第３部　基本課題・応用課題

基本課題・応用課題

MHD・流体モデル

1. MRI	松元亮治
2. リコネクション	横山央明
3. Kelvin-Helmholtz 不安定性	福田尚也
4. 磁気リコネクション(stability of Craing's analytic solution)	柴田一成
5. 太陽浮上磁場（Solar Emerging Flux）	野澤　恵
6. MHDSNR	富坂幸治
7. Parker Instability	田沼俊一
8. 太陽風磁気圏相互作用	荻野竜樹
9. 地球惑星大気擾乱の２次元シミュレーション	品川裕之
10. 太陽風磁気圏相互作用	田中高史
11. 熱圏・電離圏の 3 次元シミュレーション	渡部重十
12. CIP 法	尾形陽一

粒子・ハイブリッドモデル

13. ２流体不安定性（粒子・ハイブリッド）	粒子・ハイブリッドグループ
14. Fast Mode 衝撃波（粒子・ハイブリッド）	粒子・ハイブリッドグループ

基本課題・応用課題の簡単な説明

1. MRI　松元亮治

磁気回転不安定性(Magneto-Rotational Instability: MRI)は、降着円盤に代表される差動回転円盤中で回転のタイムスケールで成長する不安定性であり、差動回転円盤における効率的な角運動量輸送の起源になっていると考えられている。本課題では、円筒座標系 2 次元軸対称の MHD コードを用いて、初期に回転軸方向の磁場に貫かれた差動回転円盤における磁気回転不安定性の非線形時間発展を調べる。円盤の初期角運動量分布、重力ポテンシャル分布、初期磁場の強さ、磁気拡散係数などを変えてシミュレーションを行い、結果を可視化する。

3. Kelvin-Helmholtz 不安定性　福田尚也

銀河団、星間雲での、Kelvin-Helmholtz 不安定性の二、三次元の数値シミュレーションをおこなう。例えば、銀河団 A3667 では、Chandra により cold front と呼ばれる sharp な密度不連続面が見つかっている。Vikhlinn et al.(2002)らは、磁場がなければ、Kelvin-Helmholtz 不安定性が成長すると主張している。これを実際に不安定性がおこるか調べる。

4. 磁気リコネクション(stability of Craing's analytic solution)　柴田一成

磁気リコネクションは２次元非線形方程式なので、解析的に解を得るのはきわめて難しい。ところが、最近、Craig は、非圧縮の仮定の元で、磁気リコネクションの２次元定常解析解を発見した。解は Sweet-Parker scaling と同じ振舞を示し、３次元にも拡張されている。厳密

な解析解が発見されるのはきわめて珍しいので、解の安定性など、この解を調べることはきわめて有意義である。また、解析解はコードのテストにも使える。本課題では、最近発見されたこの解析解を非定常圧縮性コードでテストし、解の安定性などの性質を明らかにすることを目的とする。なお、解は非圧縮解であるが、圧縮性コードでもベータ(＝ガス圧／磁気圧)＞＞１とすれば、非圧縮問題が扱える。結果は、ただちに論文になりうる課題である。

コード：　２次元 resitive MHD 直角座標コード(Lax-Wendroff, TVD, or CIP-MOCCT)

参考文献 Craig and Litvinenko (2002) ApJ 570, 387

5. 太陽浮上磁場（Solar Emerging Flux）　　野澤　恵

　太陽の表面現象の浮上磁場を、磁気シートに働くパーカー不安定性を使い、MHD シミュレーションを行なう。特に予想される線形段階の成長率とシミュレーションの結果との比較について調べる。二次元または三次元の MHD コードも用い、余力があれば、並列化についても触れる。

7. Parker Instability　　田沼俊一

　パーカー不安定性とは、磁場を伴うレイリー・テイラー不安定性のことで、太陽内部からコロナへと磁場を浮上させるメカニズムの一つである。同じ現象は銀河でも起こっており、星間磁場を銀河ハローに膨張させている。こうしてできた磁場構造は星間ガスの分布・運動に影響を与えている。本課題では、銀河のパーカー不安定性や、それに伴う磁気リコネクションによるＸ線ガスや高速ジェットの生成に関する２次元 MHD 計算を行なう。

8. 太陽風磁気圏相互作用　　荻野竜樹

　ベクトル化とベクトル並列化（MPI）の３次元グローバル 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）

9. 地球惑星大気擾乱の２次元シミュレーション　　品川裕之

地球や惑星の大気は基本的には静水圧平衡の状態にあるが、局所的に急激な加熱や加速などが起きると力学バランスが崩れて擾乱が発生し、音波や重力波となって遠方にまで伝搬して行くと考えられている。このような大気擾乱過程の基礎を学ぶため、地球、金星、火星の大気中で局所加熱が発生した場合の、大気変動の基本過程を再現するシミュレーションを紹介する。

11. 熱圏・電離圏の 3 次元シミュレーション　　渡部重十

熱圏・電離圏結合の 3 次元シミュレーションを行う。実際に発生した磁気ストーム時のデータを入力として用いて熱圏大気・電離圏プラズマ変動の再現を試みる。また、オーロラ領域における大気加熱により発生した大気擾乱が赤道域へと伝播し熱圏大気循環が変化していく様子についても調べる。

12. CIP 法　　尾形陽一

CIP 法、圧縮性・非圧縮性流体の統一解法である CCUP 法、保存形でありながら質量保存が保証される保存保証型 CIP（CIP-CSL2)法を用いて、種々の基本的な例題（衝撃波管問題、Front genesis 問題など。）を解きながら、それぞれのの概念・利点・弱点を理解する事が課題であり、今後各手法を用いた流体コード・MHD コードの作成に役立ててもらう。MHD については、従来の CIP-MOCCT 法に CIP-CSL2 法を適用したコードの作成・計算をする。

13. ２流体不安定性（粒子・ハイブリッド）　　粒子・ハイブリッドグループ

プラズマ波動励起の主要因としてビームプラズマ不安定性がある。本基本課題では、背景プラズマにビームとなる成分を加えたモデルを用いて計算機シミュレーション実習を行う。実際のビームプラズマ不安定性では背景プラズマとビームの熱速度、質量比、密度比またはビームの相対速度などにその発展は大きく依存する。今回、電子またはイオンのビームが１つだけ存在する場合に生じる電子-電子間、電子-イオン間そしてイオン-イオン間の不安定性の特徴的な場合について計算機シミュレーションを行う。

14. Fast Mode 衝撃波（粒子・ハイブリッド）　　粒子・ハイブリッドグループ

プラズマ粒子間の衝突が無視できる宇宙空間においては、衝撃波の存在は自明ではない。なぜなら、衝撃波面での散逸現象が粒子間の衝突に起因しないからである。如何にして、運動エネルギーが熱エネルギーに変換されているのであろうか。その散逸の様子を計算機シミュレーションで理解することを目標とする。

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

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

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。

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

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

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

圧力の式　$$\frac{\partial p}{\partial t} + u\frac{\partial p}{\partial x} = -\gamma p\frac{\partial u}{\partial x}$$ （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 法には圧力のポアッソン方程式を解く「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

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

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

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

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

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

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。

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

$\vec{\mathbf{r}}=(x-x_C,y-y_C,z-z_C)$、Xc,Yc,Zc は計算領域中心、$\vec{\boldsymbol{\omega}}=2\pi/\sqrt{2}(0,-1,1)$