

宇宙最大の天体、銀河団： 暗黒物質と高温ガスのかたまり

滝沢元和

(山形大学理学部物理学科)

2008年6月21日(土)

山形大学理学部公開講座～午後のサイエンス～

お品書き

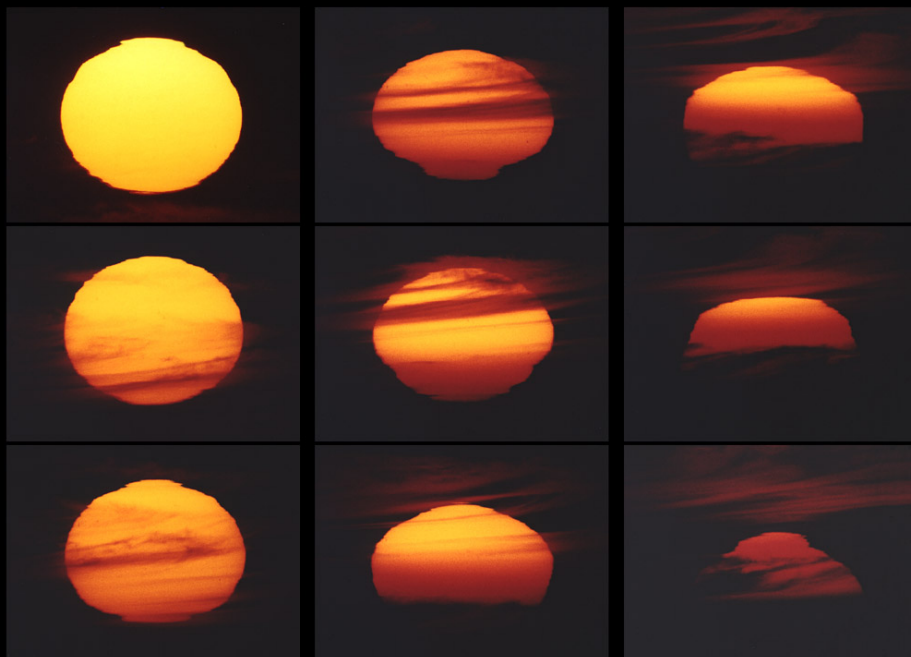
- はじめに
 - 宇宙の階層構造
 - 銀河団
- 見方をかえれば、
 - 光とX線で見えるものが違う
 - DVD「X線で輝く灼熱の宇宙」鑑賞
- 正体不明の暗黒物質
- 重力レンズ：光が曲がる！！
 - 「重力レンズ」レンズでお試ください。
- まとめ

宇宙の階層構造：最初は星から

太陽

沈みゆく太陽の変形

Transformations of the sun in the sunset



口径6 cm屈折望遠鏡 (f=1000mm), 35mm判一眼レフカメラ (アサヒペンタックス SP), フィルム: アガファ R-100, 撮影場所: 乗鞍岳

H. Fukushima

国立天文台 天文情報公開センター 広報普及室

M45 (おうし座にある散開星団/すばる/プレアデス星団)



1997年 9月10日, 27時33分 (JST)

焦点距離300mm望遠レンズ (タムロン300mm F2.8 LD/絞りF5.6), 冷却CCDカメラ (MUTOH CF-16)
露出時間: 赤15秒×7, 緑45秒×8, 青30秒×8, フィルタ: R-60, G-533, B-460, 3色分解撮像カラー合成画像
画像範囲: 2.62×1.74, 観測場所: 乗鞍コロナ観測所

H. Fukushima

国立天文台 広報普及室

プレアデス星団
(すばる)

宇宙の階層構造：星から銀河へ

- 銀河：星が1000億個程度集まったもの、（他に星間ガスなどを含む）
- 大きさはおよそ1000万光年

例：銀河系（天の川）、アンドロメダ星雲など。



M 63 (NGC 5055)

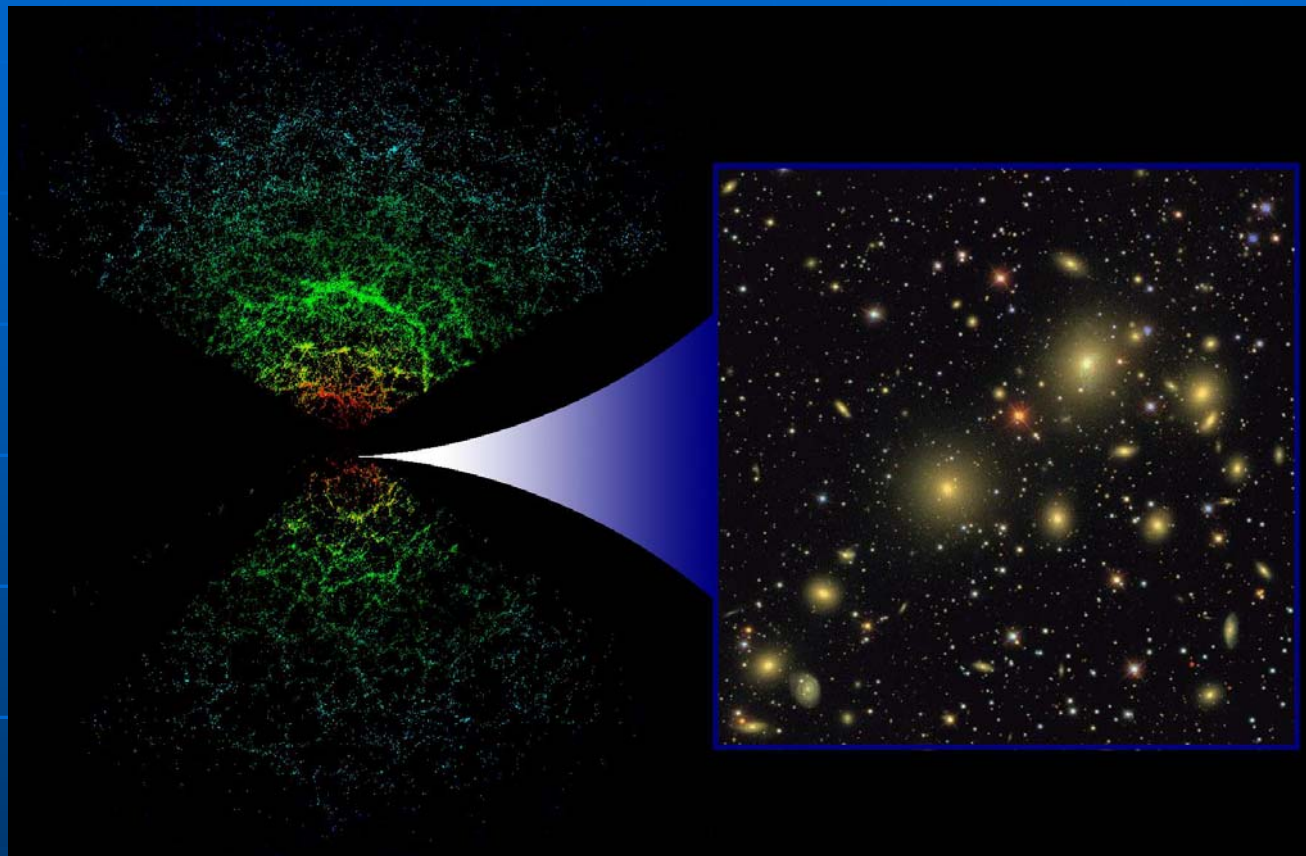
Suprime-Cam (B, V, H α)

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

June 22, 2000

Copyright© 2000 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved

宇宙の階層構造：銀河はたくさんある。



- 銀河の地図
- 細かい点の一個一個が天の川と同じ銀河です。
- 銀河(点)がたくさん集まっているところが銀河団です。
- 銀河(点)が壁のようにあつまっていたり、ほとんどないところもあります

銀河団とは？ : 銀河がたくさん集まったところが銀河団だ



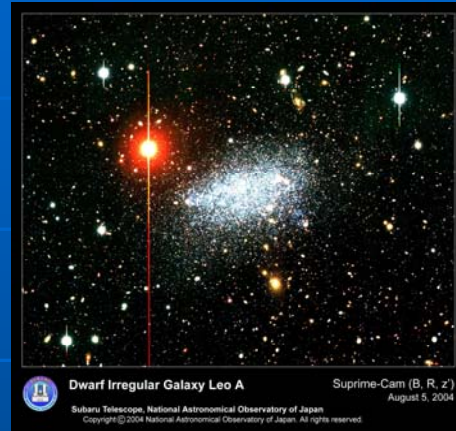
- 数100から1000個程度の銀河が100万年程度の範囲に集中。
- 例：乙女座銀河団、髪の毛座銀河団など、

宇宙の階層構造 (おさらい)

太陽

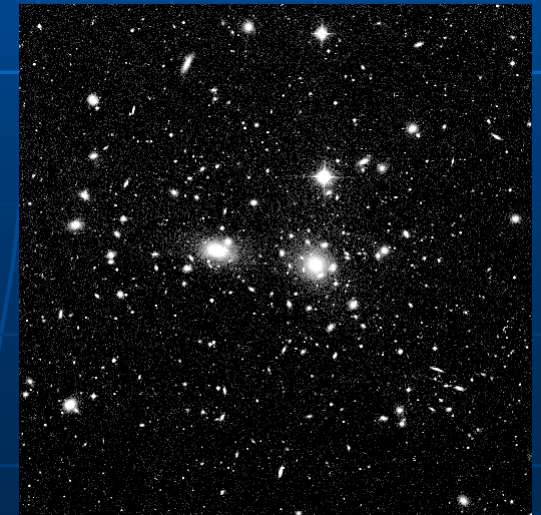


プレアデス星団
(すばる)



銀河:
太陽のような星が数千億個
ぐらい集まった集団

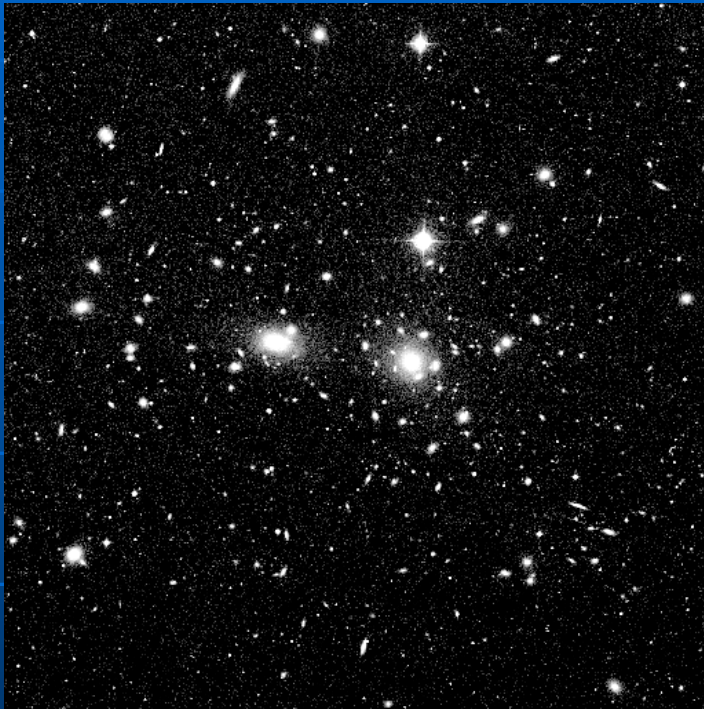
銀河団:
銀河が数10から数
100個集まった集
団



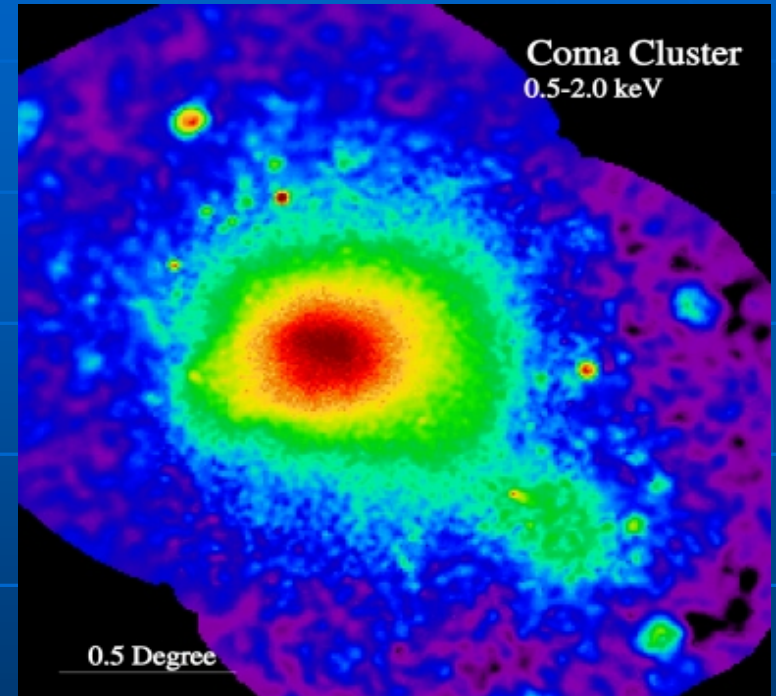
銀河団には銀河しかないのか？ 失われた質量(重さ)の問題

- 銀河団の重さ(銀河の運動からはかる。)
-----> およそ銀河数万個分
- 実際に銀河団にある銀河の個数
-----> せいぜい1000個程度
- あわない
-----> 何か銀河以外のものが、銀河の10倍以上あるのでは？

見方をかえると、、、



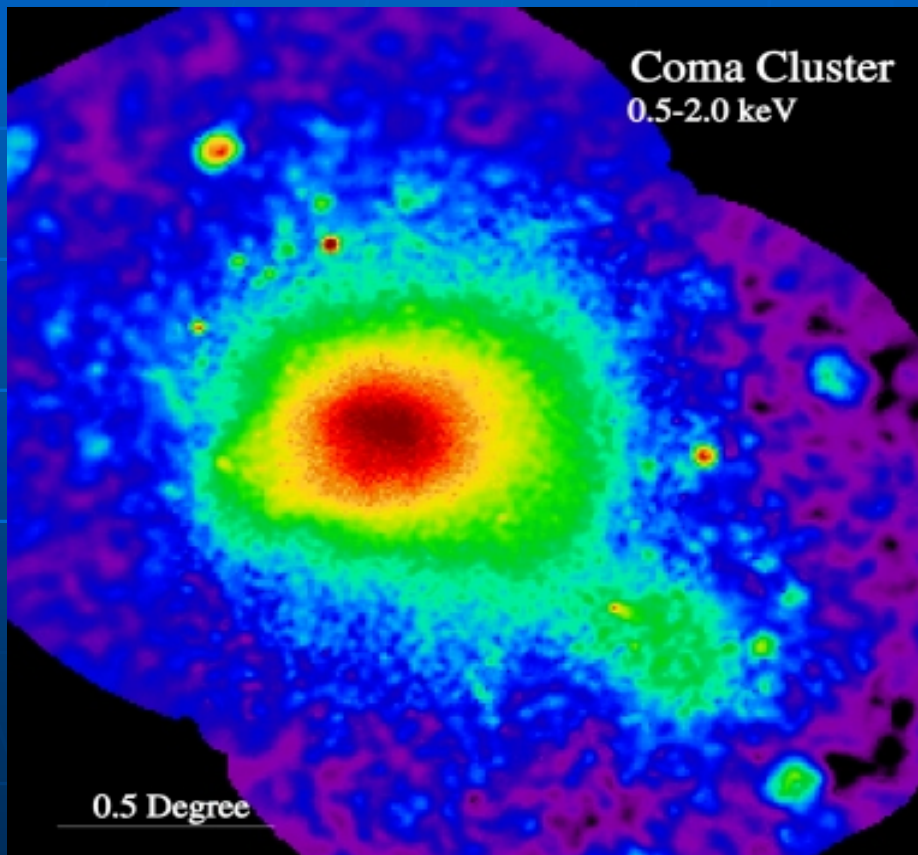
光で見た銀河団
(数100個の銀河の集まり)



X線で見た銀河団
(数千万から数億度の高温ガス)

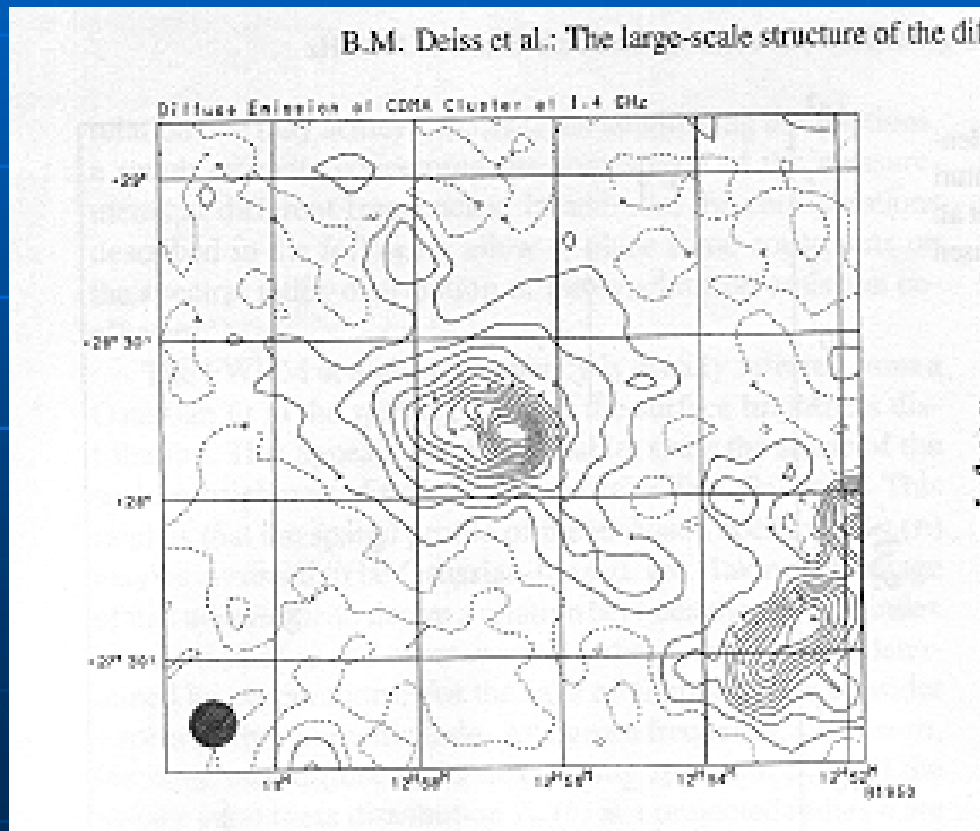
高温ガスの総質量は銀河の約10倍

銀河団高温ガスの発見：銀河の間にも物質があった。



- 銀河団高温ガス：およそ1億度
- 光では見えない。
- X線で明るく輝く
- 銀河の数倍の重さ
 - > 「銀河団」と言うよりはむしろ「高温ガスの塊」

銀河団内高エネルギー粒子 の発見:



- 電波ハロー
- 光の速さのおよそ99.9999パーセントの速さで飛び回る高速電子
- なぜこんなにも速いのか？

-----> 今も謎

それでも残る「失われた質量」 ——> 正体不明の暗黒物質

- 銀河団の重さ、銀河数万個分のうち、
銀河千個分は銀河
銀河数千個分は高温ガス
ごく少量の高速粒子
- 残り(全体の90%近く)の正体は？
暗黒物質(光らないが重力はおよぼす)

X線で宇宙を見る目



- X線は地球大気に吸収されるため、地上までは届かない。

——> 観測装置を大気圏外に持っていくのが必要

- 気球実験
- 人工衛星(日、米、欧など)

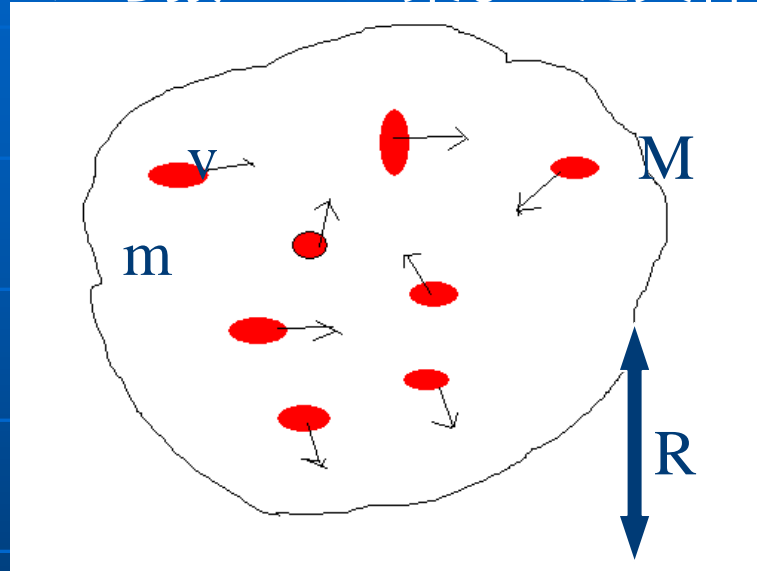


すざく(日本)

DVDをしばらくお楽しみみく
ださい。

銀河団のおもさをどうやってはかるか？

銀河団：銀河が数100から数1000集まった天体



銀河団の中の銀河でたらめな方向に動きまわっている。
そのままではバラバラになってしまい集団にはなり得ない
何らかの力によって束縛されている==>重力

銀河の運動==>重力==>質量

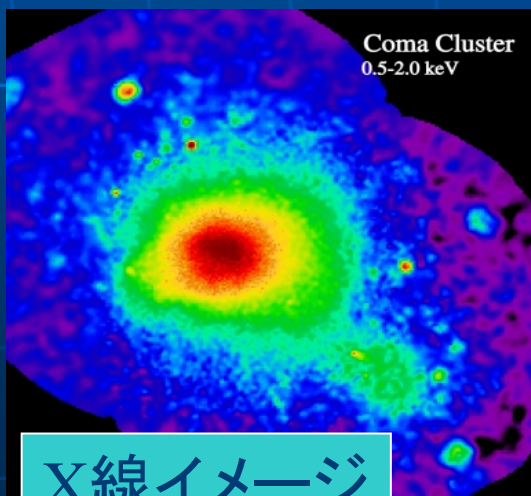
どうやって銀河団のおもさをはかるか : 高温ガスを使う



光(銀河)

銀河団には銀河だけでなく高温ガスもある。
光では見えないがX線で見える。
(実は銀河よりもたくさんある。)

高温(約1億度)のガスはそのままだと蒸発してしまう(沸騰しているやかんと同じ)。
何かの力(重力)で閉じこめている。



X線イメージ

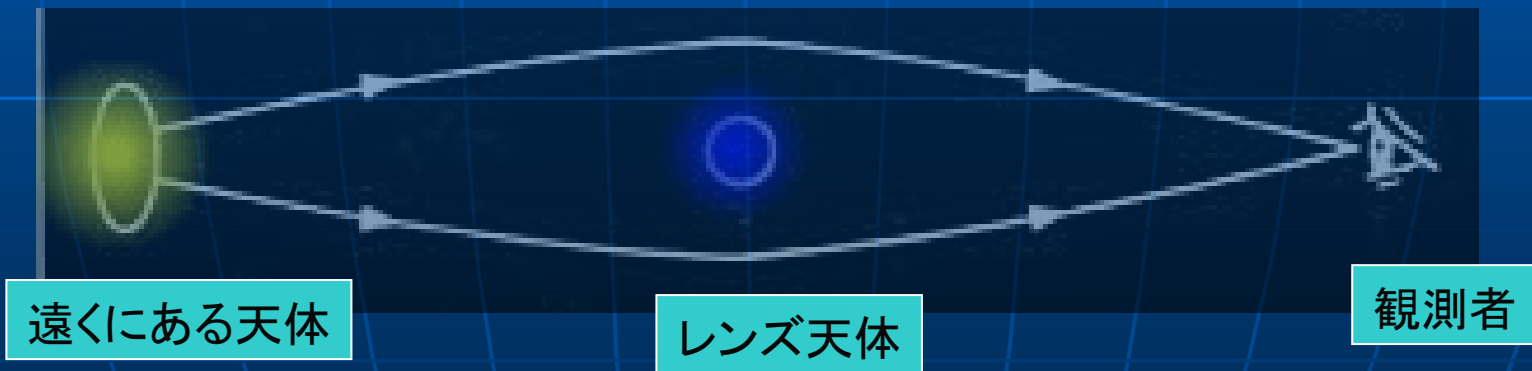
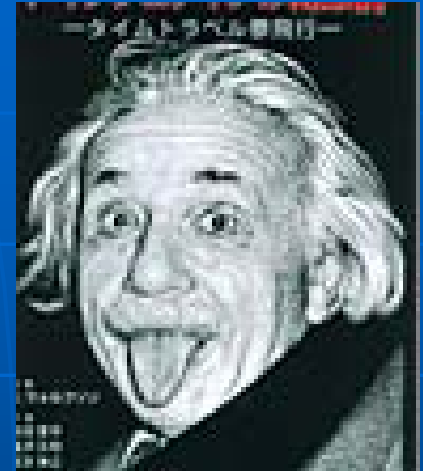
高温のガスを閉じこめるには強い重力が必要→大量の質量が必要

暗黒物質

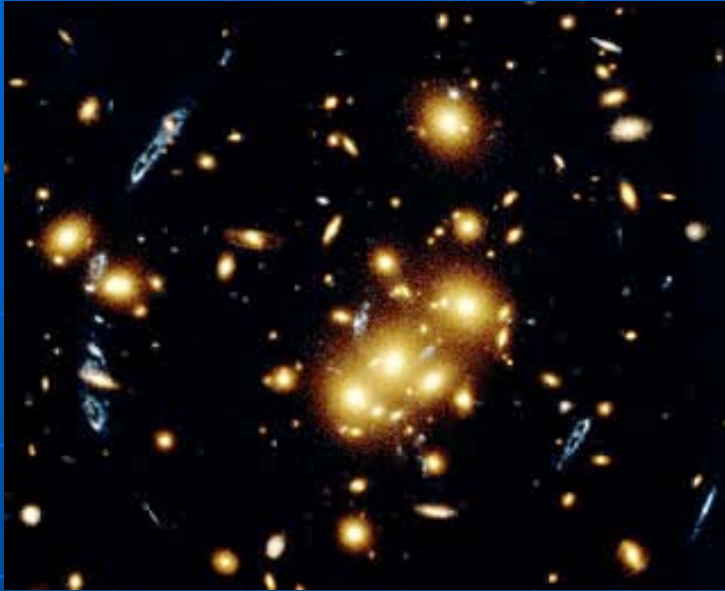
- 1930年代にツビッキーは乙女座銀河団の銀河の運動を調べて質量を評価した。しかしそれは、光って見える銀河の数から予想される質量の10-100倍にもものぼるものだった。
- 上の結果は、光らないが重力の源になる物質があると考えるとうまく説明できる。このような物質を暗黒物質と呼ぶ。

光っていない世界を見る：重力レンズ

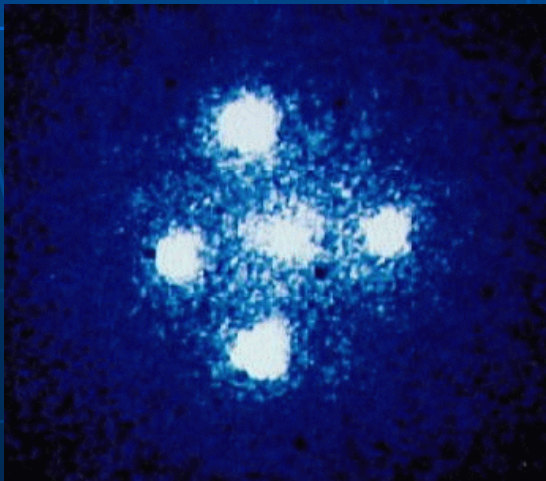
アインシュタインの一般相対論によると、重力とは時間空間のゆがみである。その結果、光も重力によって曲げられる。
重たい天体があたかもレンズのような役割をする（重力レンズ）



重力レンズ



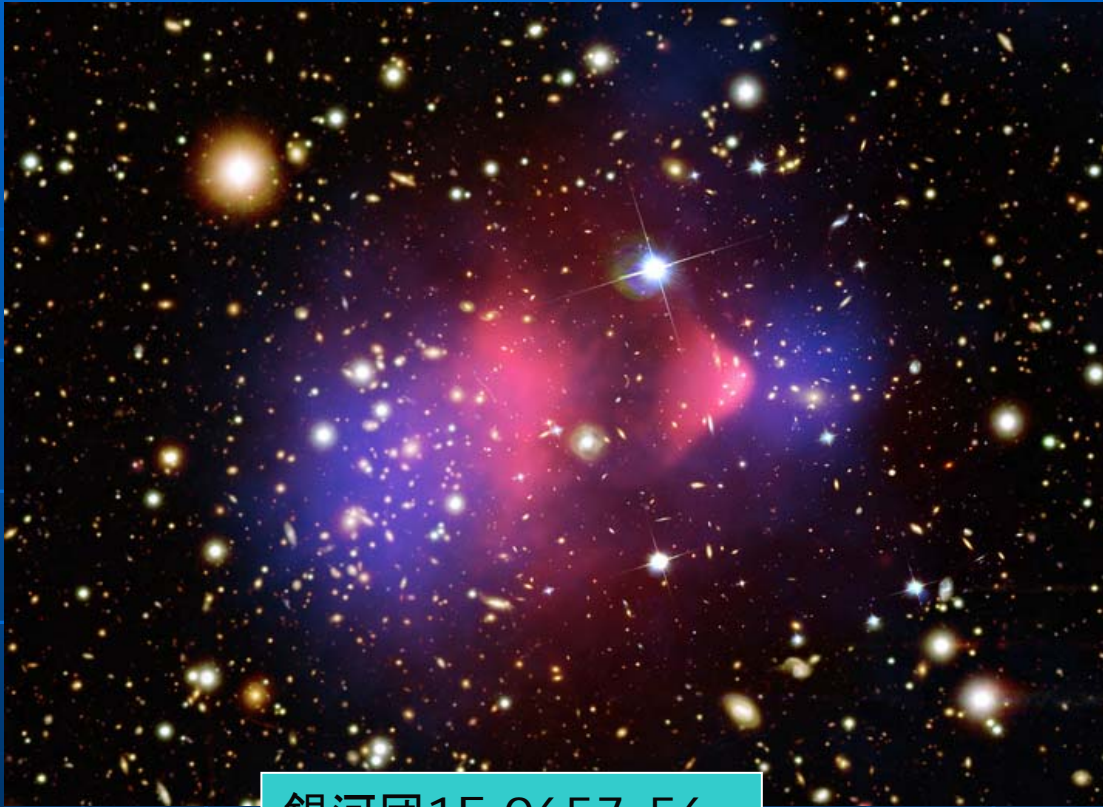
背景にある天体からの光が重力によって曲げられる。曲げられ方は手前にあるレンズ天体の質量で決まる。



詳しく調べることで光っていない暗黒物質の量や分布がわかる

光っている物質の10倍程度の質量が必要

重力レンズで暗黒物質を見る

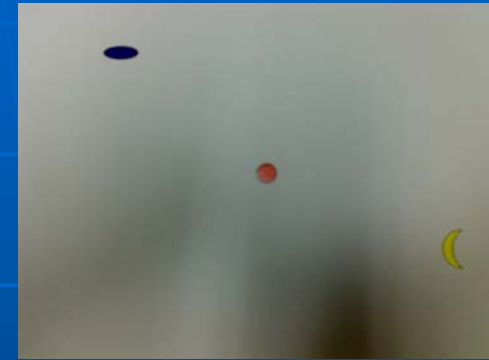
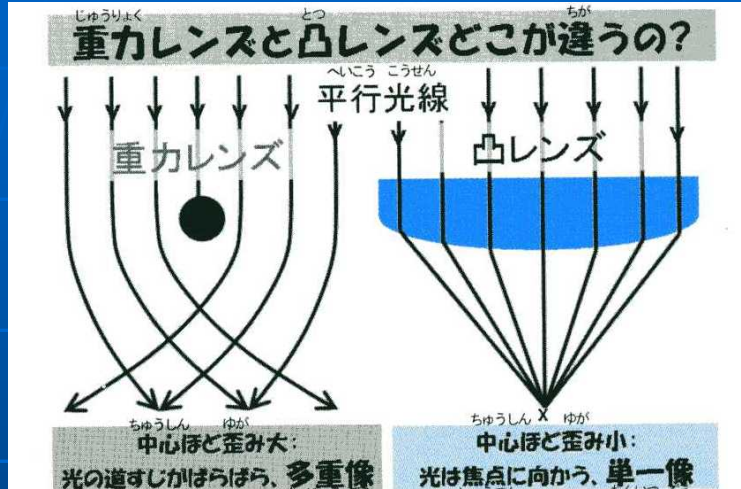


銀河団1E 0657-56。
高温ガス(ピンク)と
暗黒物質の分布(青)

高温ガス(光っている物質)と
暗黒物質で分布の様子が違う

光っていない場所に物がある。

「重カレンズ」レンズ



お手元の紙とレンズ
でしばし遊んでみて
ください

暗黒物質の正体

- 現時点では不明。ただしいくつかの候補はある。
 - 普通の物質でできた暗い天体(ただし難しそう)
 - 冷たい星(巨大な木星)
 - ブラックホール
 - 未知の素粒子(重力相互作用はするが、電磁相互作用はしない)→21世紀の宿題
- 別の可能性(ニュートンの重力法則が長距離ではかわるetc)。ただし分布の違いまで説明するのは難しい。

まとめ

- 星の集団が銀河、銀河の集団が銀河団
- 銀河団を光で見ると銀河(星の集団)が、X線で見ると高温ガスが見える。実は高温ガスのほうが多い。
- 様々な方法を使って、(光っていないのまで含めた)銀河団の重さをはかることができる。
- 銀河団には光っている物質の10倍以上の暗黒物質がある。たぶん宇宙全体でもそう
- 暗黒物質の正体はまだよくわかっていない(暗い星、ブラックホール、未知の素粒子、またはニュートンの重力の法則が長距離ではかわる?)。

以下は予備スライド

光っているものが全てなのか？ 明るさ(光の量)と質量を比べて みる



電磁波

望遠鏡で観測
明るさ:L

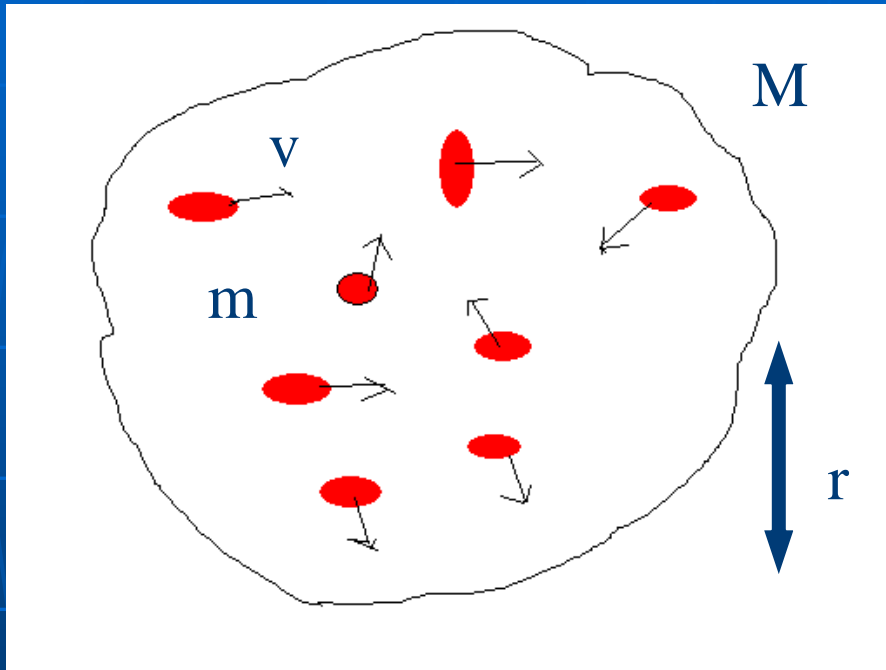
何らかの方法

全質量:M

“光らない物質(暗黒物質)”がなければLはMに比例するだろう
(明るさ10倍なら質量も10倍)。

(質量)/(明るさ) をよくわかっているもの(例:太陽)と比べてみる。

ビリアル定理による質量推定法



質量 m の銀河達が、速さ v で半径 r 質量 M の領域を動き回っているとすると、

重力エネルギーと運動エネルギーの釣り合いから(ビリアル定理)、

$$M = \langle r \rangle \langle v^2 \rangle / G$$

($\langle \rangle$ は平均をあらわす)

cf. ケプラーの法則を使った場合
 $M(r) = rv^2 / G$

やっぱり、速く動くものを閉じこめておくには強い重力が必要→大量の質量が必要

ドップラー効果を用いた 天体の運動の測定

遠ざかるときは
サイレンの音は低くなる



近づくときは
サイレンの音は高くなる

遠ざかるときは
光は赤くなる



近づくときは
光は青くなる