

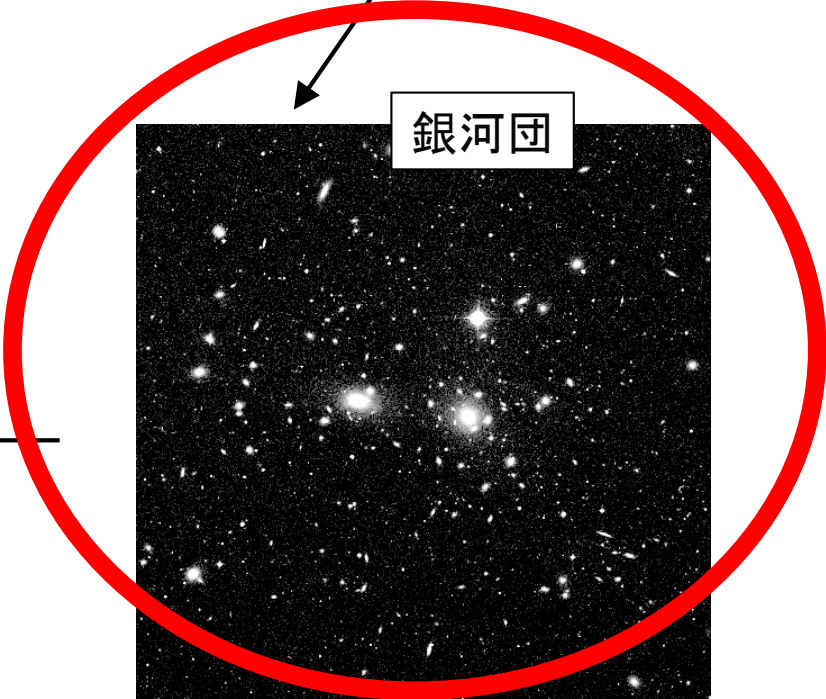
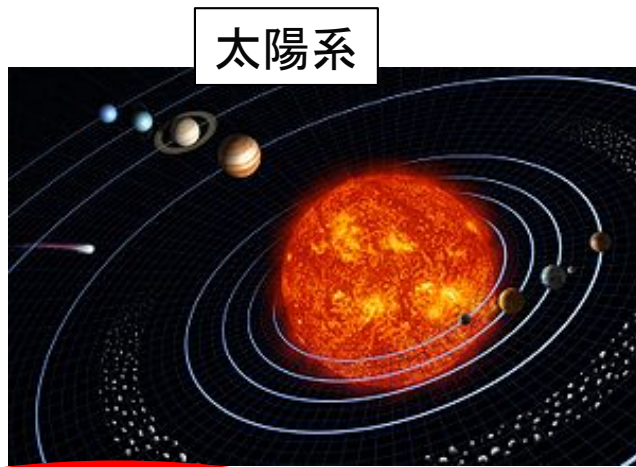
# 銀河・銀河団のかたち

山形大学理学部

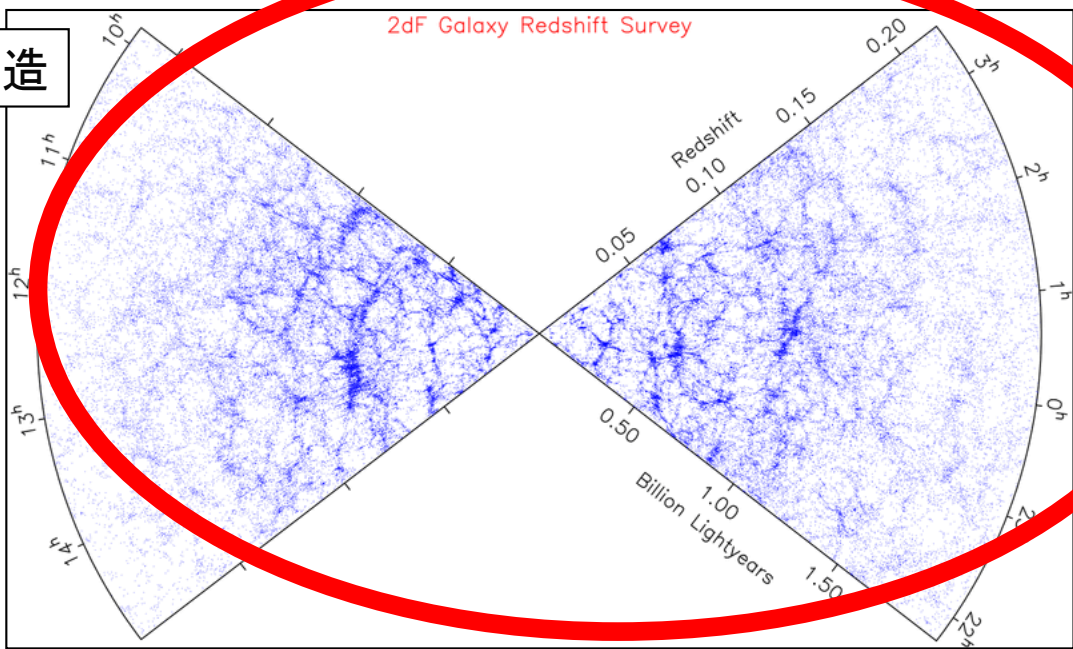
物理分野

滝沢元和

# 宇宙の階層構造

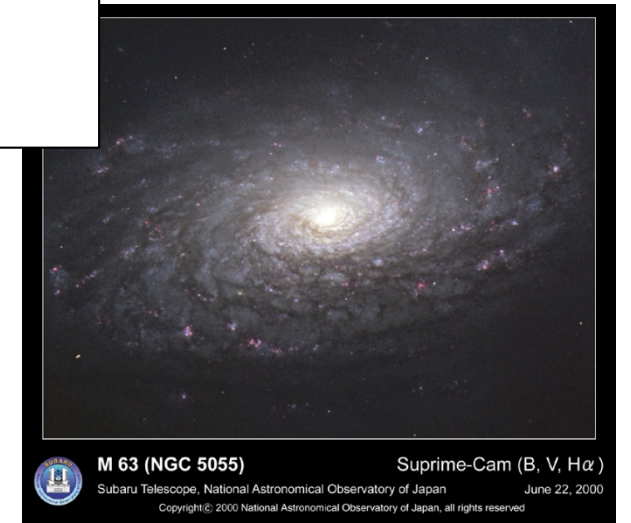


## 宇宙の大規模構造

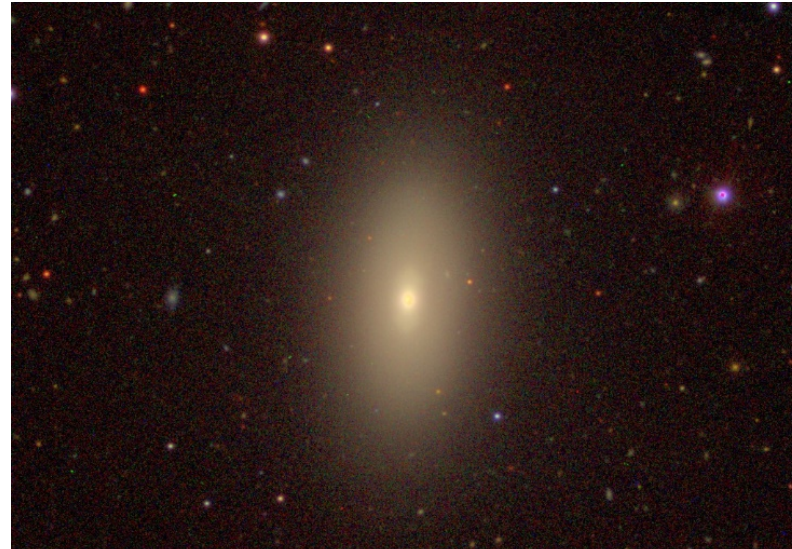


# 銀河のかたち

渦巻き銀河：  
回転運動優勢  
星形成率大



楕円銀河：  
ランダム運動優勢  
星形成率小



レンズ銀河：  
回転運動優勢  
星形成率小

楕円銀河が平べったくなった？  
渦巻き銀河から渦をなくした？



棒渦巻き銀河：  
回転運動優勢  
星形成率大  
我々の銀河系はこのタイプ

# 銀河のかたちと性質

星形成率小  
ランダム運動優勢

星形成率大  
回転運動優勢

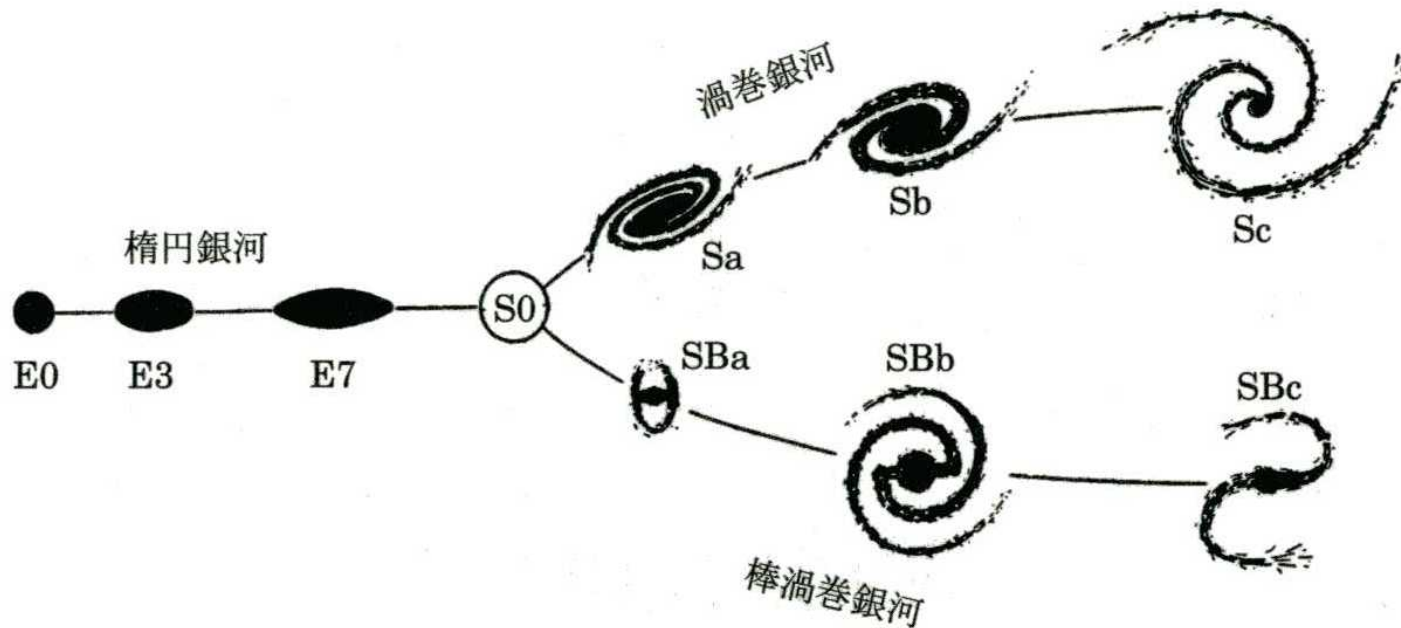
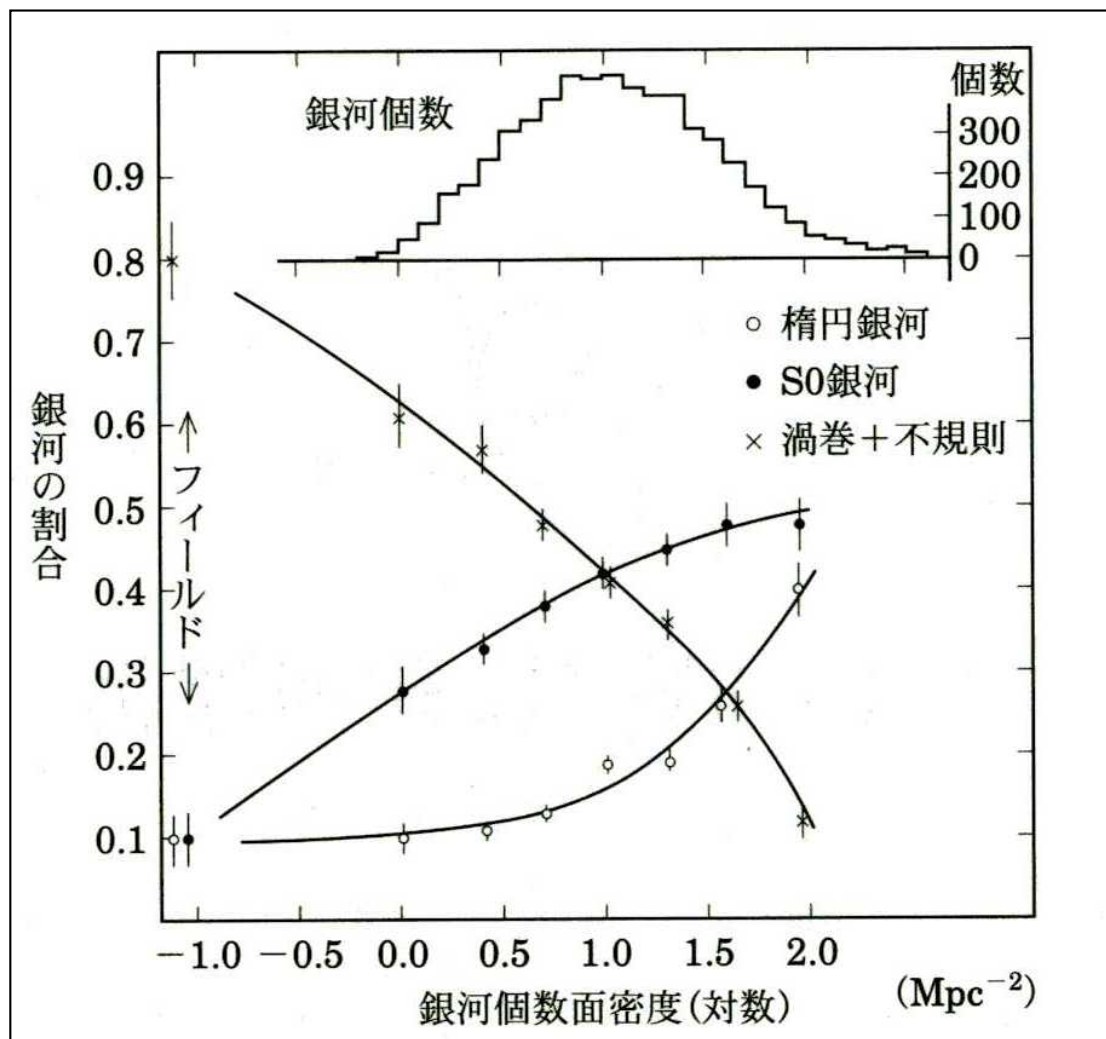


図 1.1 ハッブルによる銀河分類の音叉図 (Hubble 1936, *The Realm of the Nebulae*).

- 太陽のような恒星が数千億個ぐらい集まった天体
- 恒星、ガス雲、正体不明の暗黒物質etc
- かつては左→右に変化していくと考えられていたが、現在では否定的。
- かたちは直接的には力学状態の反映。星形成活動とも関連。

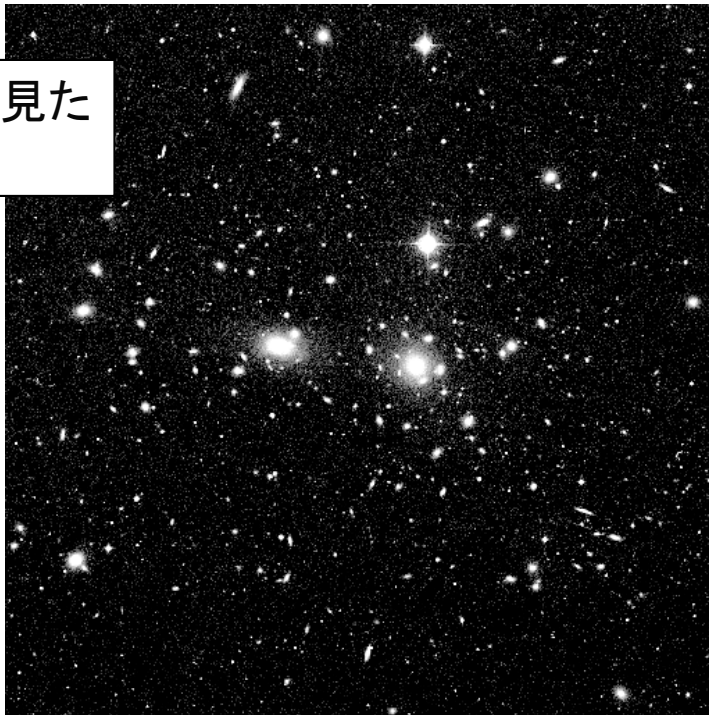
# 銀河のかたち：環境効果



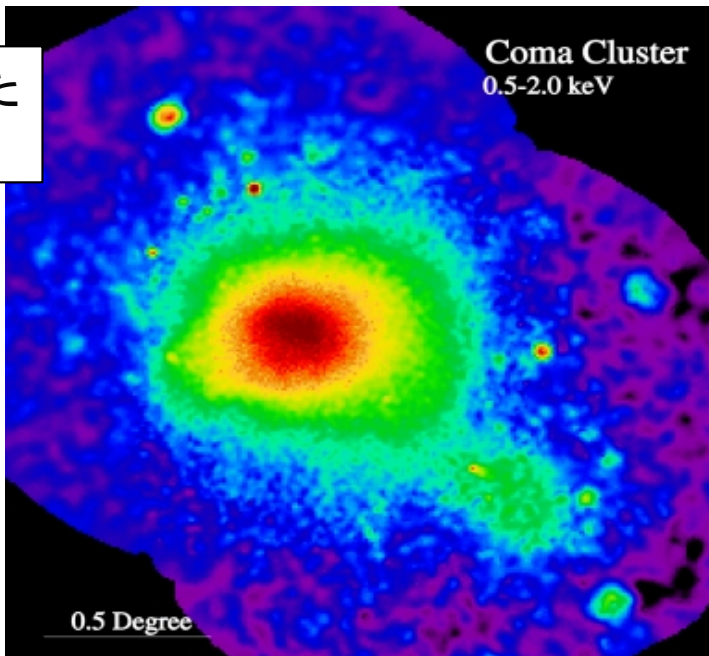
Dressler et al. (1980)改

- 楕円銀河やレンズ銀河は銀河団の中に多い。
- 渦巻き銀河は銀河団の外に多い。
- かたちは周囲の環境と相関がある（かたちの起源とも関連？）

可視光で見た  
銀河団



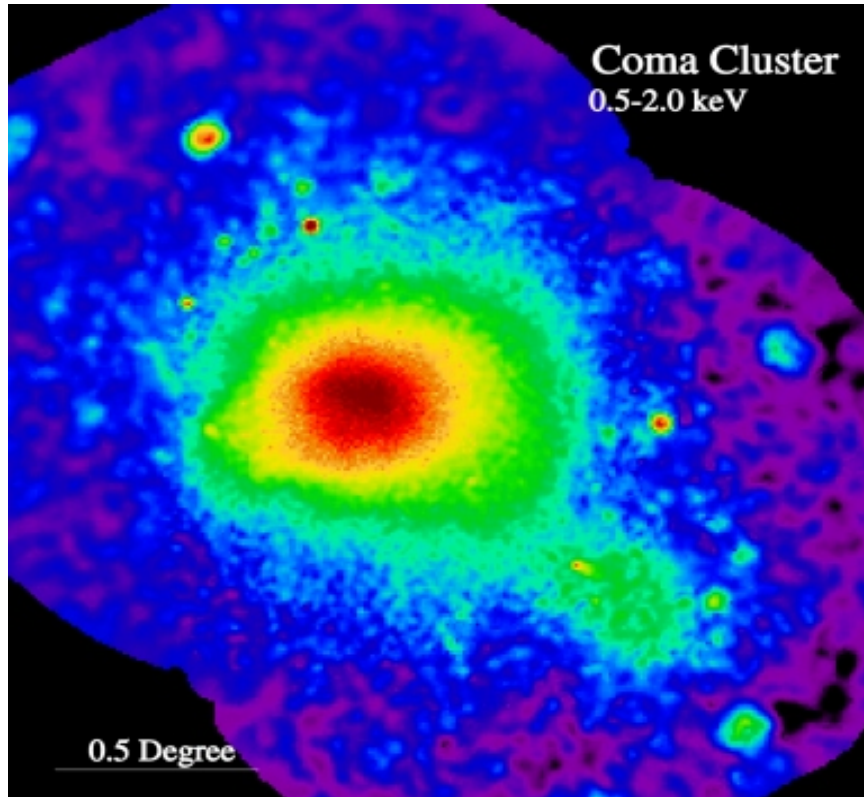
X線で見た  
銀河団



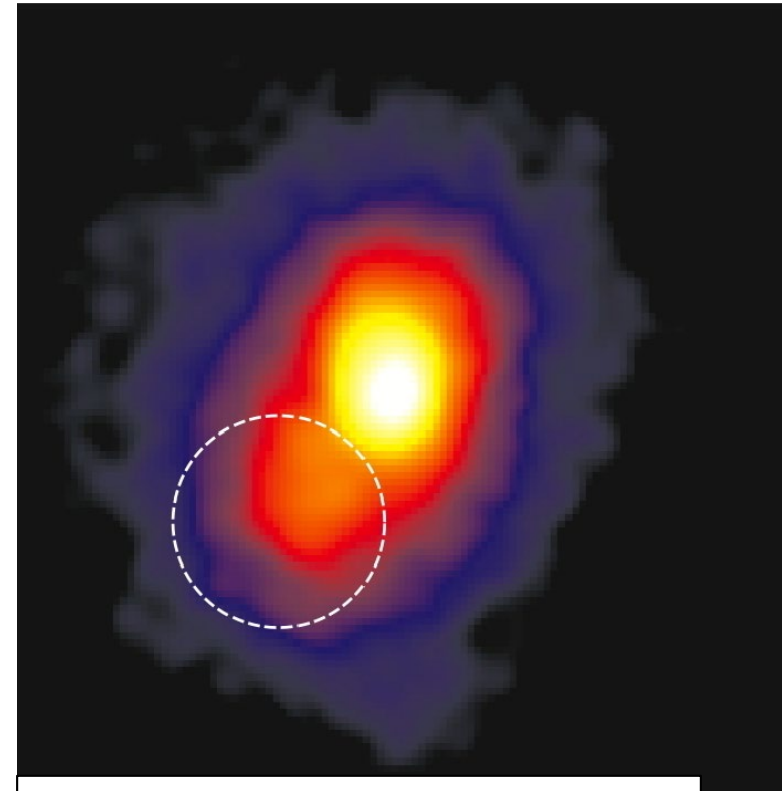
# 銀河団

- 銀河も集団をつくっている。
- 数 10 -- 1000 個程度の銀河
- 1000 万から 1 億度もの高温ガス。
  - 太陽表面で約 6000 度
  - 重い星でも 1 万度くらい
- 正体不明の暗黒物質

# 衝突している？銀河団



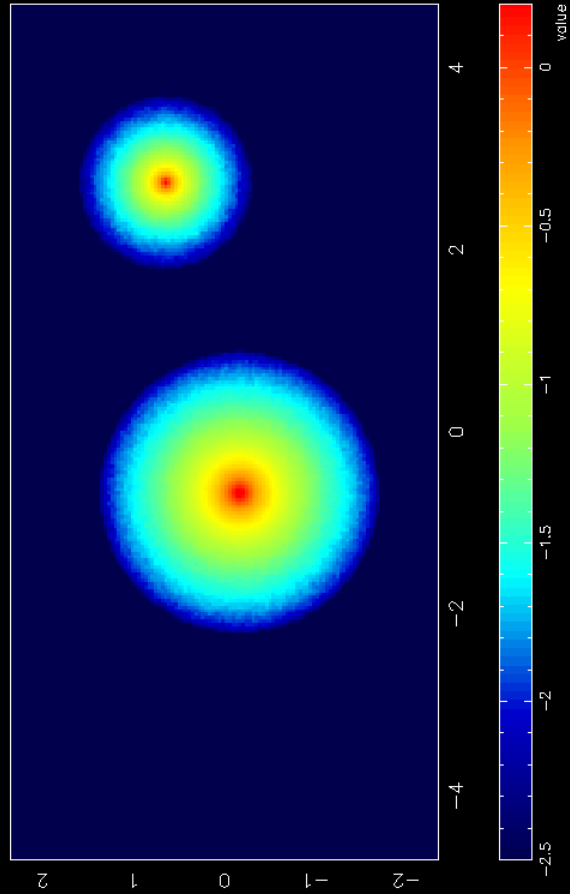
かみのけ座銀河団



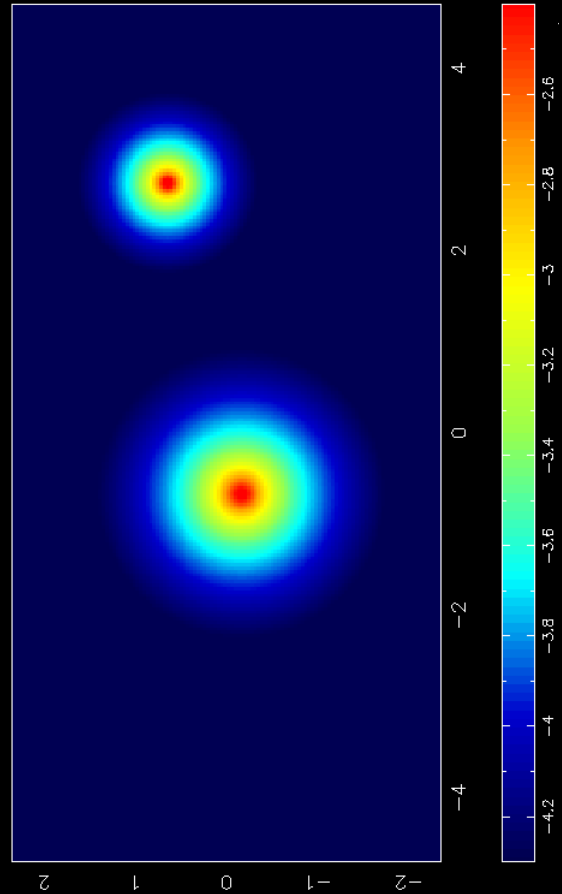
RXJ1347銀河団  
点線で囲んだ部分には宇宙でも  
最も熱い(約3億度)ガスが見つ  
かっている

# 銀河団の衝突の コンピューターシミュレーション

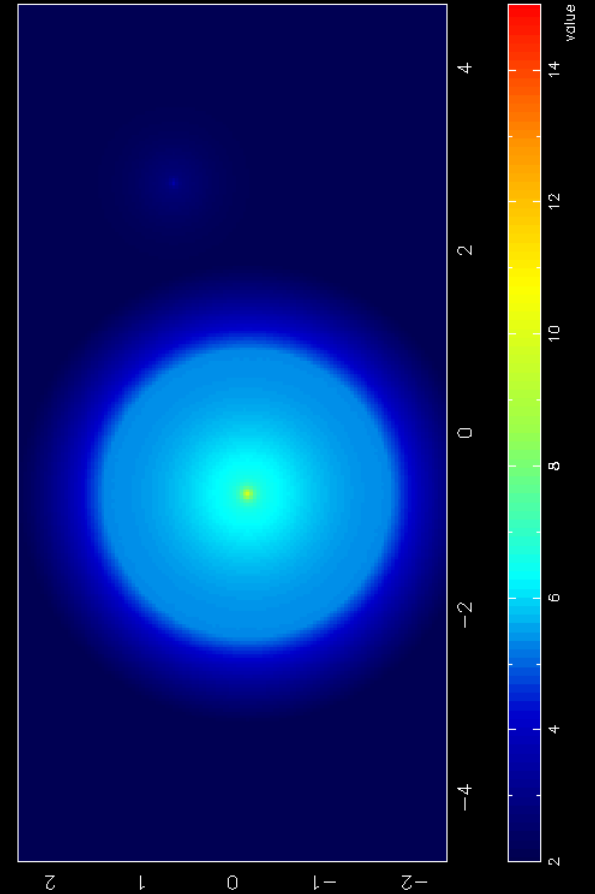
暗黒物質(ダークマター)  
面密度



ガス密度

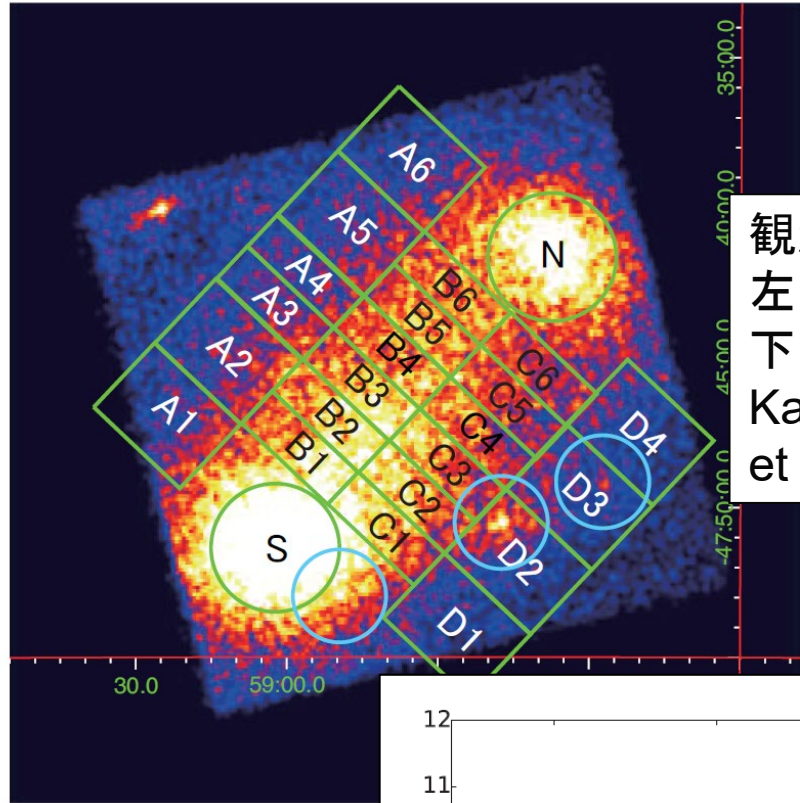


ガス温度

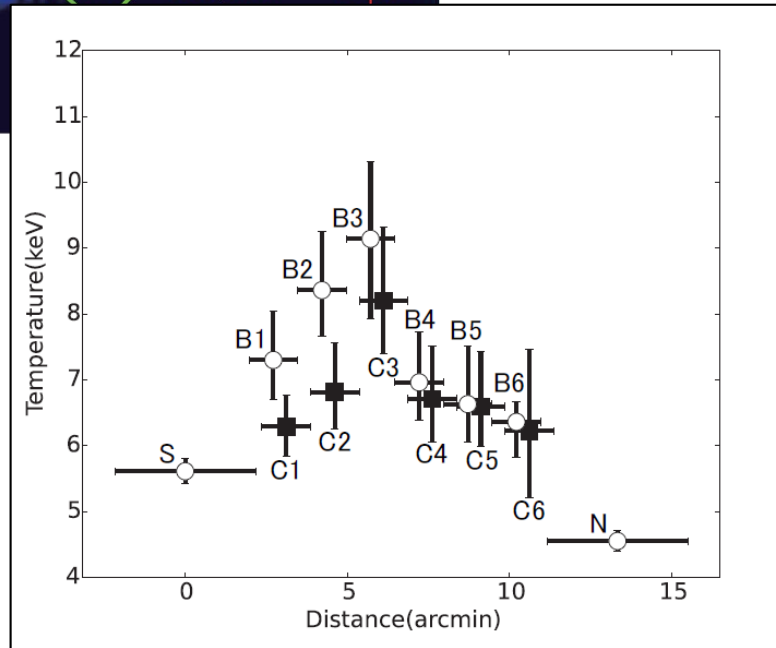




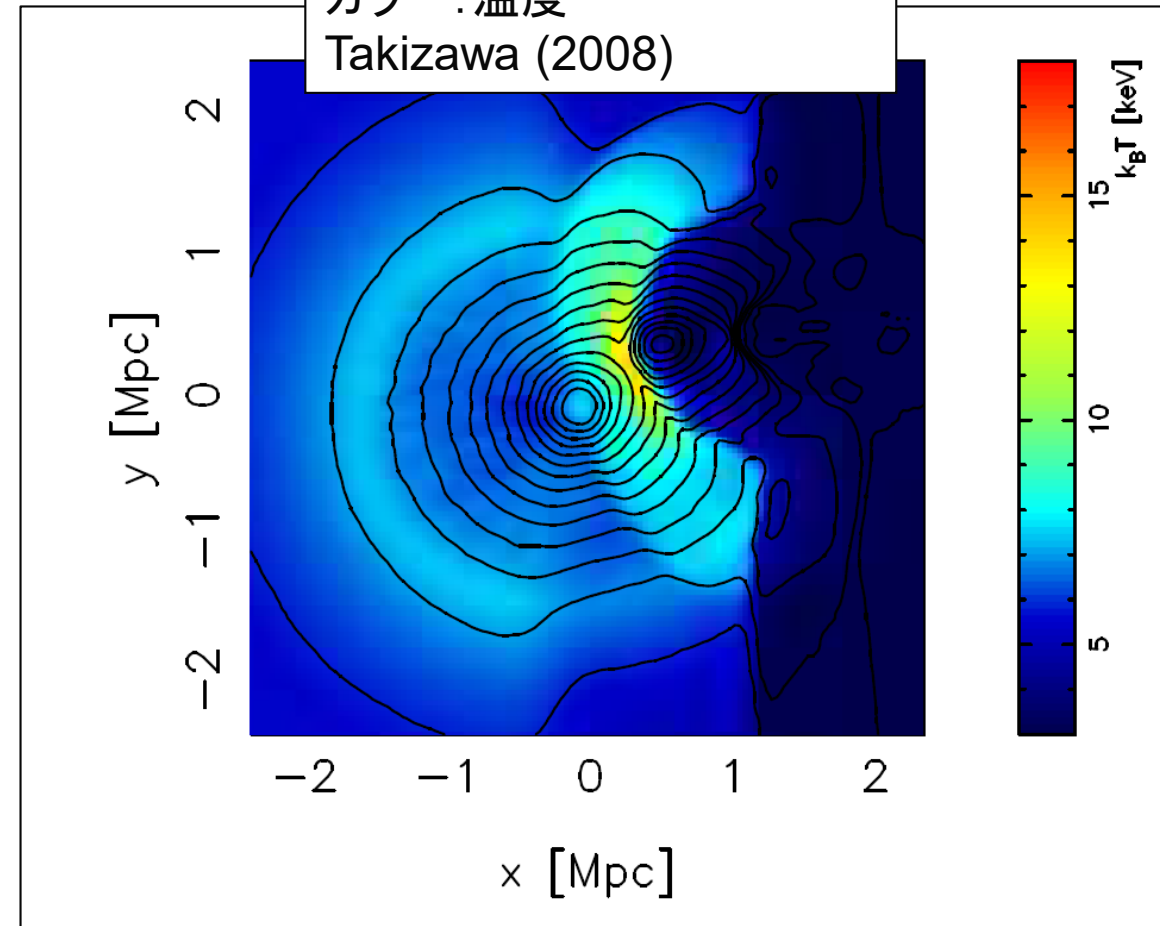
# 二つ目玉型：衝突前半の姿



観測データ  
 左: X線の明るさ  
 下: 連結部の温度  
 Kato, Takizawa, et al. (2015)



シミュレーションデータ  
 等高線: ガス密度  
 カラー: 温度  
 Takizawa (2008)



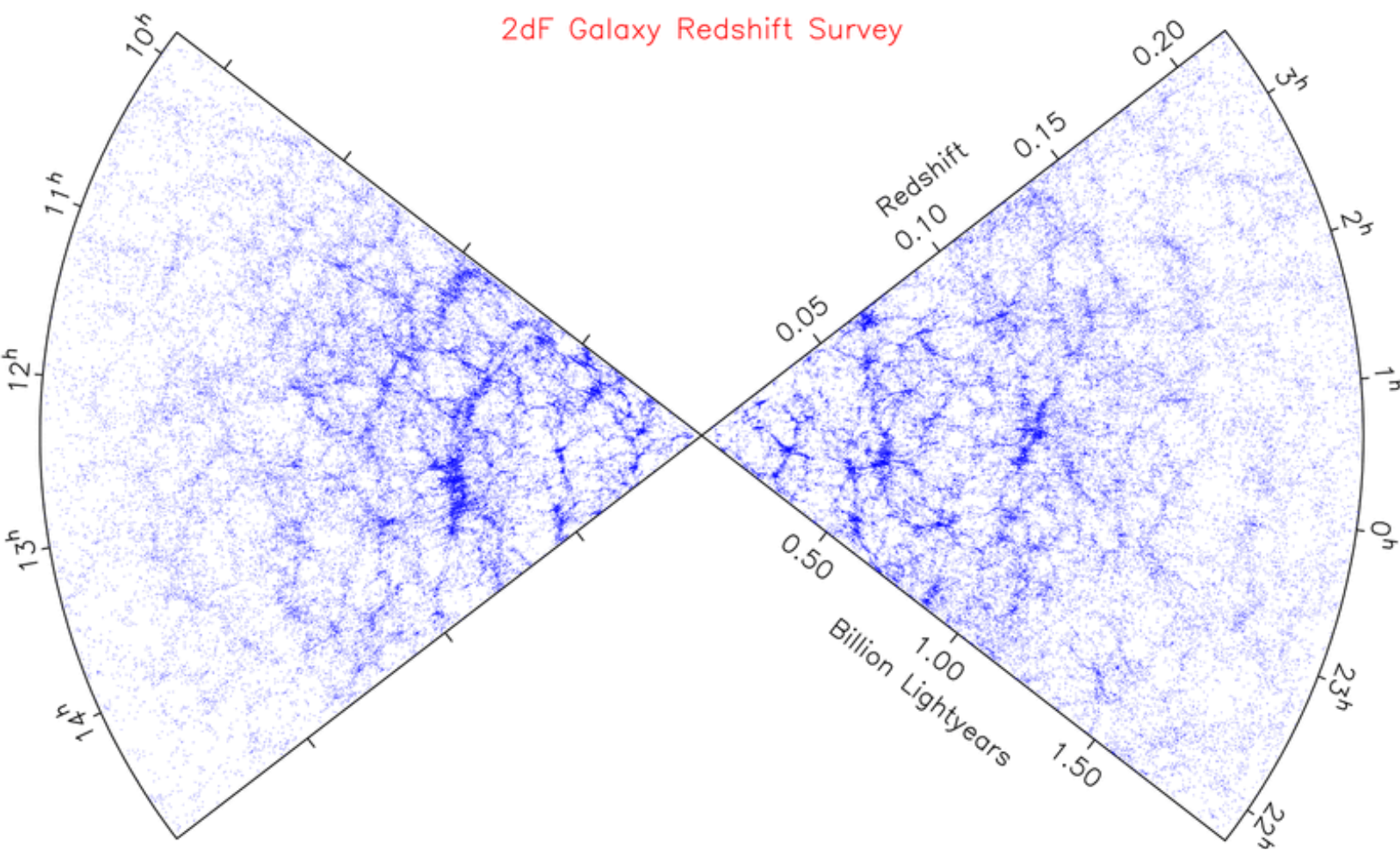
# ガスと暗黒物質でかたちが違うことも



銀河団1E 0657-56。  
高温ガス(ピンク)と  
暗黒物質の分布(青)  
Chandra衛星ホームページより

- 高温ガス（X線で光っている物質）と暗黒物質（重力レンズで測定）で分布のかたちが違う。
- 暗黒物質の直接的証拠（重力理論の修正だけでは説明困難）。
- 暗黒物質の性質の制限にも（衝突時の振る舞いの違い）。

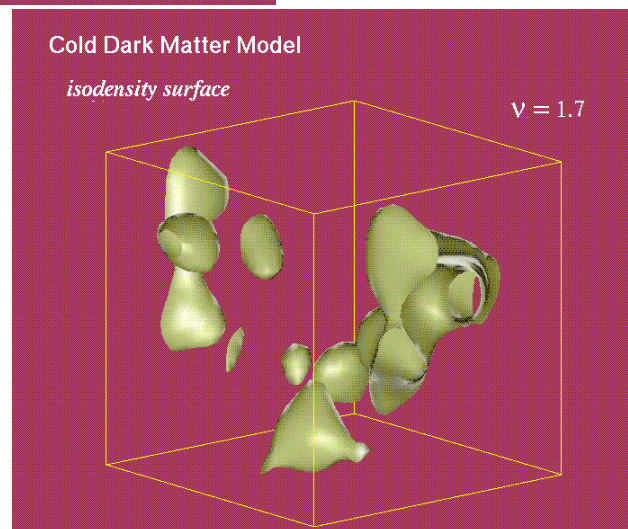
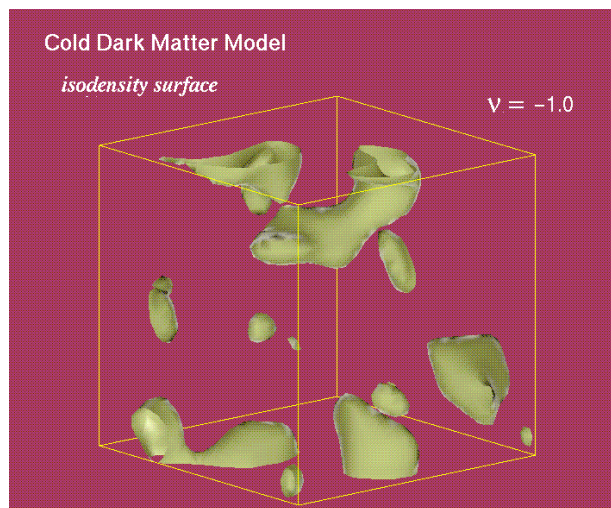
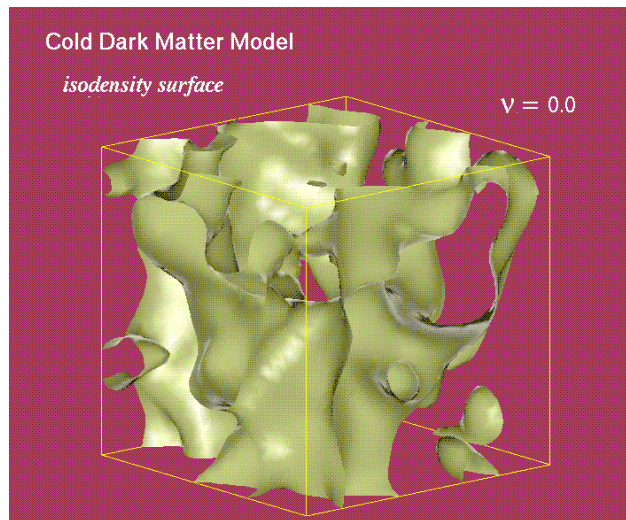
# 宇宙の大規模構造



- 宇宙の中での銀河の分布。
- フィラメント状の高密度領域+ボイド（網の目状構造）
- フィラメントの交差点に大規模銀河団
- 宇宙初期の密度ゆらぎが重力で成長。
- 「かたち」のなかに初期密度ゆらぎや宇宙の幾何学の情報がある

宇宙大規模構造の数値シミュレーションデータの  
等密度面。いくつかの初期条件で  
KEK松原さんのホームページより  
<https://tmcosmos.org/taka/figures/index-j.html>

# 宇宙の大規模構造 のかたち



- 銀河分布の統計的情報としてよく使われているのは二点相関関数（パワースペクトルと等価）。
- しかし、「かたち」を定量化するには必ずしも適さない（フーリエ成分の位相の情報がない）。
- グラフ理論の応用（Minimal Spanning Tree、constellation graph, etc）
- 等密度面のトポロジー（ジーナス統計）

“ジーナス” = “穴の数” - “孤立した面の数”

# まとめ

- 銀河はいくつかの特徴的なかたちを持つ（楕円、渦巻き、棒渦巻、レンズ）。
- 銀河のかたちによって力学状態や星形成活動が異なる。
- 銀河のかたちは周囲の環境の影響を受けているようだ。
- 銀河団のかたちで力学状態を推測できる。
- 銀河団での成分毎の分布のかたちの違いから暗黒物質の存在や性質について情報が得られる。
- 宇宙の大規模構造のかたちの定量化のためグラフ理論やジータ統計の利用が試みられている。