

宇宙をあやつる 暗黒物質と暗黒エネルギー

星稜高校出張講義
2024年11月2日(土)

滝沢元和
(山形大学理学部)

お品書き

- 暗黒物質とは？
- どれくらい暗黒物質があるのか？
 - 銀河の場合
 - 銀河団の場合
- 暗黒物質の正体は？
- 宇宙膨張
- 暗黒物質 & 暗黒エネルギー

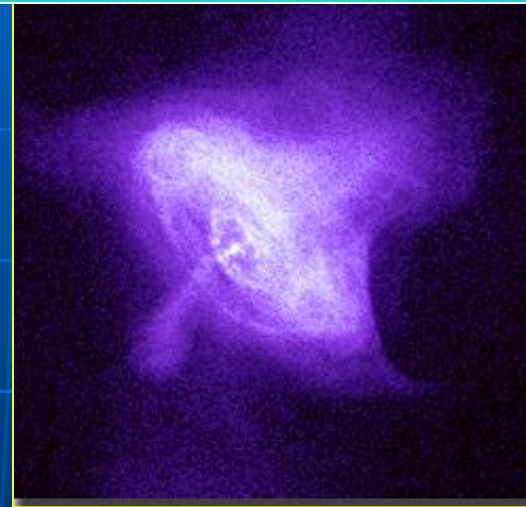
最後に質問の時間を設けますが、話の途中で質問してもらってもまったく構いません。

宇宙に物質が存在することを 我々はどうやって認識するか？

光で見た銀河



X線で見たカニ星雲



“光る”から(電磁波を放射するから)我々は物質がそこにあることを認識できる。

“光っている”(見えている)ものだけが全てなのか？

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。

暗黒物質 (dark matter)

- 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、光らないが質量を持っていて重力の源になる物質があると考え、とうまく説明できる。このような物質を暗黒物質と呼ぶ。



ツビッキー

どうやって質量をはかるか？ (渦巻き銀河の場合)

渦巻き銀河は回転している。

何かの力で中心に向かって
引っ張っている。==>重力

回転運動==>重力==>質量



M 63 (NGC 5055)

Suprime-Cam (B, V, H α)

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

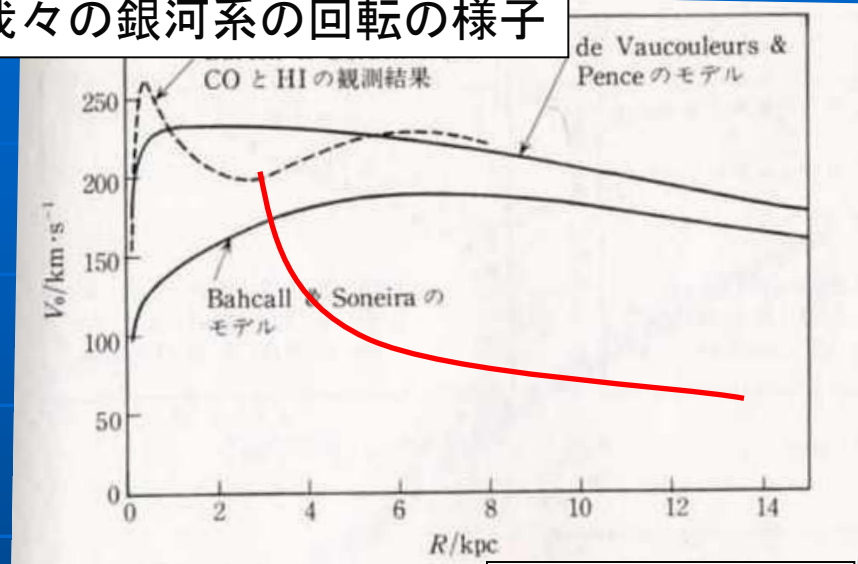
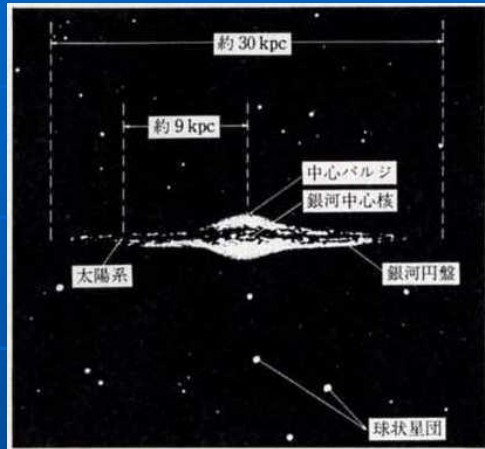
June 22, 2000

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



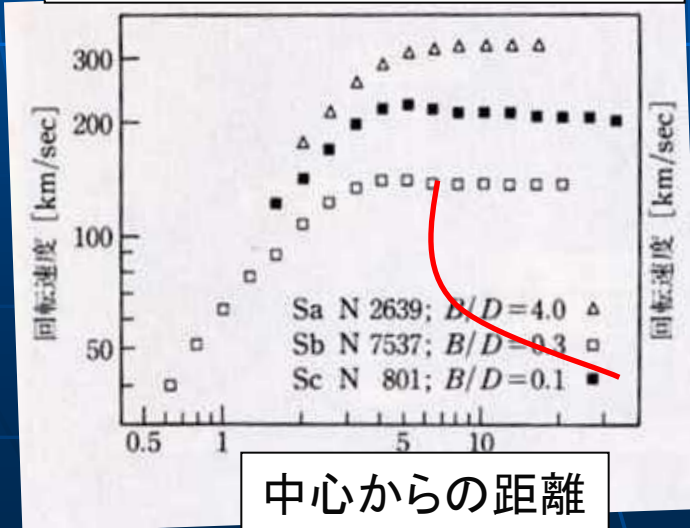
渦巻き銀河の暗黒物質

我々の銀河系の回転の様子



いろいろな銀河の回転の様子

中心からの距離



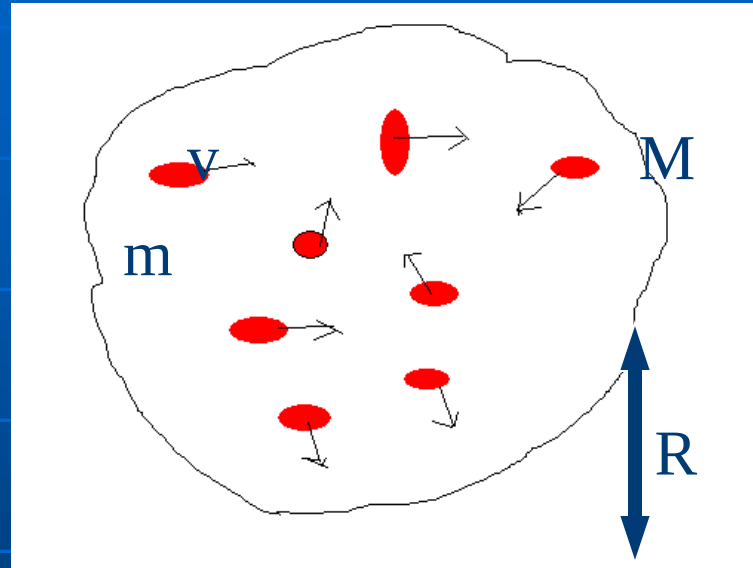
中心からの距離

光っている物質だけを考えると外側では赤線のように回転速度は落ちるはず

予想よりも銀河は速く回転している、、、つまり予想よりも重力が強い

光っている物質の10倍以上の暗黒物質が必要。

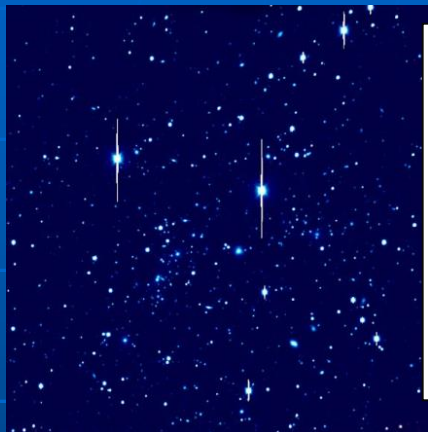
どうやって質量をはかるか？ (銀河団の場合、その1)



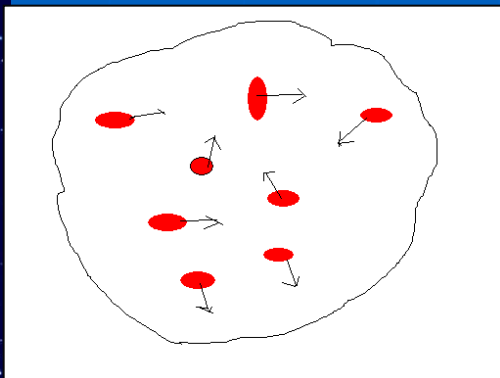
銀河団の中の銀河はでたらめな方向に動きまわっている。
そのままではバラバラになってしまい集団にはなり得ない
何らかの力によって束縛されている==>重力

銀河の運動==>重力==>質量

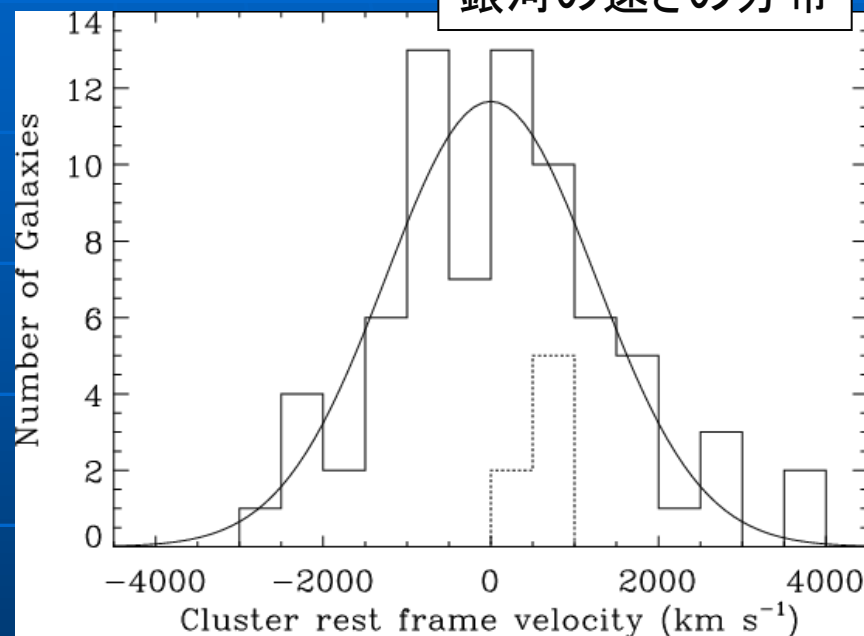
1E0657-56銀河団



可視光イメージ:
青いシミのように見えるのが
銀河たち



銀河の速さの分布



$M/L > 100(M/L)_{\text{太陽}}$
——> 光っている物質の10倍以上の
暗黒物質が必要

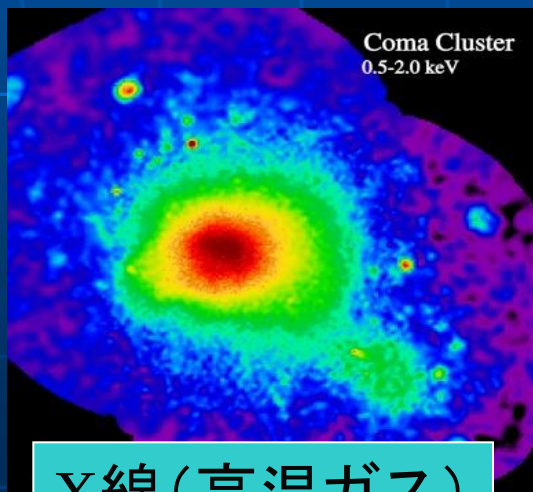
質量をはかる別のやり方: 高温ガスを使う



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逃げてしまう。
(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(高温ガス)

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

この方法でも $M/L > 100(M/L)_{\text{太陽}}$
——> 光っている物質の10倍以上の
暗黒物質が必要

質量をはかるさらに他の方法 (重力レンズ)



背景にある銀河からの光が重力によって曲げられる。曲げられ方は質量分布で決まる。

詳しく調べることで暗黒物質の量がわかる

やっぱり光っている物質の10倍程度の質量が必要

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
 - 冷たい星(恒星になりそこねた軽い星)やブラックホールなど
 - だが、“天体”ができる以前から宇宙は暗黒物質で満ちていたらしい証拠が見つかってきているのでこれらは多数派ではなさそう
 - 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)
 - 理論的には候補はいろいろ
 - 直接検出に向けた実験もおこなわれている
- 別の可能性(重力法則が長距離ではかわるetc)。ただし空間分布の違いまで説明するのは難しい。

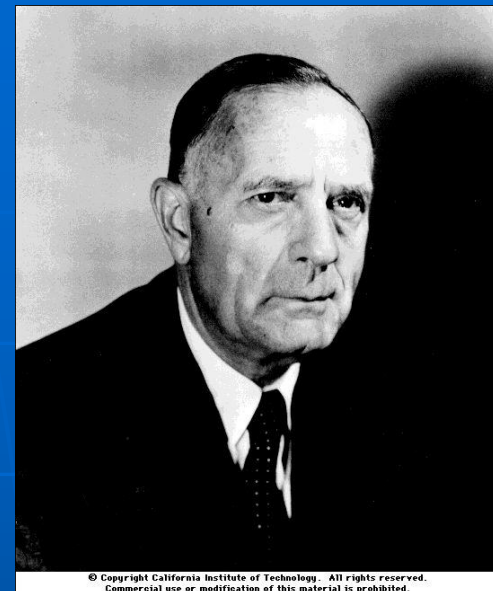
ハッブルの奇妙な発見

- たくさんの銀河の運動を観測していたハッブルはある奇妙なことに気がついた。

- ほとんどすべての銀河は我々から遠ざかっている。

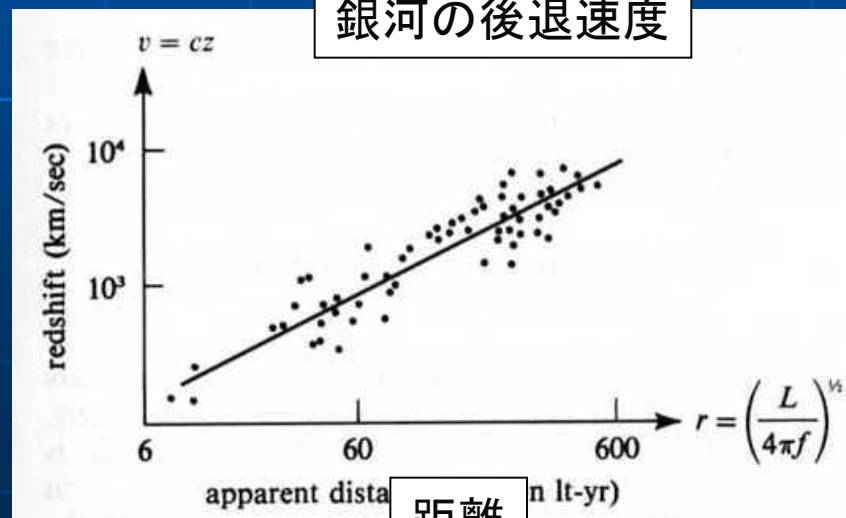
- 暗い(多分遠くにある)銀河ほど速く遠ざかっている。

- いったいなぜ??



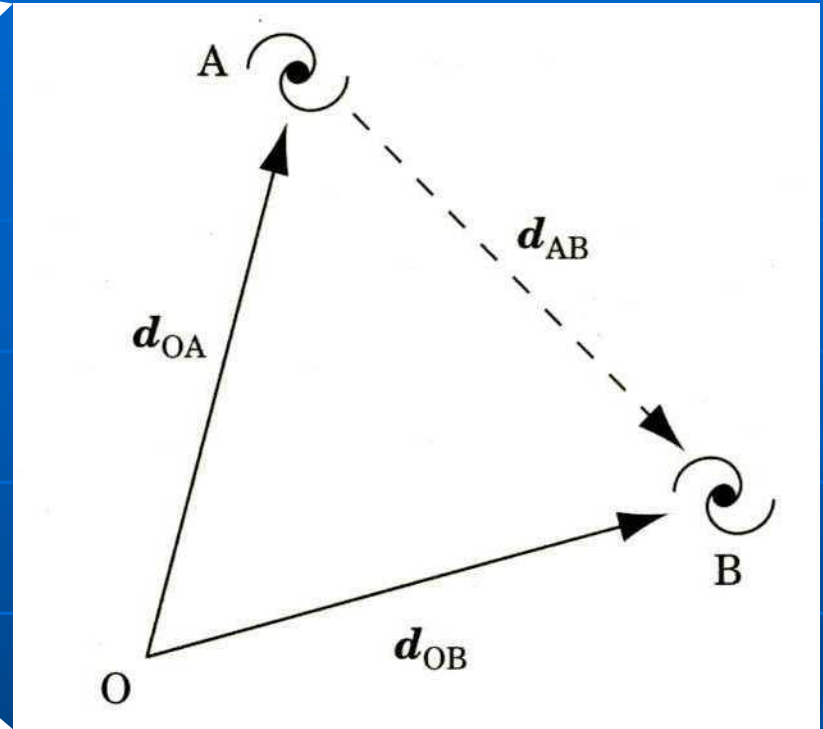
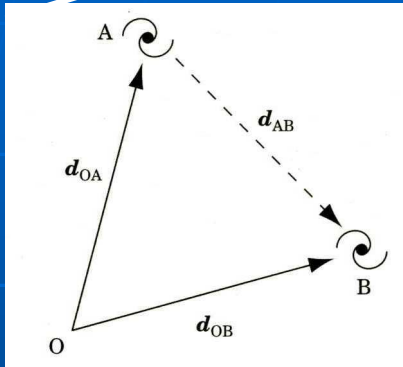
© Copyright California Institute of Technology. All rights reserved. Commercial use or modification of this material is prohibited.

銀河の後退速度



距離

膨張する宇宙



すべての銀河が我々から遠ざかっている
遠くの銀河ほど速く我々から遠ざかっている

---> 宇宙が全体として膨張している。
(我々が宇宙の中で特別な場所にいる必要はない)

宇宙はどう膨張しているのか？

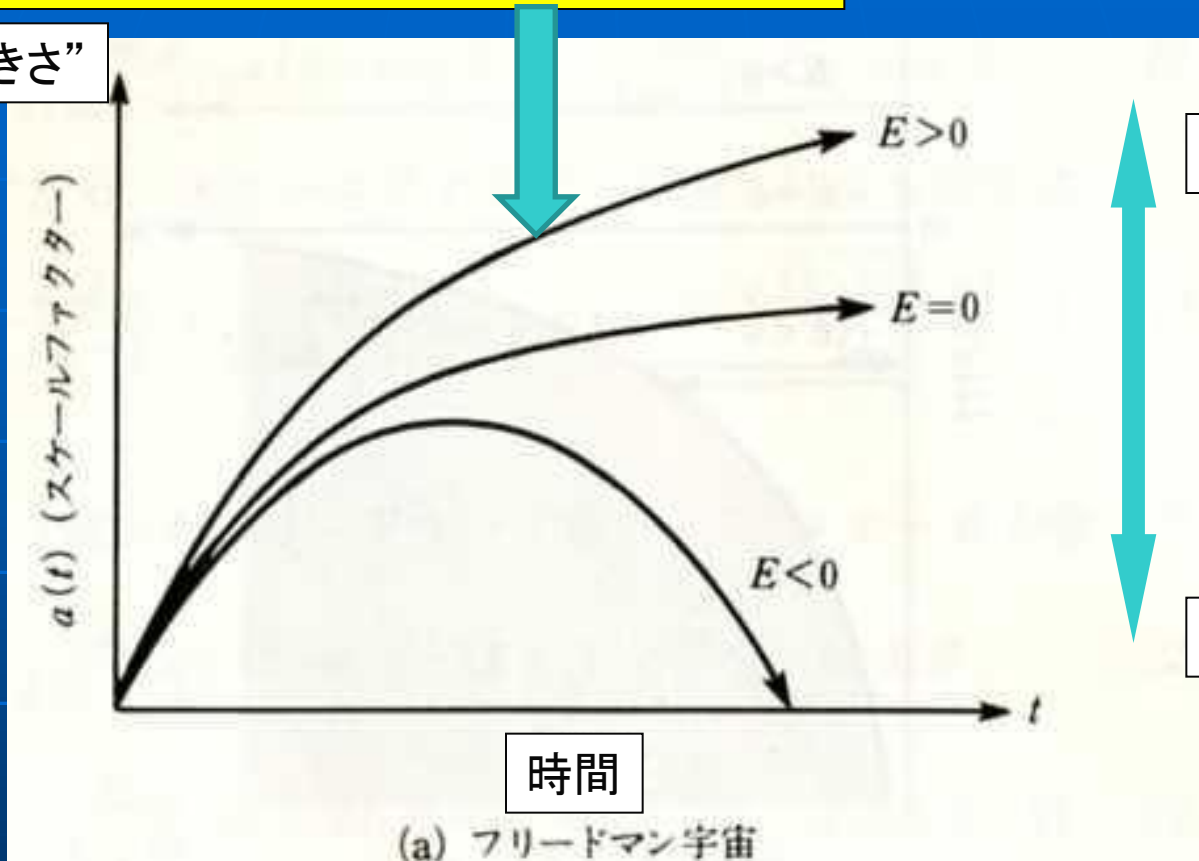
- 宇宙は大爆発(ビッグバン)からはじまった。
- 最初の爆発の勢いvs重力
 - 最初の爆発は膨張させる方に
 - 重力は膨張を止める方にはたらく
- 最終的にどちらが勝つのか？
- 重力の強さ(物の量)が大事
 - 月でボールを投げたら遠くまで投げやすい



1990年代までは宇宙の膨張の仕方は
このようだと思われていた。

黒物質

宇宙の“大きさ”



物質が少ない

物質が多い

物質があるとその重力で宇宙膨張はだんだんと遅くなる。
十分に物質があれば最終的には宇宙は収縮に転じる
宇宙の物質のほとんどは暗黒物質
--->暗黒物質の量が我々の宇宙の将来を決める。

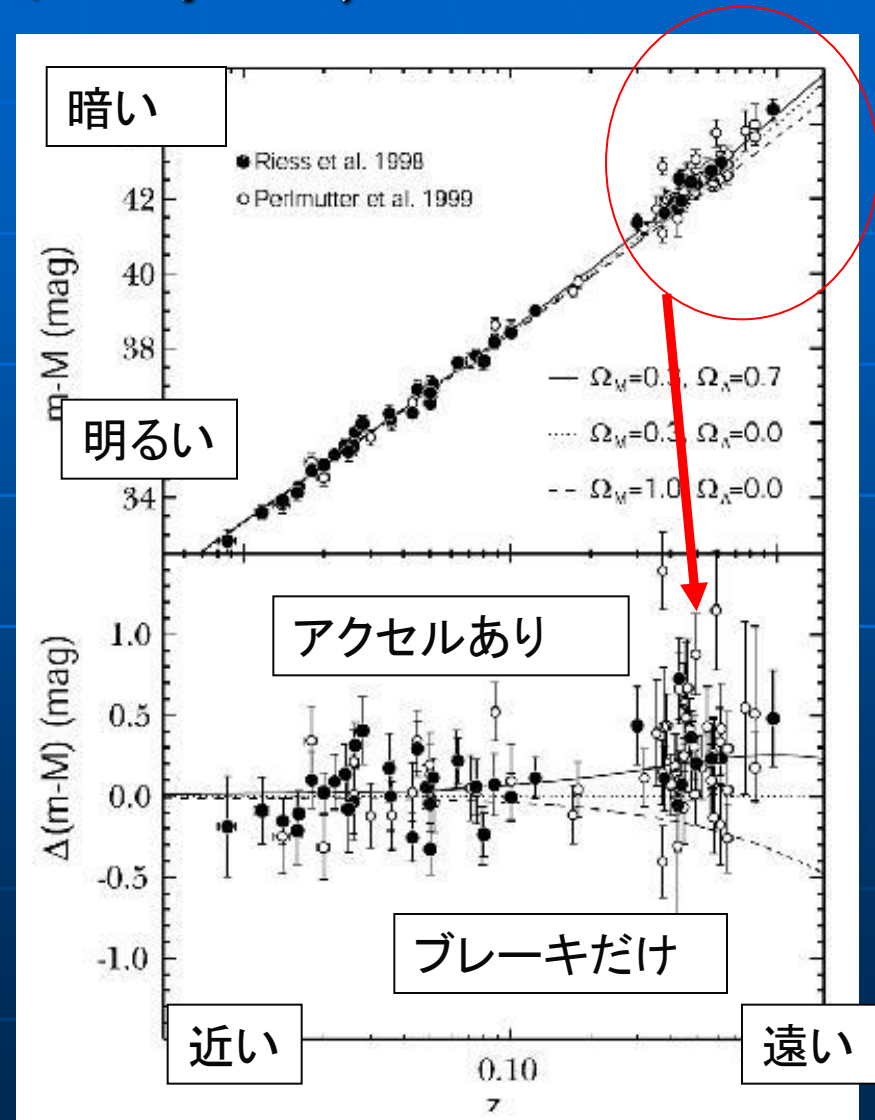
宇宙はどう膨張しているのか (続き)？

- さっきまでの話は
 - 最初の一撃(ビッグバン)
 - ブレーキ(重力)
- アクセルはないの？
 - 途中で膨張が速くなったりすることはないの？
- エンジン付きの“ボール”



アクセルもあるらしい (暗黒エネルギー)

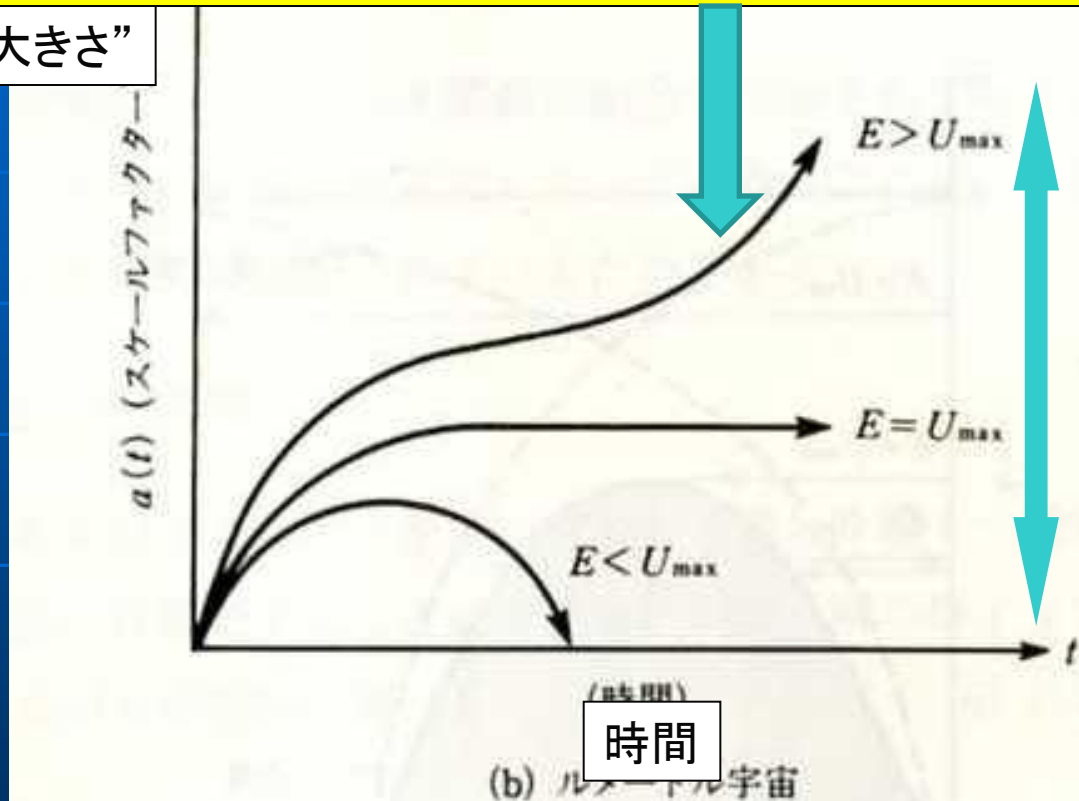
- 遠くの宇宙を見ることで昔の宇宙膨張の様子がわかる。
- 超新星(星の最後の大爆発)を遠くまで見てみた。
- 遠くの超新星は思ったより暗い、、、
- どうも昔より今のほうがはやく膨張しているみたい。
- 2011年ノーベル物理学賞(遠方の超新星の観測を通じた宇宙の加速膨張の発見)
- アクセルは何? → 空間の持つエネルギー(暗黒エネルギー)



宇宙膨張と

現在(2010年代以降)では宇宙の膨張の仕方はこのようだと思われる。

宇宙の“大きさ”



暗黒エネルギーが多い

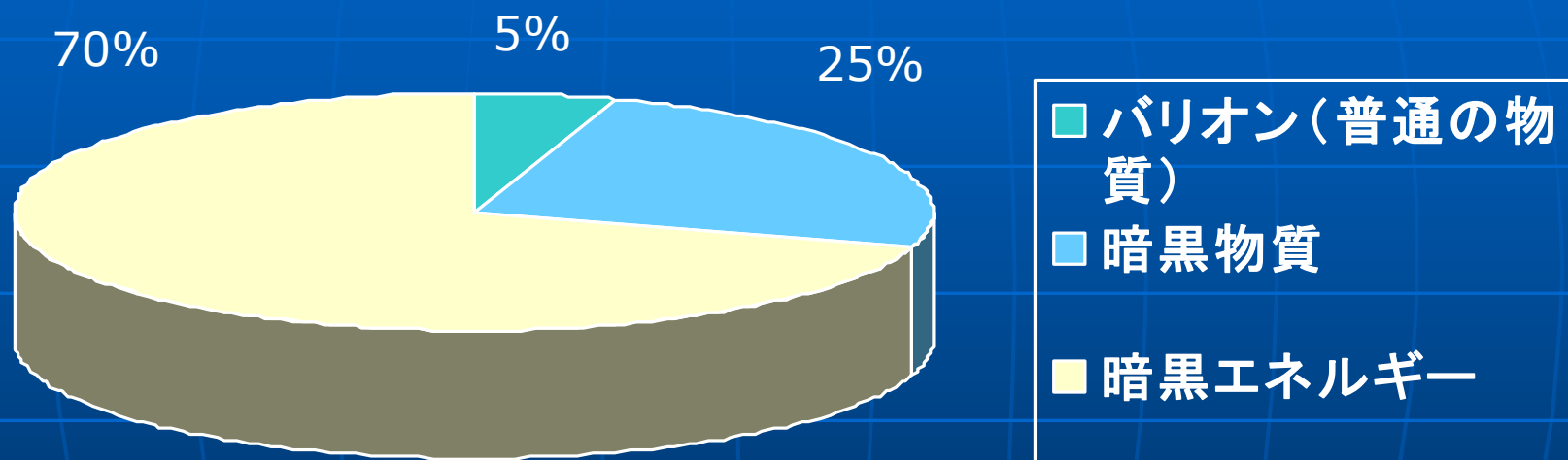
暗黒エネルギーが少ない

“暗黒エネルギー”による“反発力”があると、宇宙膨張はどんどん速くなっていく。
(どうも我々の宇宙はそうなっているらしい)

暗黒エネルギーの正体

- 真空自体が持っているエネルギー？
 - “空間”には反発しようとする性質がある？
 - 正体は不明だが、宇宙の振る舞いを説明するためにはないと困る。
-
- 結局よくわからない
 - 我々が正しいと信じている物理法則がまだ完全でないのかもしれない→21世紀の宿題

明らかにになった宇宙の姿



宇宙に存在する物質やエネルギーは
ほとんどが正体不明！！！！

まとめ

- 宇宙に物質が存在することを我々は主に電磁波(光、電波、X線など)を使って認識してきた。しかしこれでわかるのは光っている物質のみである。
- 様々な方法(天体の運動状態、高温ガスの様子、重力レンズなど)を使って、(光っていないのまで含めた)天体の総質量をはかることができる。
- 宇宙には光っている物質の10倍以上の暗黒物質がある。
- 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?)。
- 宇宙の膨張の仕方は暗黒物質や暗黒エネルギーに支配されている。
 - バリオン(普通の物質) 5%
 - 暗黒物質 25%
 - 暗黒エネルギー 70%
- 「宇宙のほとんどは正体不明」ということがわかってきた。