

11-NA08

村主崇行(京都大学)

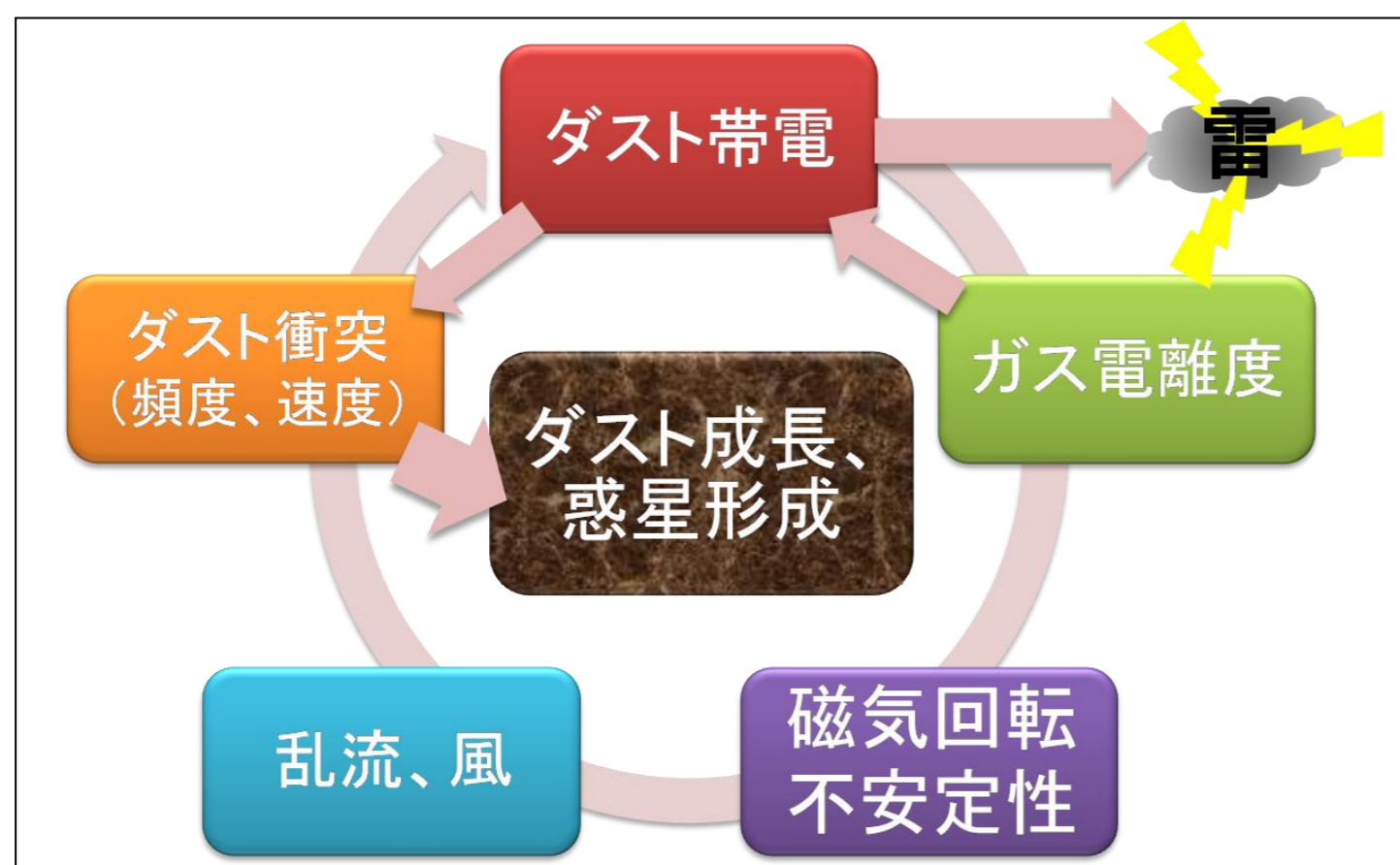
宇宙物理学を対象とするGPGPU磁気流体シミュレーションのさらなる開拓と普及



背景と目的

私は昨年度、数百枚のGPUを並列に扱って動作する流体シミュレーションコードを実装し、星間乱流の3次元高解像度シミュレーションを実現した。宇宙物理学に登場する流体はプラズマ化していることが多く磁場が重要な役割を果たすことが多い。そこで磁気流体力学(MHD)シミュレーションをGPU並列計算機上で実現し、高解像度MHD計算を必要としているような宇宙物理学上の未解決問題を開拓したい。

そこで今年度の目標として、まず昨年度から本共同研究の枠組みで開発を進めている、GPGPUクラスタ型コンピュータ向けの3次元磁気流体コードの開発を続行し、さまざまな物理的効果を取り入れ、また最適化を進める。そのことで、磁気流体力学が中心となるより多様な問題を、他の宇宙物理学者との共同研究のもとで解いていく。とくに惑星形成の文脈で、高解像度MHD計算を必要とする以下のような問題を挙げ、挑戦する。そのことで、惑星形成シナリオにおいて、電磁氣的過程が活躍する豊かな構造を解き明かしてゆきたい。



- 【1】 原始惑星系円盤における磁気回転不安定性 (Magnetorotational Instability, MRI) の、全円盤を表現したグローバルシミュレーション。
- 【2】 原始惑星系円盤において期待される円盤風や放電現象の高解像度シミュレーション。
- 【3】 原始惑星系円盤における、磁気流体と惑星の相互作用のシミュレーション。
- 【4】 超新星爆発などにトリガーされる、星間ガスの磁気流体乱流の数値シミュレーション。

現状

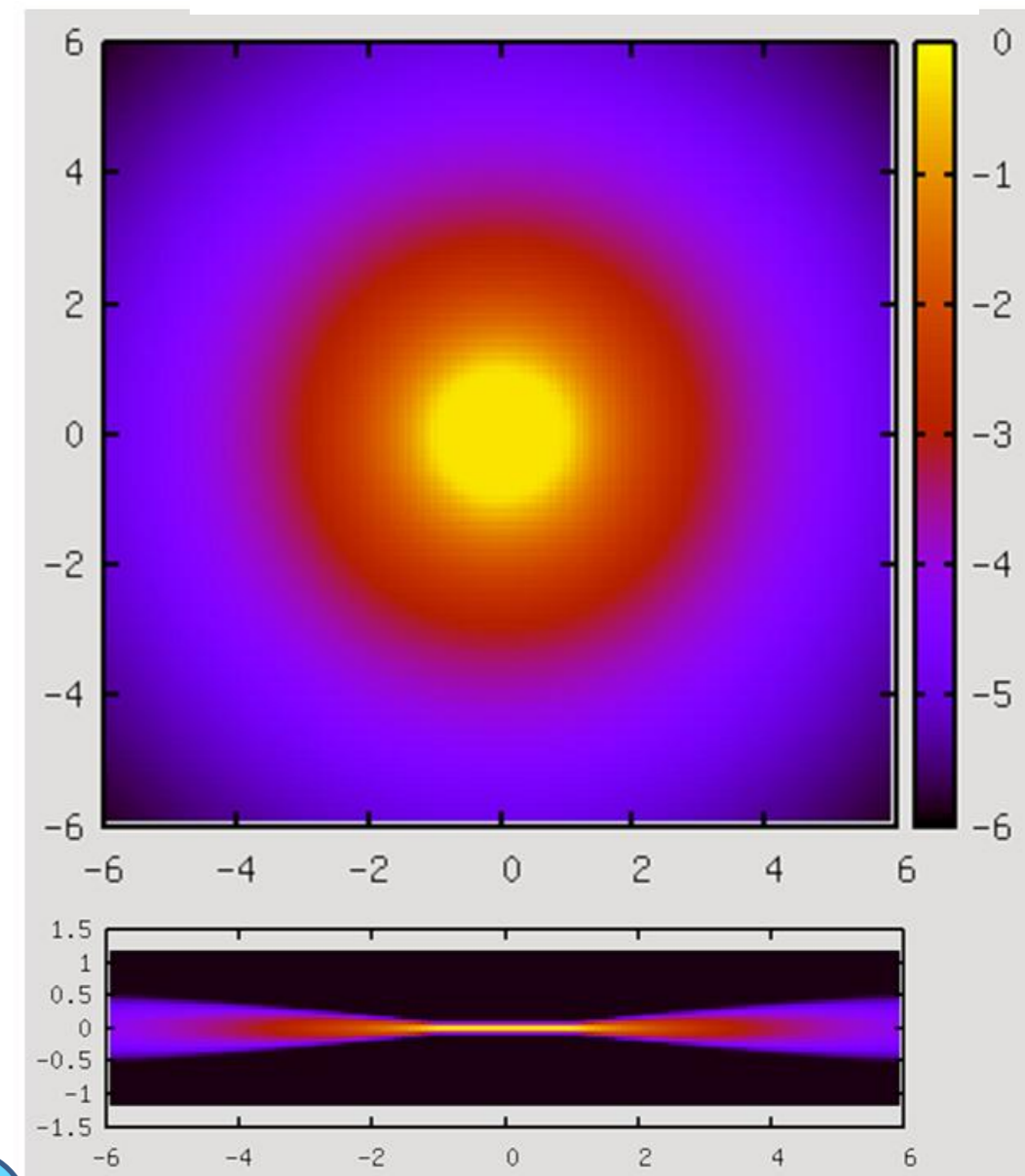
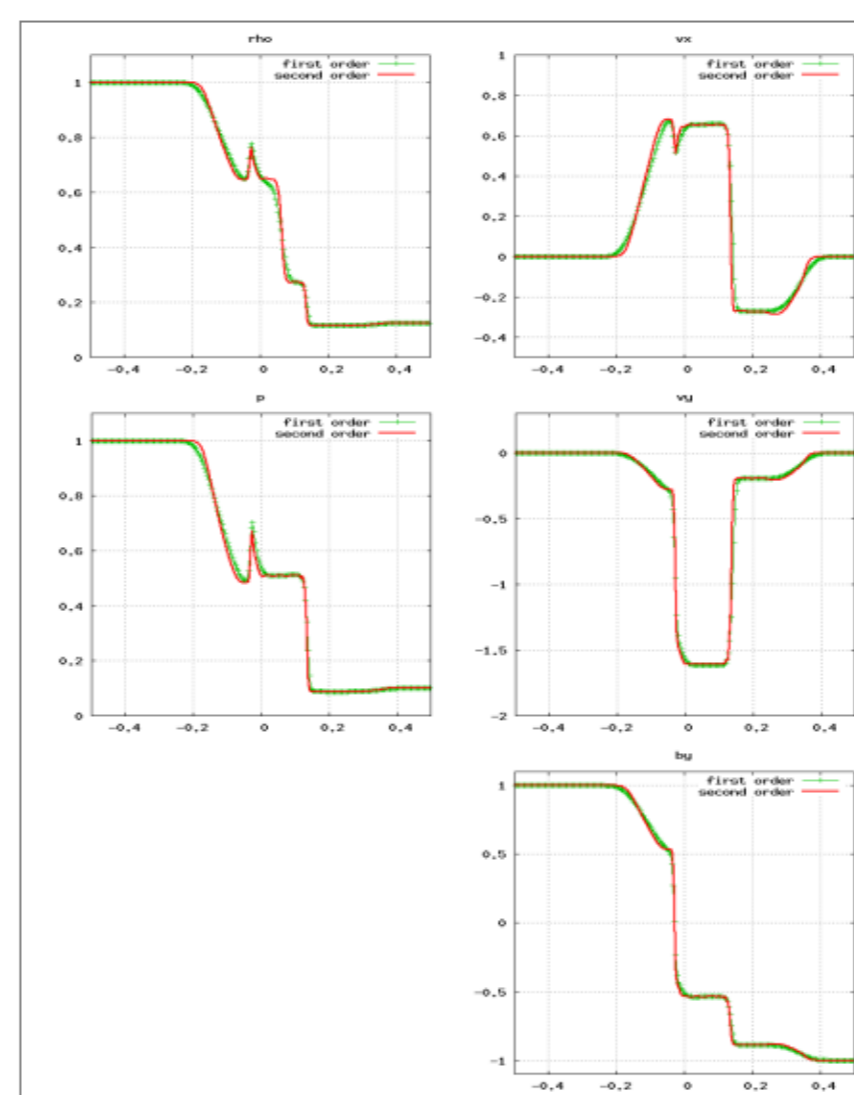
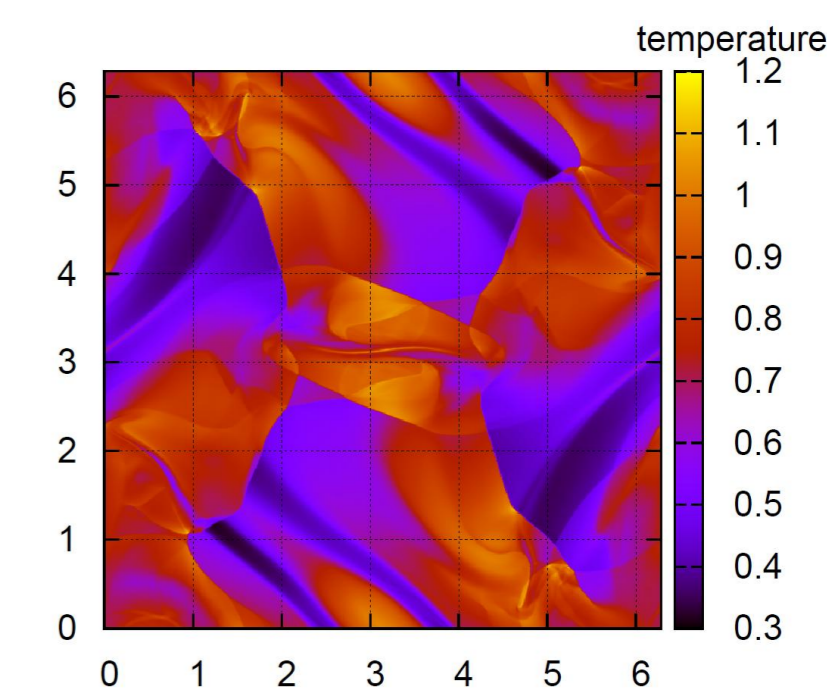
現在、磁気流体力学の基礎方程式を解くコードは完成し、さまざまなテストが済んでいる。原始惑星系円盤のグローバルシミュレーションや、放電現象を解くのに必要な効果を順次、実装している段階である。

開発環境

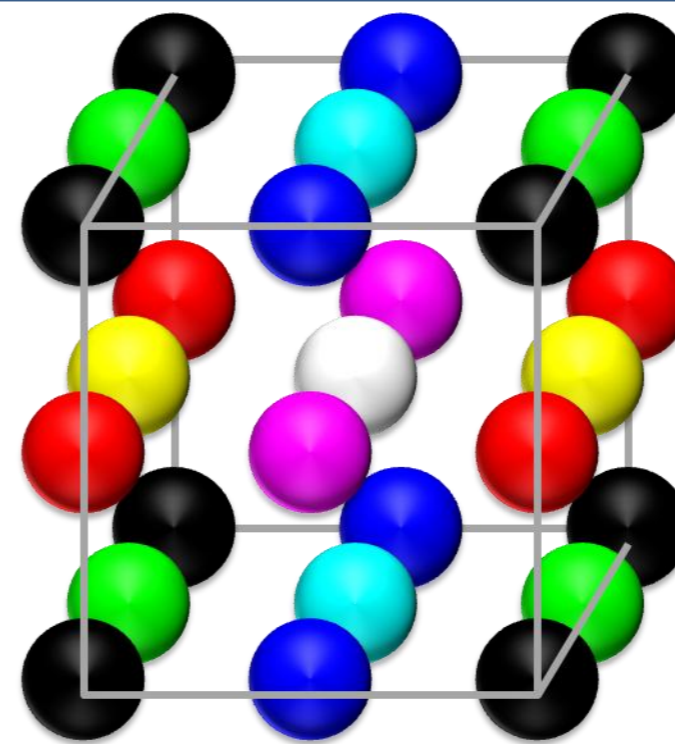
GPU並列計算機でのプログラミングを楽にするため、rubyの構文でC言語系のコードを文字列として操作できるプリプロセッサ cprbや、一様メッシュ上の偏微分方程式の陽解法のためのコード生成言語Paraisoなどを開発している。

GPU並列MHDコードのテスト

- (下) MHD衝撃波管問題
- (右上) Orszag-Tang問題
- (右中下) Minimum Mass Solar Nebulaモデルにもとづく大局円盤の定常解



cprbによる、MHDシミュレーションに必要な食い違い格子のテンプレート型ライブラリの生成



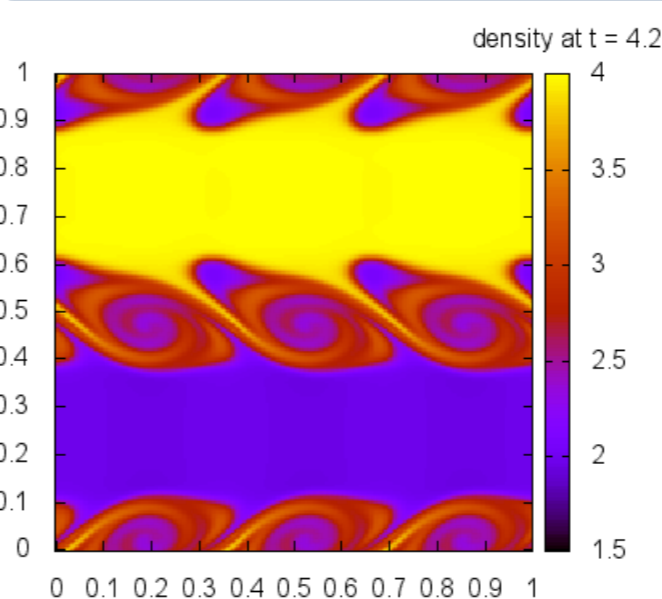
- RCo<0>, ● RCo<1>
- RCo<2>, ● RCo<3>
- RCo<4>, ● RCo<5>
- RCo<6>, ○ RCo<7>

```

__device__ __host__
RCo<4> operator-(const RCo<5> rco, XHalf) {
;
return RCo<4>( rco.x_
, rco.y_
, rco.z_
,rco.addr_);
}
__device__ __host__
RCo<7> operator-(const RCo<6> rco, XHalf) {
;
return RCo<7>( rco.x_ - 1
, rco.y_
, rco.z_
);
}
__device__ __host__
RCo<6> operator-(const RCo<7> rco, XHalf) {
;
return RCo<6>( rco.x_
, rco.y_
, rco.z_
,rco.addr_);
}
__device__ __host__
RCo<2> operator-(const RCo<8> rco, YHalf) {}
;
return RCo<2>( rco.x_
, rco.y_ - 1
, rco.z_
);
}
__device__ __host__
RCo<3> operator-(const RCo<1> rco, YHalf) {
;
return RCo<3>( rco.x_
, rco.y_ - 1
, rco.z_
);
}
__device__ __host__
RCo<8> operator-(const RCo<2> rco, YHalf) {
;

```

Paraisoにより、生成された流体ソルバで行ったKelvin-Helmholtz不安定性の計算(左)、プログラム代数によるコード生成(右)



```

-- | Make a binary operator
mkOp2 :: (Vector v, Ring.C g, TReal r, Typeable c) =>
A.Operator -- "The operator"
-> (Builder v g (Value r c)) -- ^Input 1
-> (Builder v g (Value r c)) -- ^Input 2
-> (Builder v g (Value r c)) -- ^Output
mkOp2 op builder1 builder2 = do
v1 <- builder1
v2 <- builder2
let
r1 = Val.realm v1
c1 = Val.content v1
n1 <- valueToNode v1
n2 <- valueToNode v2
n0 <- addNode [n1, n2] (NInst (Arith op) ())
n01 <- addNode [n0] (NValue (toDyn v1) ())
return $ FromNode r1 c1 n01

```

共同研究者

- 犬塚修一郎(名古屋大) 宇宙物理学監督
- 鈴木建(名古屋大) 円盤風
- 井上剛志(青山学院大) 磁気流体乱流
- 奥住聡(名古屋大) 放電現象
- 武藤恭之(東工大) 惑星との相互作用
- 濱田剛(長崎大) コード開発