

# コンピューターシミュレーション で探る宇宙の謎

滝沢元和

(理学部物理学科)

2011年10月28日サイエンスセミナー

# 本日の問題

~~(いちおうちゃんと成績つけないといけないので、、、)~~

[設問0] 今日の日付、名前と学生番号

[設問1] 講義内容でもっとも興味深かったトピックについて理由とともに5行以内で記述。

[設問2] 講義内容に関連した質問

[設問3] 講義の感想

- 今日の授業の最後に提出してください。

# お品書き

- 宇宙の階層構造
  - 天文学とコンピューターシミュレーション
  - どんなコンピューターを使うのか
  - 天文シミュレーションの例（山形大学でも研究しています）
- 
- 講義中でも簡単な質問はwelcomeですのでお気軽にどうぞ。

# 宇宙の階層構造

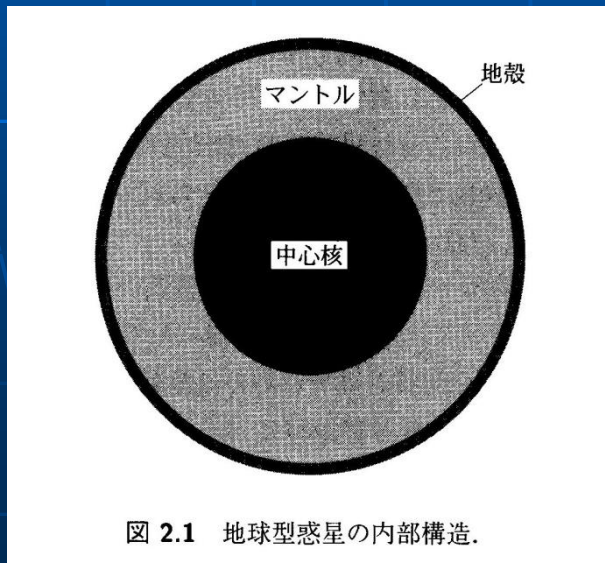
- 宇宙では物は必ずしも一様には分布していない。
- スケール毎に特徴的な構造が見られる。

## ——>宇宙の階層構造

- 小さい——>大きい  $\equiv$  近い——>遠い
- 地球からスタートしてより大きな(遠くの)構造を俯瞰してみる。

# 地球

- 質量  $5.97 \times 10^{24} \text{kg}$
- 半径 6375 km
- 中心に金属核(主に鉄とニッケル)
- そのまわりを岩石
- 表面に薄い大気(酸素、窒素、)



# 太陽系



- 太陽を中心にして、その周囲を様々な小天体が運動
- 惑星(水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星)とそれらの衛星(月など)
- 小惑星
- 彗星
- 太陽系外縁天体(冥王星など)



橈円銀河

口径50cmカセグレン式反射望遠鏡 (F12→F7.31, レデューサ使用)  
冷却CCDカメラ (MOTIC 07-16)  
露出時間: 10分×5, フィルタ: R-60, 疑似カラー処理, 画像範囲: 12.63×8.51'  
観測場所: 国立天文台 (三鷹)

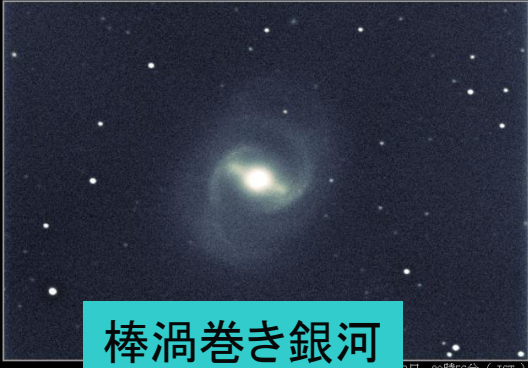
H. Fukushima and Y. Ishibashi 国立天文台 広報普及室

渦巻き銀河



M 63 (NGC 5055) Suprime-Cam (B, V, H $\alpha$ )  
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan June 22, 2000  
Copyright © 2000 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved

NGC4548 [M91?] (かみのけ座にある棒渦巻き銀河)

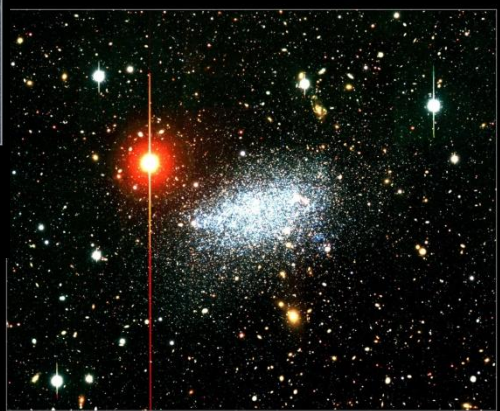


棒渦巻き銀河

M91は、メシエのカatalogの位置には存在が確認されていない。  
いくつかの候補、説があるが、NGC4548はそのうちのひとつである。

口径50cmカセグレン式反射望遠鏡 (F12), 液体窒素式冷却CCDカメラ (Astronom 32000/2)  
露出時間: 6分×6, フィルタ: 1バンド, 疑似カラー処理, 画像範囲: 12.80×8.71'

H. Fukushima and T. Sekiguchi 国立天文台 広報普及室



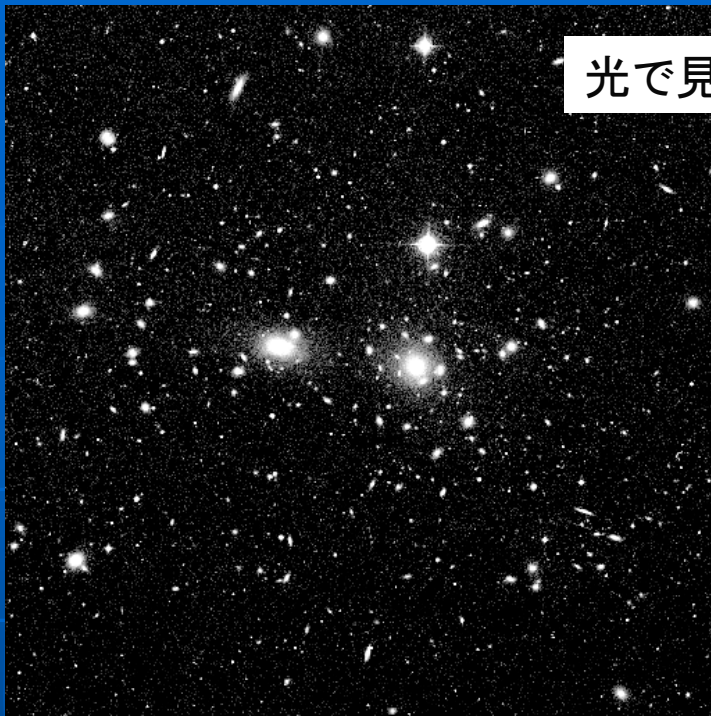
Dwarf Irregular Galaxy Leo A Suprime-Cam (B, R, z')  
Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan  
Copyright © 2004 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved

不規則銀河

# 銀河

- 太陽のような星が数千億個ぐらい集まった天体。
- 太陽系が属している銀河のことを特に「銀河系」という。
- 何種類かの特徴的な形態を持つ
  - 橈円銀河
  - 渦巻き銀河
  - 棒渦巻き銀河
  - 不規則銀河
- 恒星、ガス雲、正体不明の暗黒物質etc

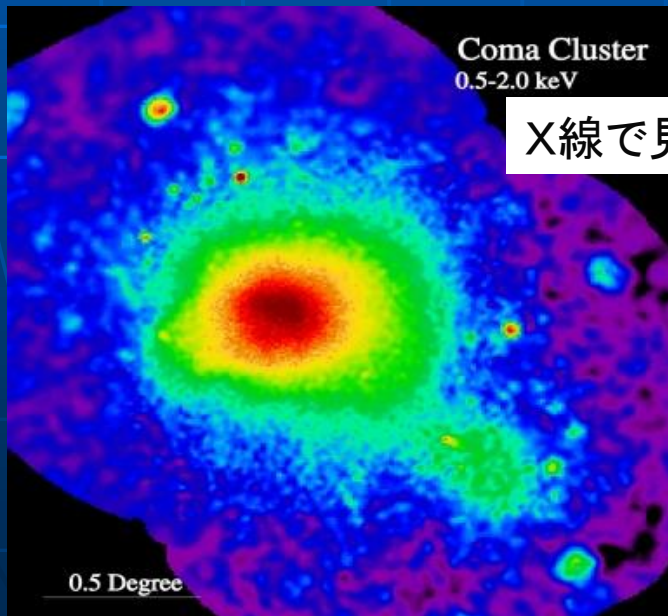
光で見た銀河団



# 銀河団

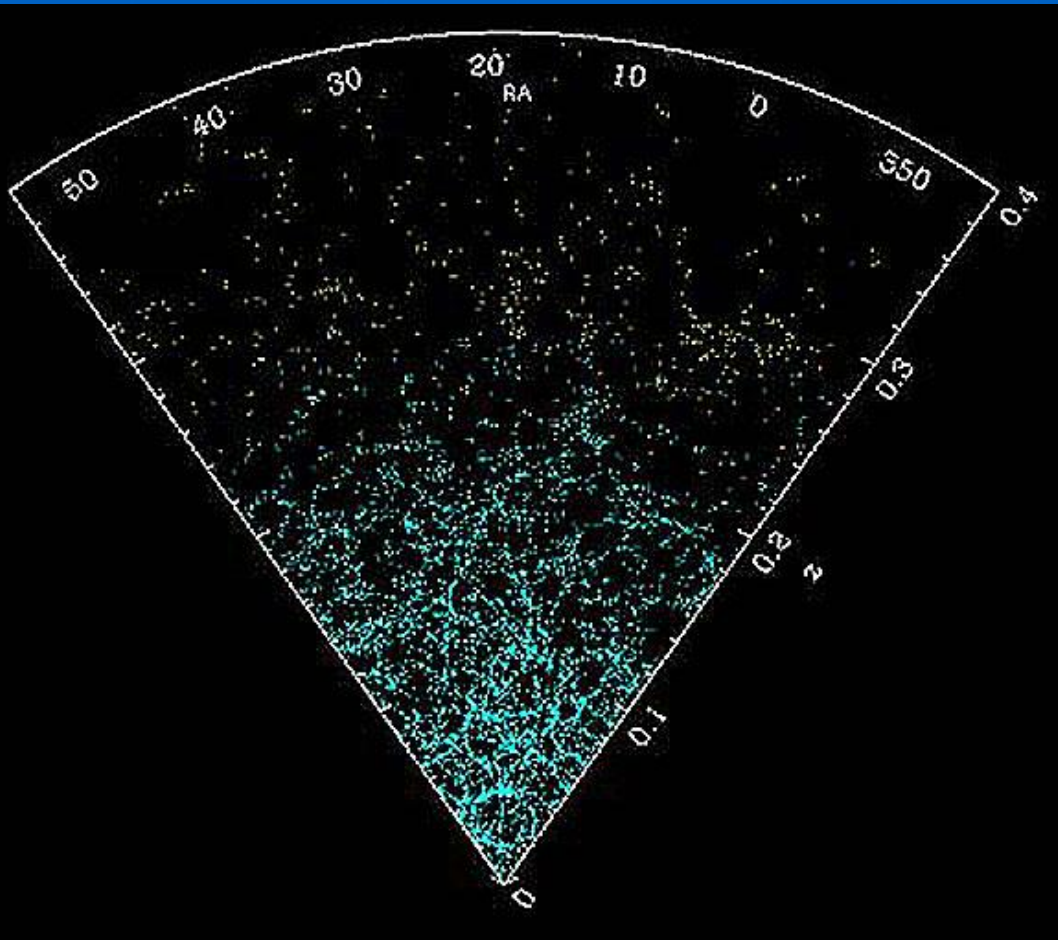
- 銀河も集団をつくっている。
- 数10—1000個程度の銀河
- 高温ガス
- 正体不明の暗黒物質

X線で見た銀河団





# 宇宙の大規模構造



- 銀河の空間分布を調べてみた。
- 宇宙の中で銀河は一様に分布しているわけではない。
- 網目状の構造

# 宇宙の階層構造：おさらい

地球



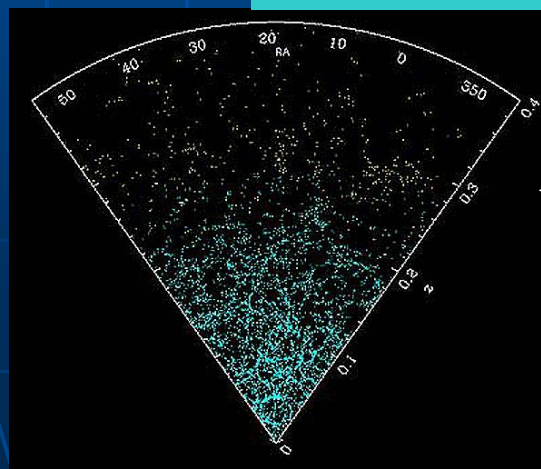
太陽系



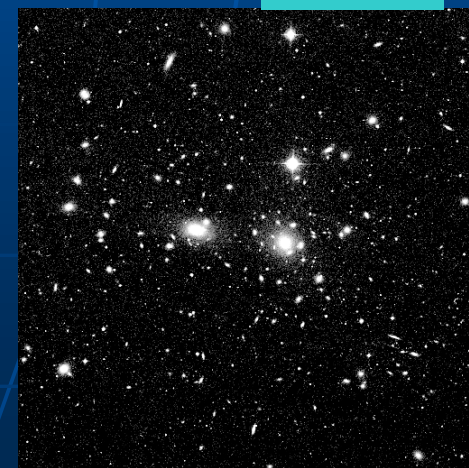
銀河



宇宙の大規模構造



銀河団



# 天文学でのコンピューターシミュレーションの重要性

- 普通は、理論(頭で考える&紙と鉛筆で計算)+観測(しっかり観察)+実験(うごかしてみる)。
- でも宇宙でおきていることを実験することは難しい(ほとんど無理)
  - 大きさ、重さ、時間のスケールが全然違う。
  - 地球上ではつくりえないような特別な状態(すごく熱い、すごく強い力、ものがほとんどない)
- けど自然界のルールは地球の上でも遠くの宇宙でもおなじ(はず)。
- ルールがわかっているならば、コンピューター上でシミュレーションをする。  
——>理論、観測に続く第3の柱

# コンピューターの進歩

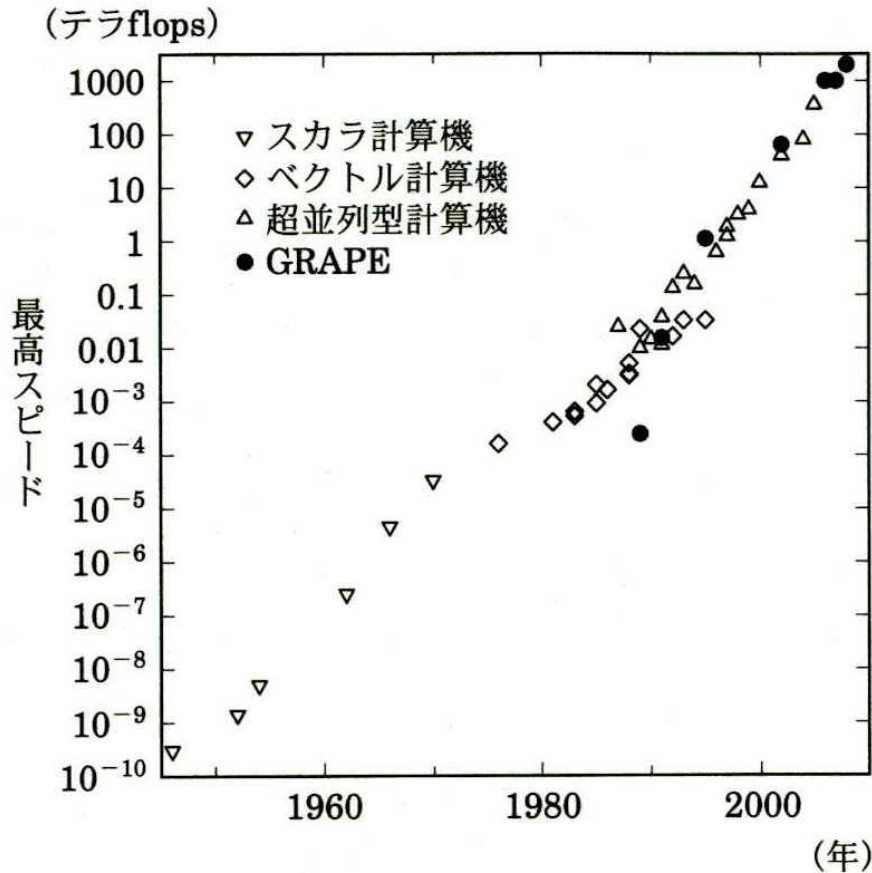


図 1.3 過去 60 年間の計算機の発達.

- 過去60年間に約10兆倍ものスピードアップ (ほぼ10年ごとに100倍)
- 幸いにして値段の上がり方はこれよりも遅い。場合によっては下がっていることも(実験装置だとうちはいかない)。
- ますます重要性は増している。

# どんなコンピューターを使うのか？

- もちろん普通のパソコンでもできますが、、より速く大規模な計算をするために、様々な種類の試みがおこなわれている。
  - 並列計算機
  - 専用計算機
  - General Purpose Graphic Processing Unit (GPGPU)



# 並列計算機



国立天文台の一般計算  
サーバー  
ほとんど手作りです。

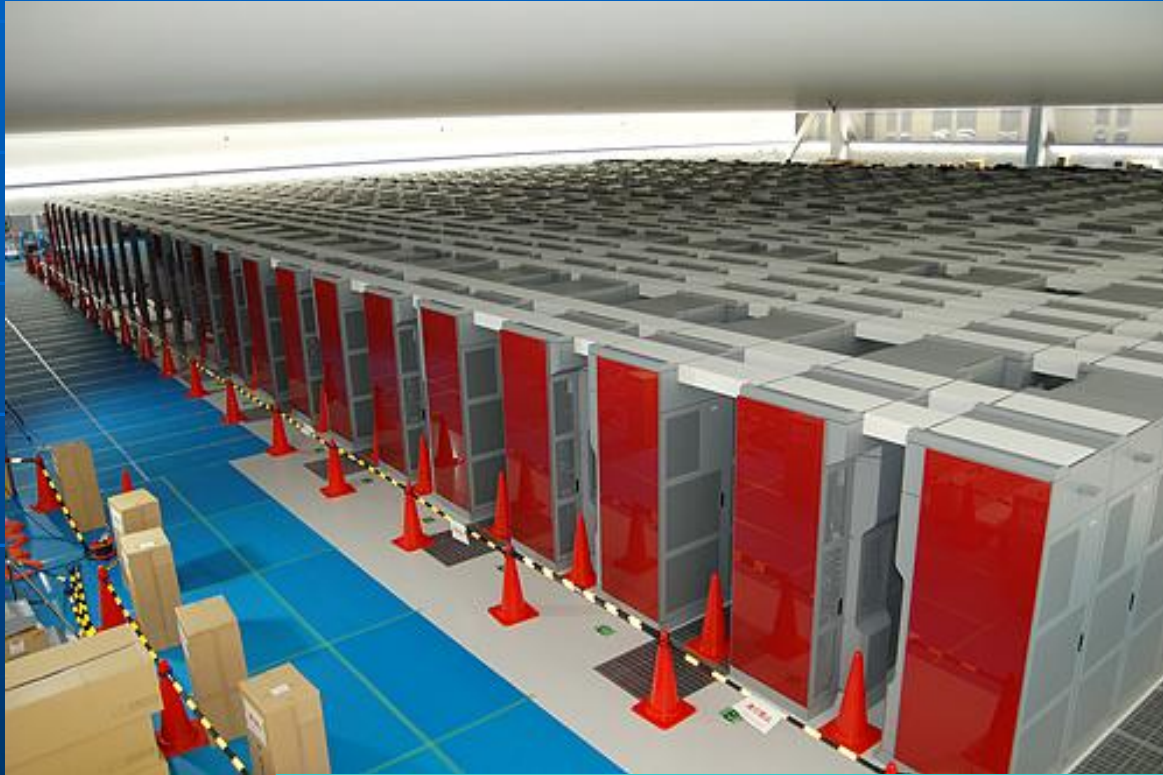


国立天文台のCray XT4

少し高級なパソコンが700台  
ぐらい集まったような物

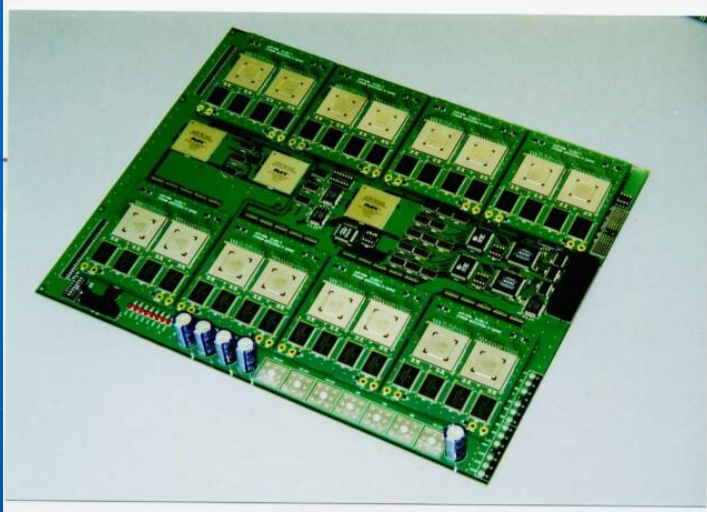
- 多数の計算機を集めて同時に分業させて計算する。
- 単体の計算機をスピードアップするだけよりも電力消費量、発熱、値段などの点で有利。
- 実は最近のパソコンも小規模ながらも並列計算機（いわゆるマルチコアCPUをもったものは同時に2-4つの計算をおこなっている）。

# 京



理化学研究所 & 富士通で開発  
2011年6月現在世界最速のコンピューター—  
これも並列計算機

# 専用計算機



- 普通のコンピューターは“汎用”（プログラムを書き換えれば何でもできる）。
- 特定の問題専用の回路をもったコンピューターを自作。
  - コストパフォーマンスは大幅に改善
  - ただし、どういう問題にも使えるというわけではない、
- GRAPE（重力多体問題専用計算機）





# GPGPU (General purpose GPU)



- Graphical Processing Unit (GPU): パソコンで画像処理を専門におこなっている部分。
- 同一の命令を多数同時におこなうような構造になっている。
- 画像処理以外のこともプログラムを組めば可能に
  - 普通のコンピュータより安い。
  - 専用機をつくるよりは簡単。
  - ただし、使いこなすのは相当難しい。
  - どんな問題にも適しているというわけではない
- 2011年はじめまでで数字の上で世界最速のコンピューターはこれを並列した物(天河1号、中国国防科技大学)



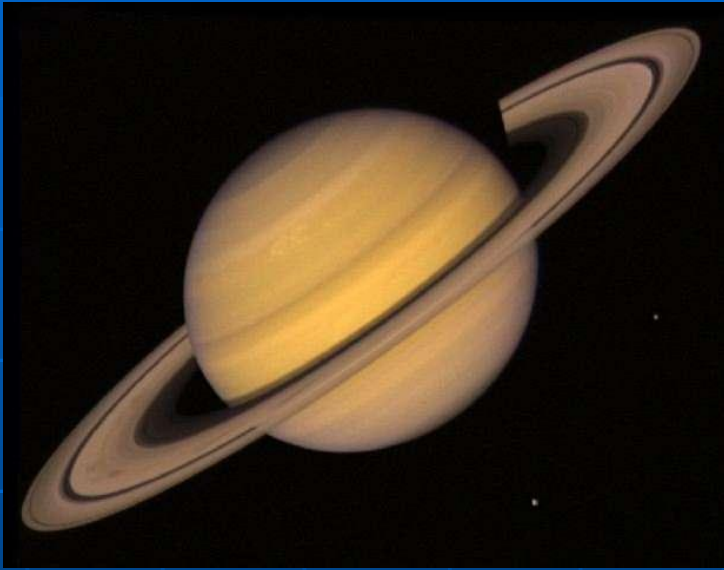
実際のシミュレーションの  
ムービーの例をいくつか見て  
みましょう

# 巨大衝突による月の形成

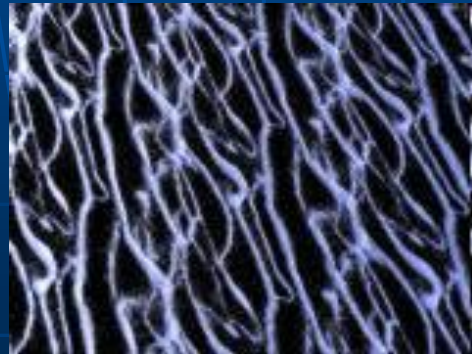


- 地球一月のペアは太陽系内でも少し特殊。惑星と比べてこんなに大きな衛星は他にない。
- 地球ができる最終段階で、巨大な衝突がおき、それが原因で月ができたという説が現在では有力。

# 土星リングの力学



- 数十cmから数m程度の小さな氷の塊が、土星の周りを周回して、それが全体として輪のように見える。
- ボイジャーやカッシーニといった惑星探査機が撮影した写真から、土星の輪は非常に複雑な構造をしていることが知られている
- 土星の輪全てを一度に計算することは現時点では困難。この計算は土星の輪のごく一部だけを切り取って計算したものです。



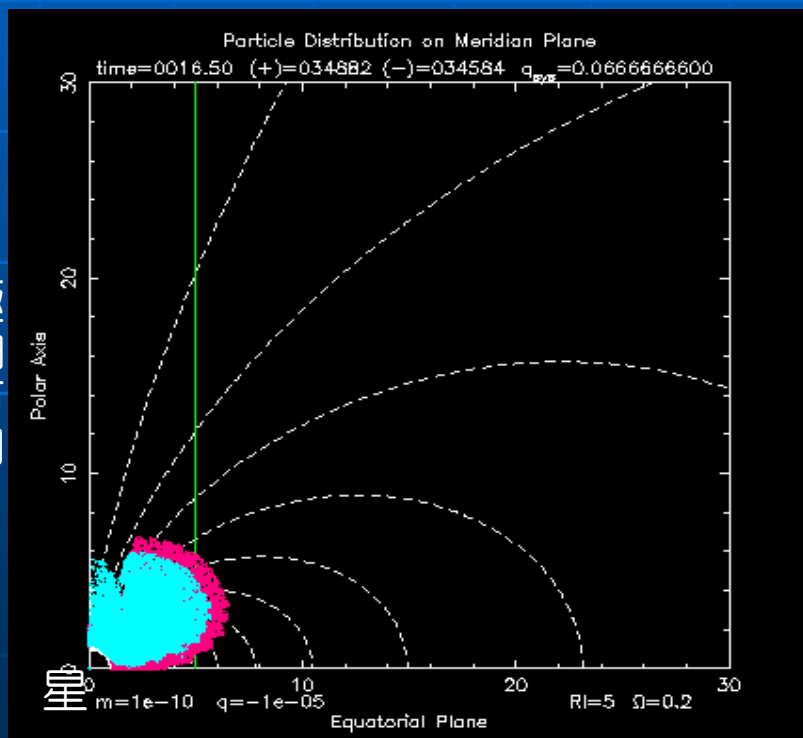
# パルサー磁気圏の粒子シミュレーション

(大学院生結城君による計算。GRAPEを使用)

## 粒子分布

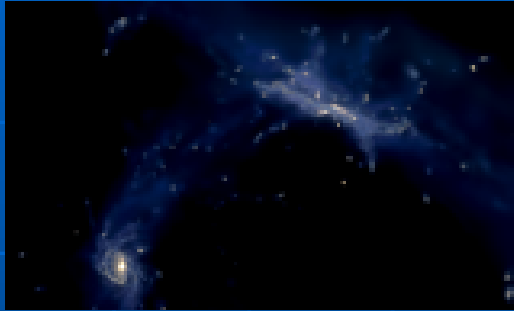
● 負電荷

● 正電荷



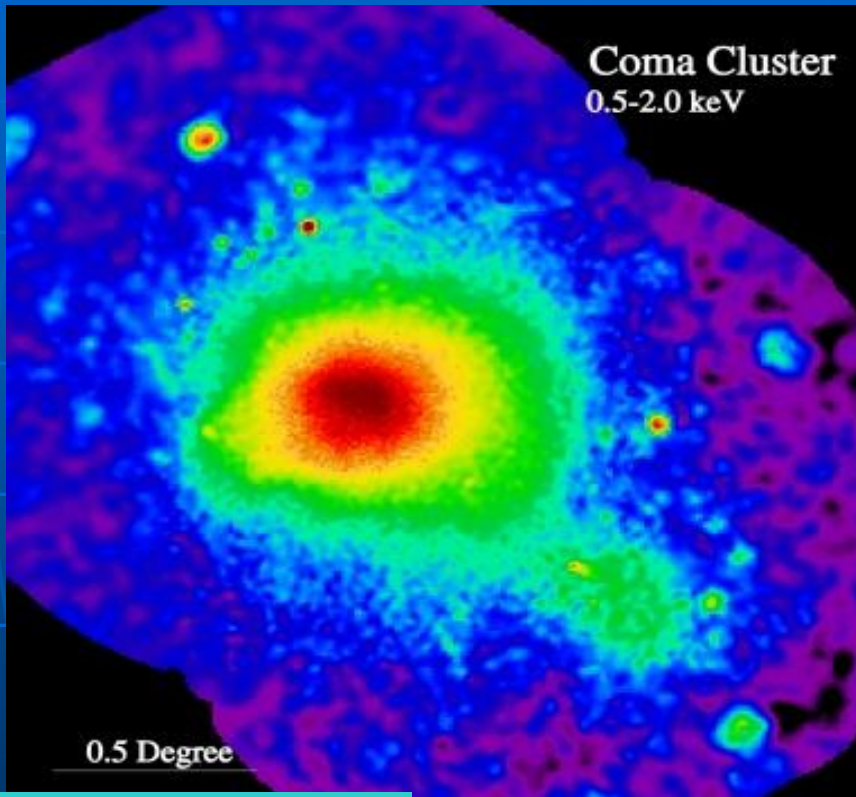
- パルサー: 強力な磁場を持って高速で自転している中性子星
- 磁石を回転 = 発電所
- 電子や陽電子が電気的な力で星から引き出されて吹き出している様子が見える

# 銀河はどうやってできたのか

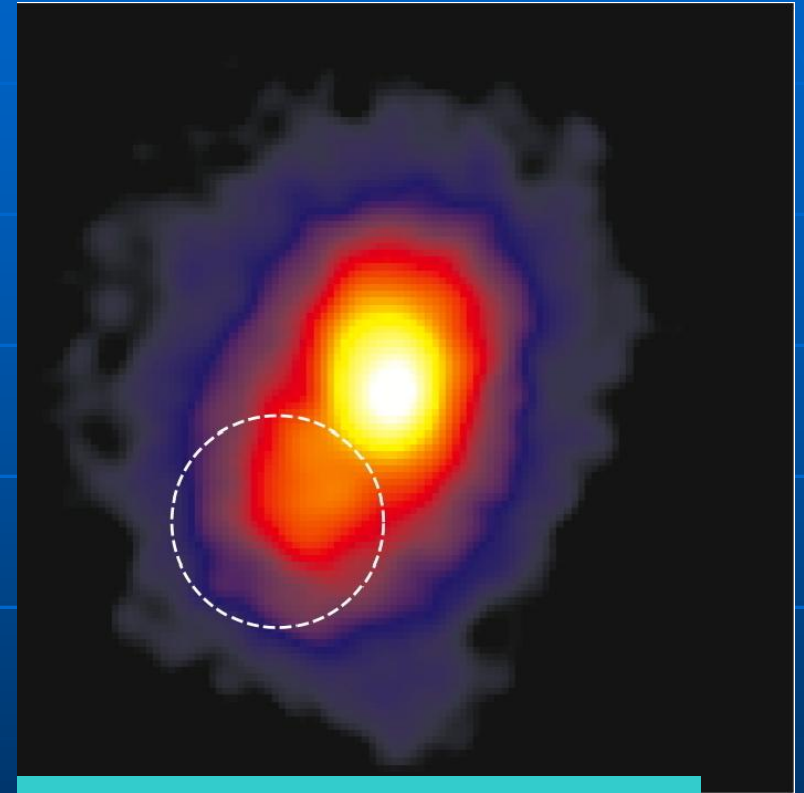


- 現在の標準的な理論では、小さな銀河が最初にでき、それらが合体しながら大きな銀河になってきたと考えられている。
- コンピューターシミュレーションのムービーをご覧ください。

# 衝突している？銀河団



かみのけ座銀河団



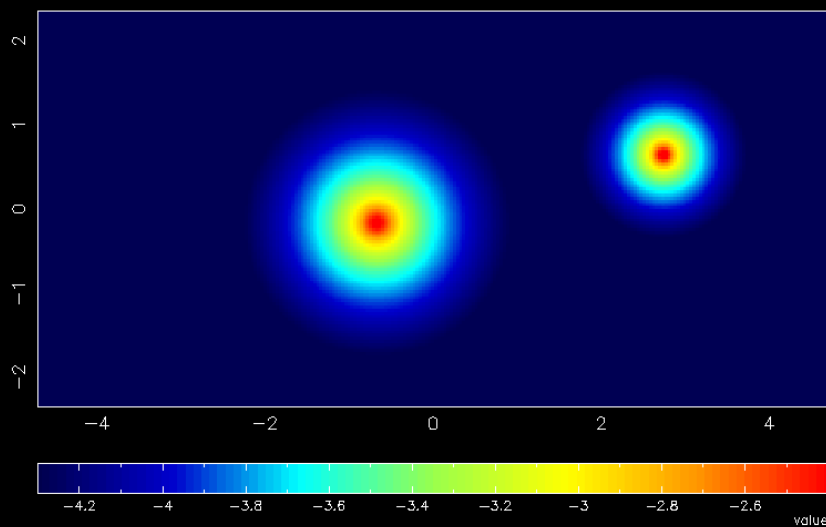
RXJ1347銀河団

点線で囲んだ部分には宇宙でも最も熱い(約3億度)ガスが見つかっている

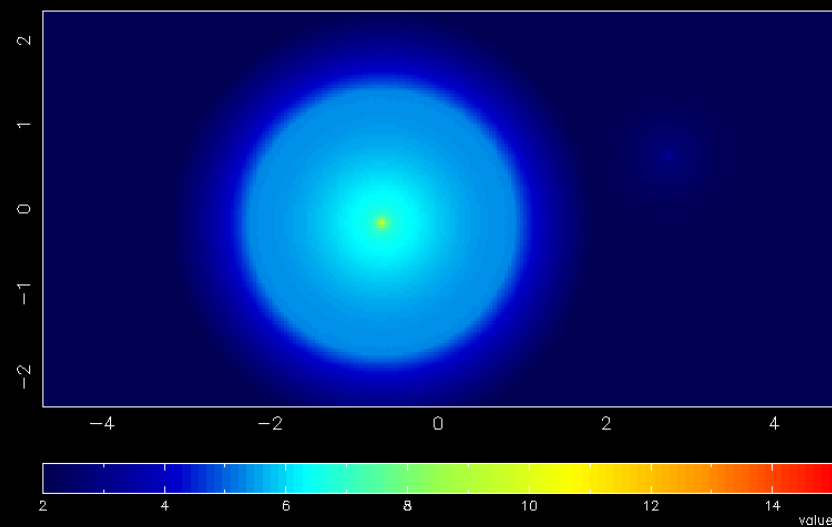
# 銀河団の衝突のシミュレーション

(滝沢による計算。並列計算機を使用)

ガス密度

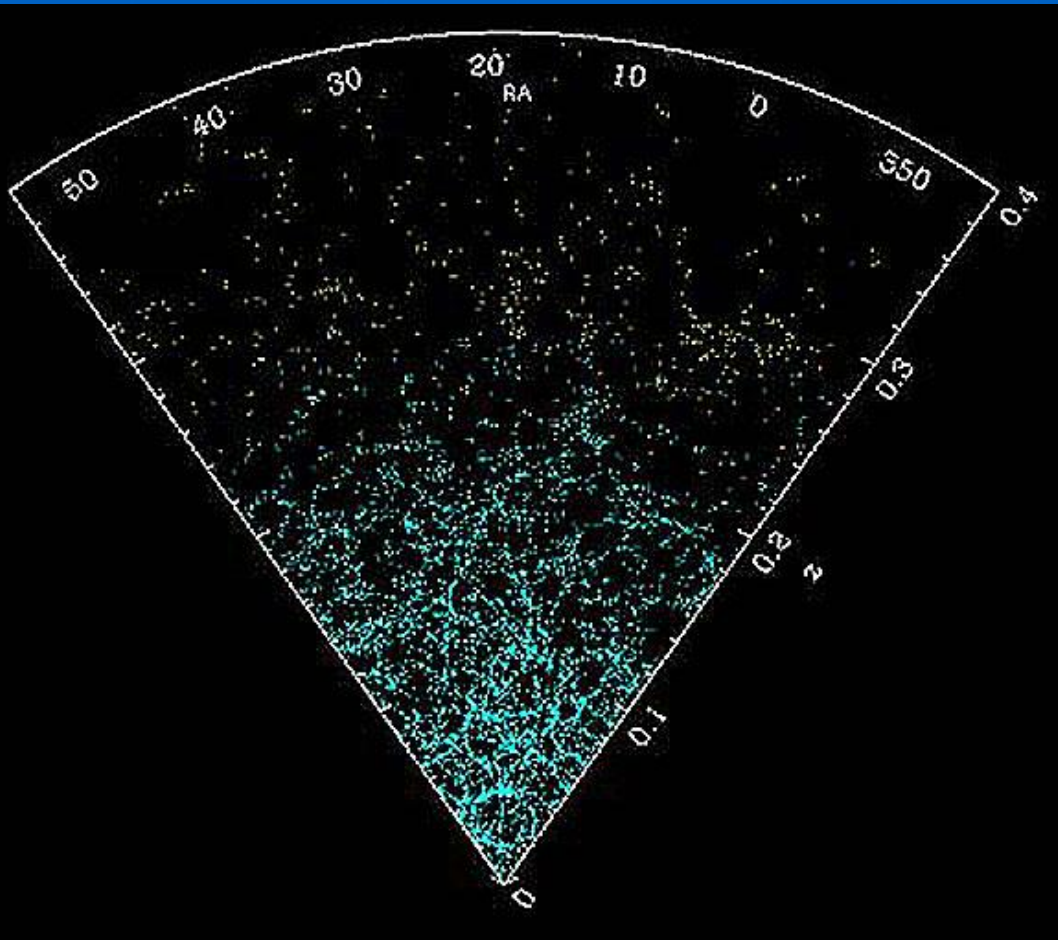


ガスの温度

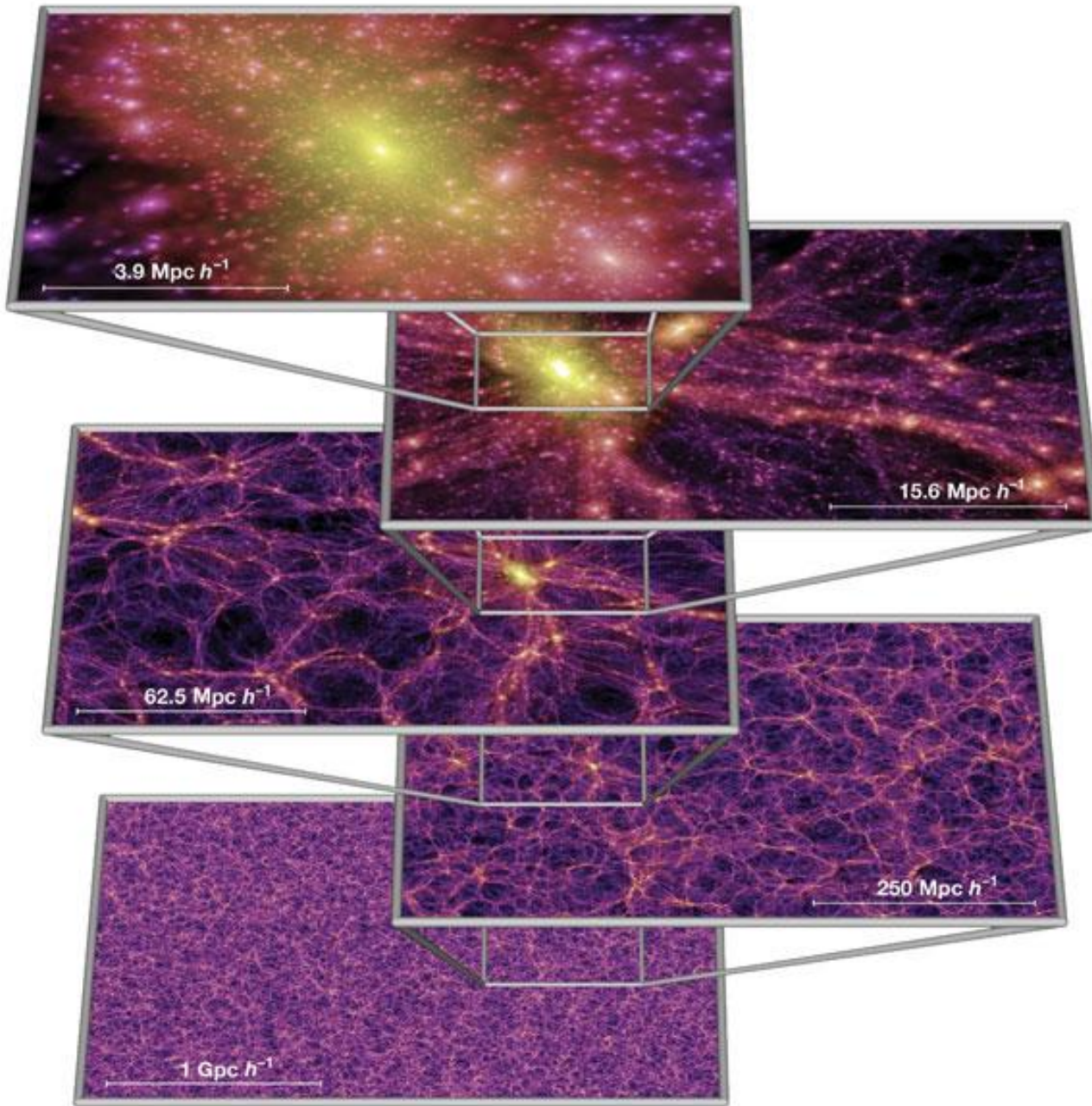




# 宇宙の大規模構造



- 銀河がどこにあるかしらべてみた(宇宙の地図作り)。
- たくさんあるところも、ほとんどないところも
- 網の目のよう。
- 何でこんなのができたの？



宇宙の大規模構造の  
コンピュータシミュレーション  
(Springel et al. 2005)

宇宙初期のわずかな密度  
揺らぎが重力で成長して  
現在のような姿になったと  
考えられている。

ムービーもご覧ください。

# まとめ

- 宇宙の階層構造
- 普通の科学では理論と実験の両方のアプローチがメイン。
- 宇宙でおきていることを地球上で実験することは非常に困難。
- 自然界のルールは宇宙でも地球でも(たぶん)同じなので、実験に代わってコンピューターシミュレーションで宇宙の謎にせまることができる。
- 山形大学でも並列計算機や専用計算機(GRAPE)を用いて、主に中性子星や銀河団のシミュレーション研究が行われている。

# 本日の問題

[設問0] 今日の日付、名前と学生番号

[設問1] 講義内容でもっとも興味深かったトピックについて理由とともに5行以内で記述。

[設問2] 講義内容に関連した質問

[設問3] 講義の感想

- 今日の授業の最後に提出してください。