u(x, y) = -V_T \frac{y}{r}, \quad v(x, y) = V_T \frac{x}{r}, \quad V_T(r) = \frac{\text{sech}^2(r) \tanh(r)}{V_{T0}}, \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

V_{T0} は $V_T(r)$ が最大になる点で $V_T(r) = 1$ となる様に規格化する定数

- ・値

$$f(x, y) = -\tanh\left(\frac{y}{2}\right)$$

2. 2 : 3 次元コード

同様に 3 次元保存方程式

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uf) + \frac{\partial}{\partial y}(vf) + \frac{\partial}{\partial z}(wf) = 0 \quad (3)$$

も用意しました。

課題 4

3 次元計算領域中に配置した物体を下記の速度場で回転させ、その様子を可視化する事。

$$\vec{v} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

$\vec{r} = (x - x_c, y - y_c, z - z_c)$ 、 X_c, Y_c, Z_c は計算領域中心、 $\vec{\omega} = 2\pi / \sqrt{2}(0, -1, 1)$