



## 目的

本研究の目的は、ふたつである。一つ目は、前年度(試行)において開発したGPGPUクラスタ型コンピュータ向けの3次元圧縮性流体力学コードを利用し、大解像度数値計算により先進的な宇宙物理学の課題を研究することである。もう一つは、その流体コードの開発・運用経験を生かして、あらたに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を開発することである。本ポスターではおもに第一の流体コードを利用した、「分子雲形成領域における2相水素ガスの乱流状態の数値シミュレーションと解析」の進捗状況について報告する。

### 基礎方程式

Euler方程式

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \\ \frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) + \nabla P = 0 \\ \frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot ((E + P)\mathbf{u}) = \Gamma(\rho, T) - \Lambda(\rho, T) \end{cases}$$

### 加熱・冷却項

$$\begin{cases} \Gamma(\rho, T) = 6.802 \times 10^{-2} \rho \\ \Lambda(\rho, T) = \rho^2 \left[ 3.871 \times 10^5 \exp\left(\frac{-19.25}{T+0.1626}\right) + 4.25 \times 10^{-2} \sqrt{T} \exp\left(\frac{-1.496 \times 10^{-2}}{T}\right) \right] \end{cases}$$

- 物理量はWNMを基準に規格化
- 次の3つの量を1とおく無次元系

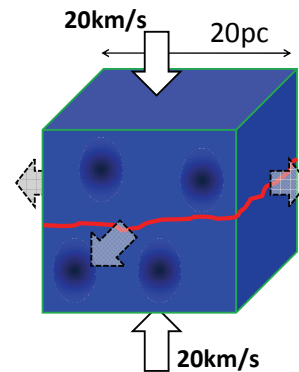
$$\begin{aligned} \rho_w &= 9.52 \times 10^{-25} [\text{g cm}^{-3}] \\ \rho_w &= 4.832 \times 10^{-13} [\text{erg cm}^{-3}] \\ l_w &= 3.086 \times 10^{18} [\text{cm}] \end{aligned}$$

### 初期条件

- z軸方向の初速3.0 (20km/s)を赤道面で衝突するように与える
- 圧力平衡
- 2.5倍程度の初期密度揺らぎ
- box size: 20pc

### 境界条件

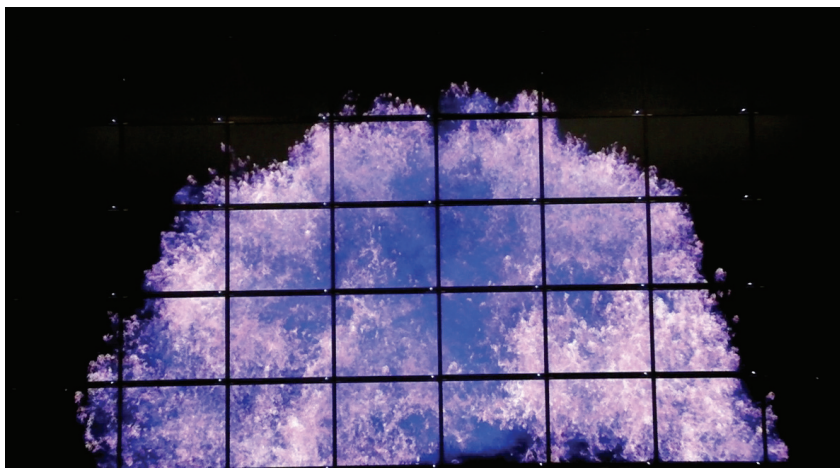
- z面: 一様媒質が強制流入(20km/s)
- xy面: 自由流出



## 課題と手法

「分子雲形成領域における2相水素ガスの乱流状態の数値シミュレーション」は、計算科学の課題としては、上記のような加熱・冷却項入りの圧縮性Euler方程式を解くことに帰着する。Euler方程式の数値積分には時間・空間2次精度のFull Godunovアルゴリズムを用いた。計算は東京工業大学TSUBAMEグリッドクラスタにおいて、120枚のNVIDIA GT200 GPU型演算器を並列的に利用して行った。シミュレーションの解像度は1440<sup>3</sup>で、この種のシミュレーションの解像度としては世界記録となる。乱流の理解にとって高い解像度を達成できたことは意義深い。また実効演算性能は11.5Tflopsであった。

### 40面タイルディスプレイによるシミュレーション結果の可視化(京都大学小山田研との共同研究)



## 先行研究との比較

先行研究	内容	解像度
Koyama & Inutsuka 2000, 2002	流体+熱伝導	2048x512
Inoue & Inutsuka 2008	MHD+熱伝導	2048 <sup>2</sup> +軸
Hennebelle & Audit 2007	流体	10000 <sup>2</sup>
Audit & Hennebelle 2009	流体	1200 <sup>3</sup>
Inoue et al. 2010	MHD+熱伝導	1024 <sup>3</sup>
今回の研究	流体	1440 <sup>3</sup>

## 発展

本研究のシミュレーションではこれまでにない大解像度を達成したことから、その出力データ量も膨大なものとなり、その解析および可視化があらたな挑戦として生じた。例えば1つのスナップショットのサイズは約60GBであり、典型的なパソコンのメモリに収まらない。そこでデータの2次元断面程度のメモリしか消費せず、かつディスクアクセスを最小限に抑えたまま、スペクトル解析や塊検出、可視化などを行うアルゴリズムを開発している。また大規模データの可視化を得意とする京都大学小山田研と共同研究を進めている。

## 将来

これから上記解析アルゴリズムを用いて、2相水素ガス乱流の物理的メカニズムを解き明かしていく。また、磁気流体コードの開発も進行させてゆきたい。