

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

# 宇宙シミュレーションに於ける 3次元可視化

千葉大学大学院  
自然科学研究科  
宮路茂樹  
Miyaji@astro.c.chiba-u.ac.jp

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

# 宇宙シミュレーションに於ける 3次元可視化の価値

スケールの問題

- 時空間スケールが日常空間と大きく異なる  
現象認識の難しさ  
一過性現象、観測時間

観測量との比較

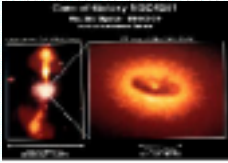
- 3次元シミュレーション  
乱流、電磁流体  
結果解析の難しさ

バーチャルリアリティー  
3次元立体視

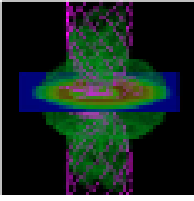
CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

# 観測現象とシミュレーション



天体ジェットの観測

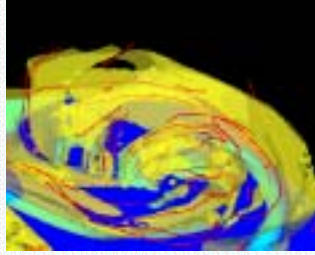


電磁流体コードによるシミュレーション

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

# 磁気ループ構造の形成



降着円盤の大局的シミュレーション  
(表面付近の磁力線と磁場強度の等値面)


磁力線の構造を簡単に理解できるだろうか？

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

# 空間尺度

Space Scale -



遠すぎるものは目視で位置関係を把握できない

↓

星々の位置関係を考えるには人間の空間尺度は小さすぎる

Earth

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

# 時間尺度

- Time Scale -

- 星の進化、銀河の回転  
数億年—数十億年
- 連星、星団の運動  
数年—数千年
- ジェット、超新星爆発、フレア  
数ミリ秒—数十年


人間の時間尺度と現象の時間尺度の乖離  
現象自体が持つ大きな時間尺度

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

## 時間尺度

- Time Scale -



天体には固有運動がある

↓

固有運動をたどれば、星団の未来や起源が見えてくる

↓

**しかし、固有運動の値は非常に小さく、時間を遡って考えるのは大変**

CHIBA UNIVERSITY UTM

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

## 仮想空間に於ける実体験

- Experience in Virtual Space -

現実世界では体験できない様な、天体の3次元構造の目視や時間を進めたり、遡ったりしながらの観察が必要

↓

空間尺度・時間尺度を自由に変えることができる4次元模型 + 立体視可視化

**仮想体験モデル**

**3次元の銀河系模型や流星観測シミュレータを仮想空間中に作成し、仮想体験。**

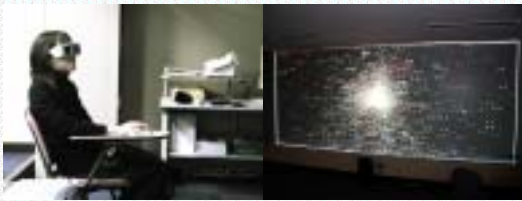
CHIBA UNIVERSITY UTM

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

## 3DシアターでのVR体験

- 3D Theater -

3次元立体視可能な教室(52人収容)を設備  
広画面で視野全体をカバー  
多人数同時体験



利用状況      スクリーン画面

CHIBA UNIVERSITY UTM

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

## Virtual Galaxy Project

機能

- ・ 立体視での表示
- ・ 視点の自由な移動と視点の位置の変化に伴うリアルタイムでの星々の光度・大きさ変化



CHIBA UNIVERSITY UTM

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

## 教育面：夜間観測、一過性の現象

### 獅子座流星群の観測

★ **天文教育の抱える問題**  
夜間観測という特有な制限があるため、学校教育として行うには困難が伴う。

★ **一過性の天体現象**  
しし座流星群の観測は、一般的によく知られ、関心も高いが、一過性の現象であり、再現性が望まれる。

**バーチャルリアリティー**  
VR技術を用いることで、立体的な再現が可能になる。本来の3次元的な天体現象が、直感的に体感でき、インタラクティブな効果も得られる。

CHIBA UNIVERSITY UTM

CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

## 獅子座流星群シミュレータ



観測位置を自由に設定  
流星の光度、大きさが変動

CHIBA UNIVERSITY UTM

CHIBA UNIVERSITY

## 宇宙シミュレーションネットラボラトリーの構築



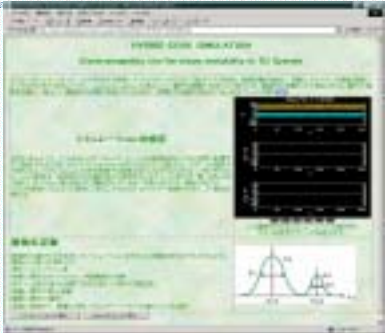
宇宙プラズマシミュレータをネット上に構築

Webによるパラメータ入力、結果の可視化

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY

## ハイブリッドコード基本課題の詳細



CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY

## 天体基本問題CANS1D 出力 (ION)

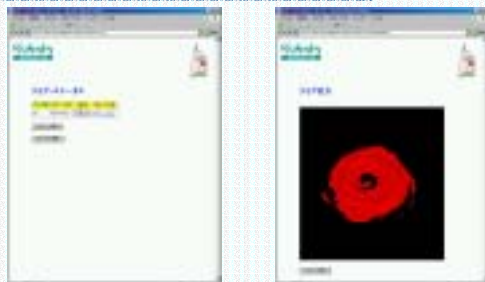


1次元衝撃波管問題  
(時間進化  
2次元表示)

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY

## ジョブステータス確認 & 出力表示



Vファイルを入力することによりAVSの財産をいかすことが可能!

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY

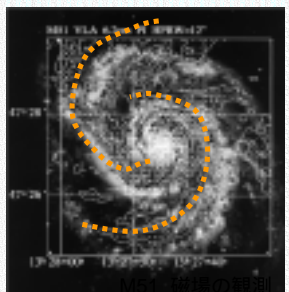
## 宇宙シミュレーションの例 (千葉大学)

- 渦巻き銀河に於ける腕構造と磁場形成の研究  
渦巻きはどのように形成されるか？  
銀河内磁場の形成と渦巻き構造への影響  
銀河中心のブラックホールの役割
- 立体視を可能とするデータを収集し、データベースの構築を目指しています。
- 3次元視のデモソフトを現在一般公開中  
URL: <http://www.astro.phys.s.chiba-u.ac.jp/~muraoka/LMS>
- 興味のある多くの方の協力をお願いしたい!

CHIBA UNIVERSITY

CHIBA UNIVERSITY

## 渦巻き銀河の腕構造と磁場の役割



様々な未解決問題

- どのように初期磁場が成長・維持されているのか？
- 磁場はなぜ渦状腕に沿っているのか？
- 中心にはBlack Holeが本当に存在するのか？

CHIBA UNIVERSITY

Initial Model

力学的平衡状態にあるガストーラスのモデル

- 重力ポテンシャル  
空間に固定した軸対称な重力ポテンシャル
- 磁場分布  
 $P_{mag} = 0.01 \cdot P_{gas}$  程度の弱い方位角方向磁場

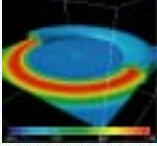
座標系

- 円柱座標  $(\varpi, \phi, z)$

計算領域

- $0 < \varpi < 56\text{kpc}, 0 < \phi < 2\pi, 0 < z < 10\text{kpc}$

24kpc x 24kpc x 24kpc



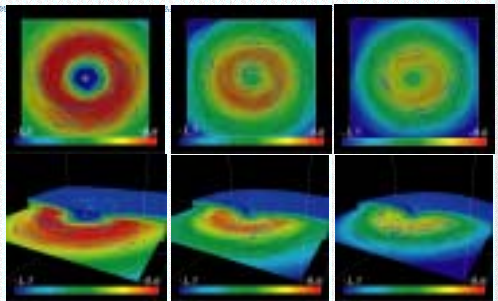
シミュレーション結果

2.8Gyr (10 rotations)    4.2Gyr (15 rotations)    5.3Gyr (19 rotations)

銀河面

鳥瞰図

24kpc x 24kpc x 24kpc



結論

磁場は増幅されていた。増幅された磁場は、銀河年齢の間、 $1 \mu\text{G}$ 程度で維持されていた。平均的にはトロイダル成分の磁場が卓越していた。

- 中心で吸収条件にしたモデルの銀河回転速度が観測結果とよく合っていた。何らかの機構で、降着ガスをなくす必要がある。
- シミュレーション結果から、dynamo の値を計算した。その値は、数十km/sのオーダーで、正負は空間的に非一様であり、空間的に一様な効果は再現できなかった。

CHIBA UNIVERSITY    ASTROPHYSICS LABORATORY

銀河団におけるコールドフロント形成の磁気流体数値実験

➤ A3667銀河団の観測とシミュレーション結果

観測結果: X線強度分布    シミュレーション結果: X線強度分布

Adaptively smoothed Chandra image of A3667  
Pasquale et al. (2002)



観測の詳細

中心部: 高密度低温ガス  
 $T \sim 4.1\text{keV}$   
 $n_e \sim 3.2 \times 10^{-3}\text{cm}^{-3}$

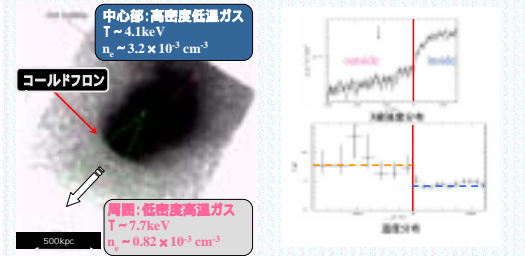
コールドフロント

500kpc

両側: 低密度高温ガス  
 $T \sim 7.7\text{keV}$   
 $n_e \sim 0.82 \times 10^{-3}\text{cm}^{-3}$

チャンドラによるA3667中心部のX線画像 (色の濃いところがX線が強い) (Vikhlinin et al. 2001)

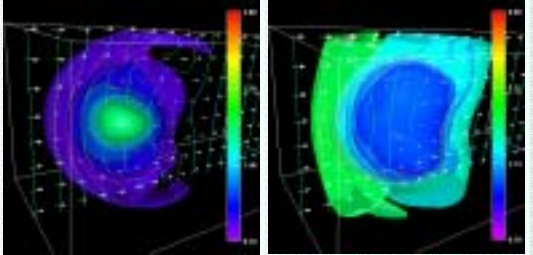
コールドフロントを横切るX線強度分布と温度分布 (Vikhlinin et al. 2001)

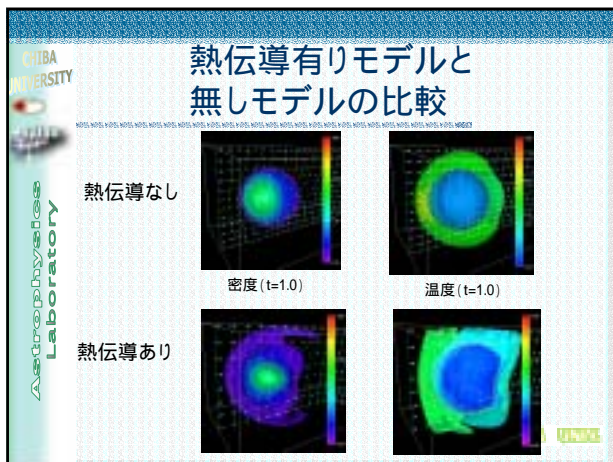


シミュレーション結果

5 Mpc x 2.5 Mpc x 2.5 Mpc

- 密度分布  $t = 1.0$  (0.3Gyr)
- 温度分布  $t = 1.0$  (0.3Gyr)





CHIBA UNIVERSITY  
Astrophysics Laboratory

## 結 論

コールドフローは磁場による熱伝導の非等方性によって維持されていた。

1. 磁場なしのモデル  
熱伝導による等方的拡散のため、サブクラスターは加熱され蒸発し、フロントを維持できない。
2. 磁場ありのモデル  
熱が磁力線に沿う方向にしか伝わらず、フロント付近では磁力線に垂直な方向の熱伝導が抑制され、フロントが維持される。

CHIBA UNIVERSITY