

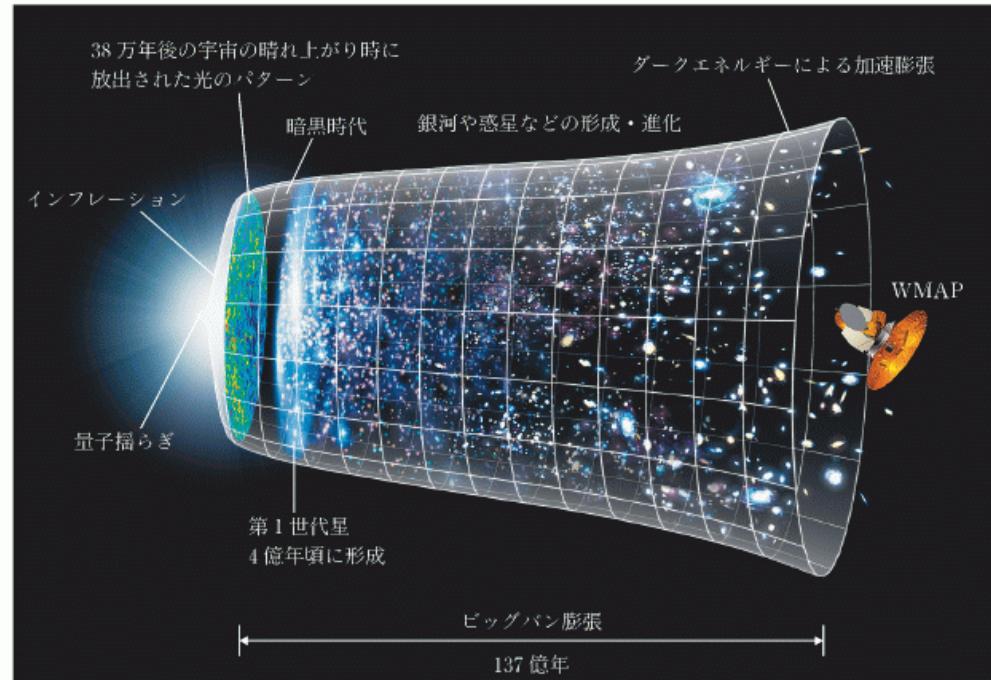
地球惑星科学II

第13回

2026年01月15日

今日のテーマ

- 宇宙においてどのように距離を測るか？
- 宇宙はどのように進化してきたか？



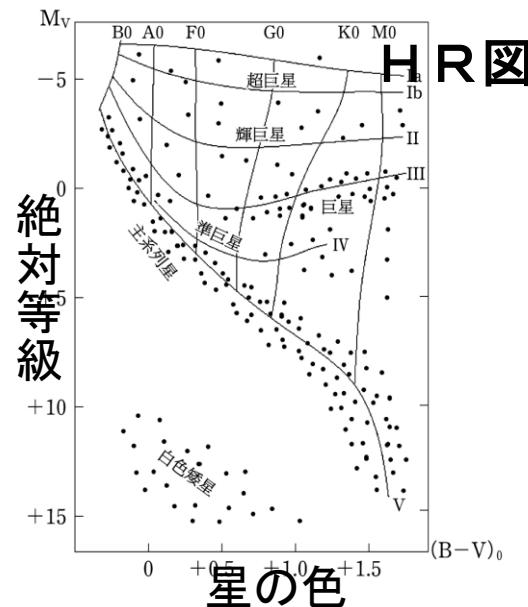
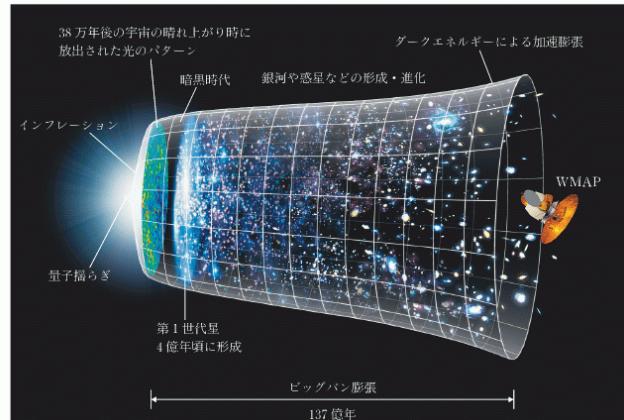
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 参照: 地球惑星科学入門第2版30章、31章

宇宙の距離梯子

- 天体までの距離決定が非常に重要

宇宙の進化



地球惑星科学入門第2版口絵3

地球惑星科学入門第2版P.368

- 複数の方法を「つなぎあわせて」遠方天体の距離を決定

天体の距離の測定には、ほかにも
さまざまな手法が用いられる。

*渦巻銀河の明るさと 回転速度の関係

分光視差(▶ p.36)を利用

年周視差(▶ p.36)を

銀河

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

ハッシュブルの法則を利用

Ia型超新星を利用

タリー・フィッシャー関係*を利用

セファイド(▶ p.43)を利用

利用

アンドロメダ銀河 までの距離！

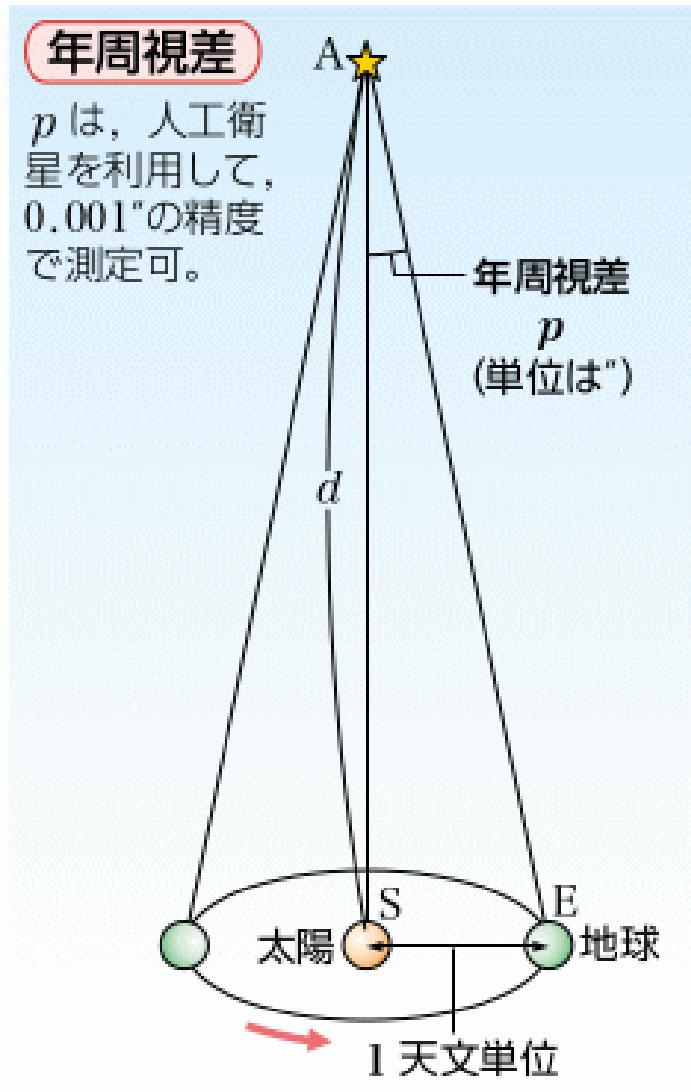
5の木

1

おとめ座銀河団
までの距離

地学図表P.113

年周視差

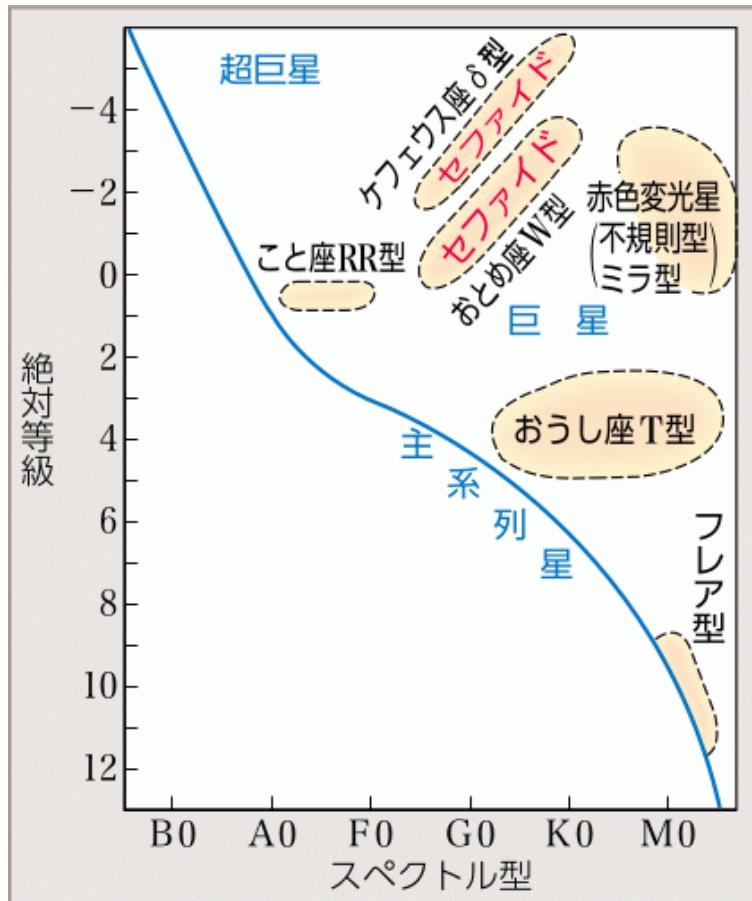


年周視差が1秒となる距離を1パーセク(parsec)という

月の視直径はおよそ
0.5度=30分角=1800秒角

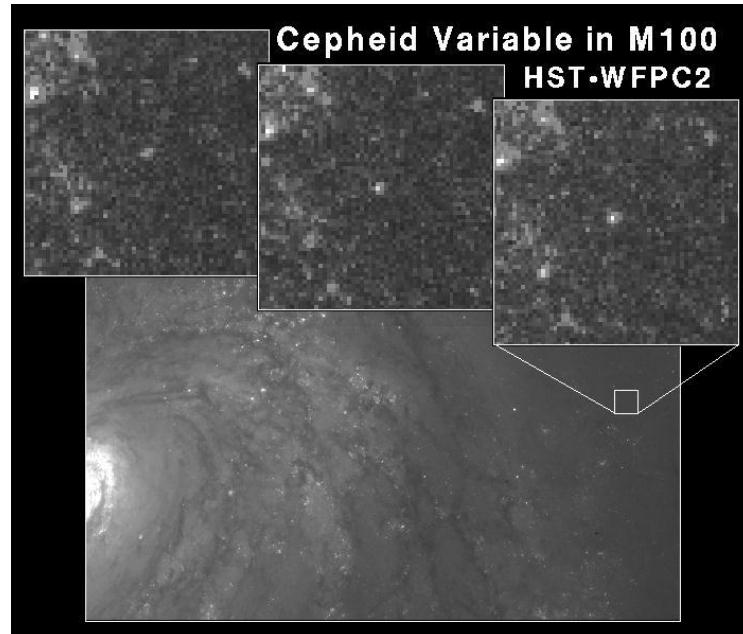
3000光年程度までの距離を測定

セファイド



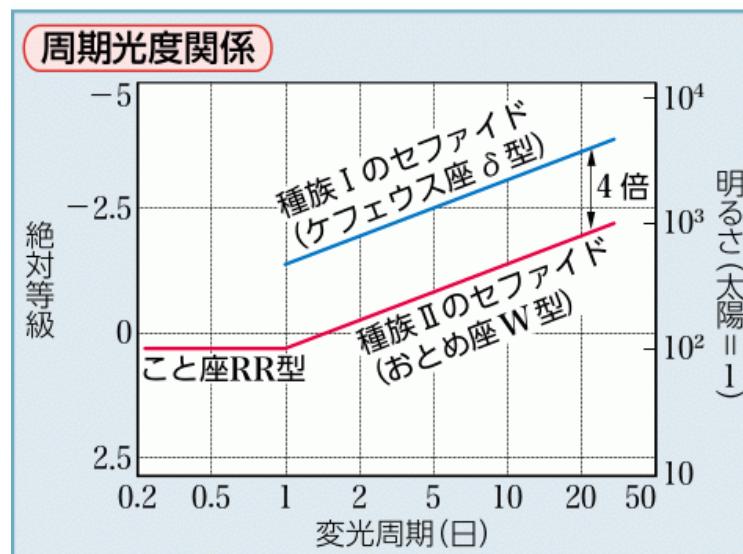
地学図表P.147

400~6500光年程度の
距離を測定



M100中の
セファイド

ビバマンボ・
小野(2009)
ハッブル
望遠鏡で見る
宇宙の驚異
(講談社
ブルー
バックス)



Ia型超新星

- 非常に明るい
- 最大光度および光度変化はみな同じ
- 6000万～数10億光年の距離を測定



SNR 0509-67.5

[http://chandra.harvard.edu/
photo/2010/snr0509/](http://chandra.harvard.edu/photo/2010/snr0509/)

Chandra 衛星によるX線
データとハッブル宇宙望
遠鏡の可視光データの合成

- ・緑色はX線に照らされた
物質をあらわす
- ・ピンク色はガスをあらわす

恒星の集まりが作る構造：星団・銀河

- 星団：数十～数百万個の恒星の集まり(地学図表p.149)
- 銀河：数百億～数千億個の恒星や星間物質が重力的にまとめたもの

地学図表P.117



- 銀河群と銀河団

銀河群
銀河数：
50個
程度



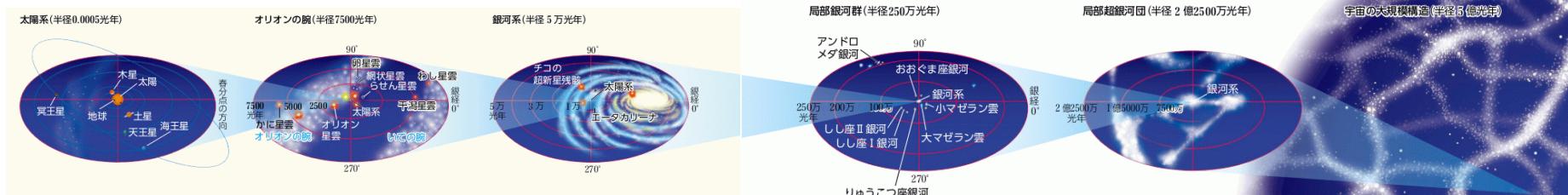
銀河団
銀河数：
100～1000
個程度



地学図表P.114

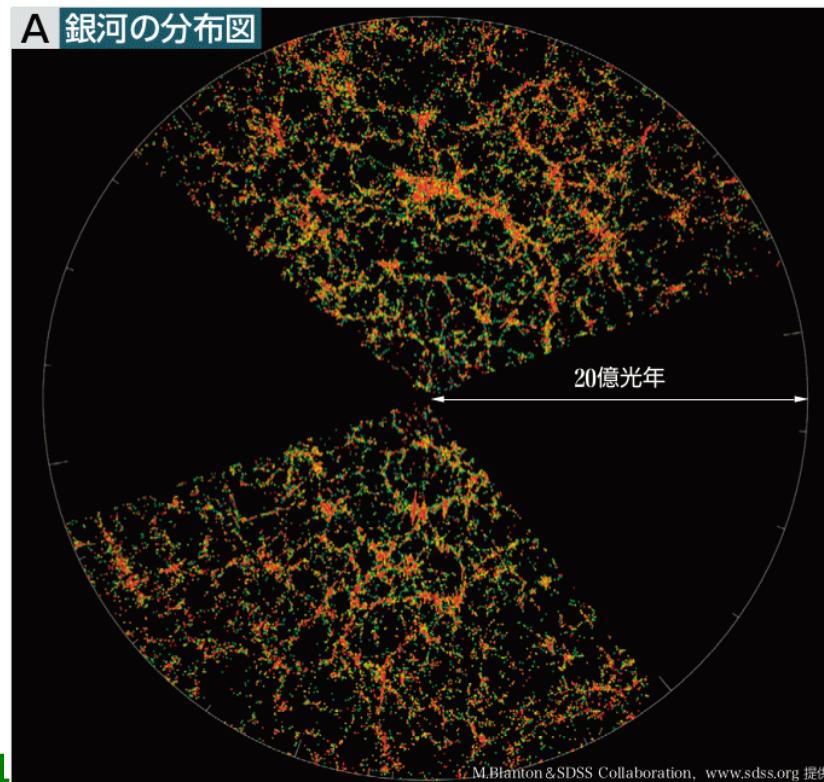
宇宙の階層構造・大規模構造

宇宙階層構造



地学図表P.114

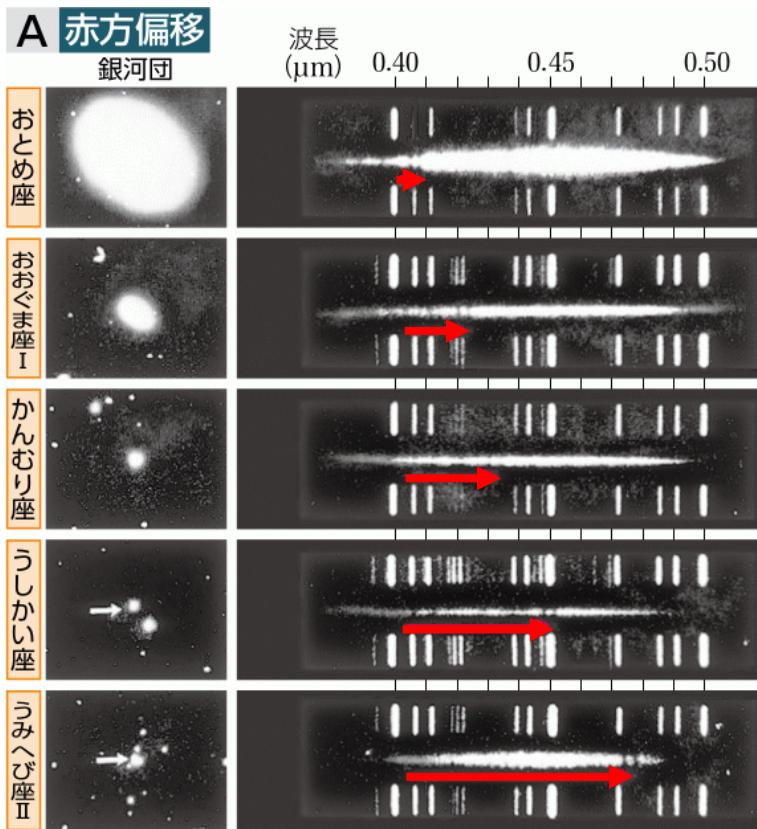
宇宙階層構造
• グレート
ウォール
• ボイド



地学図表P.114

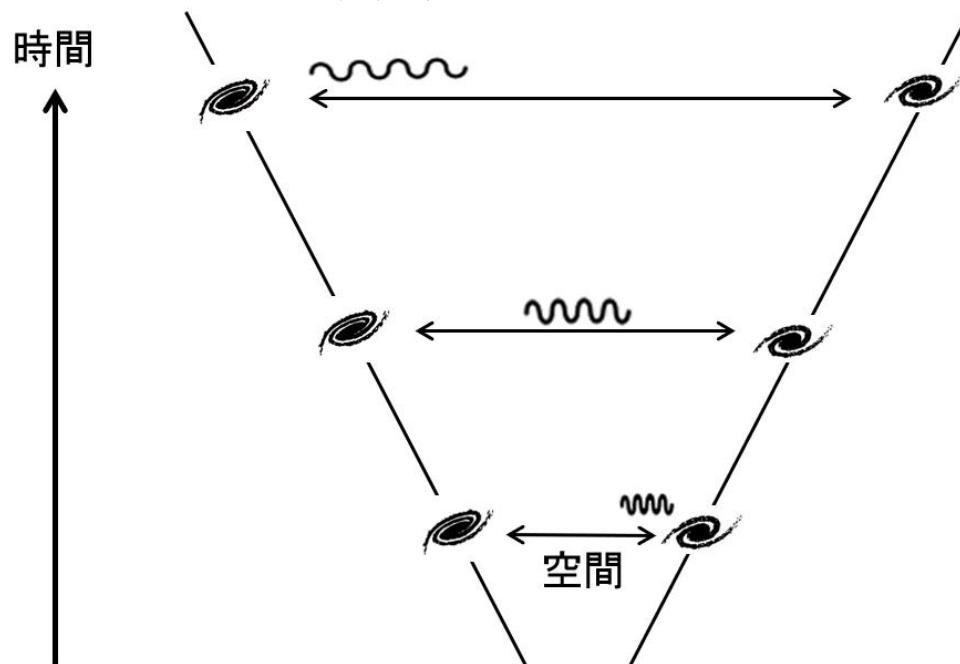
銀河の赤方偏移

暗線の波長が銀河に
よって異なる



二訂版地学図表P.112

赤方偏移は空間の
膨張により起こる

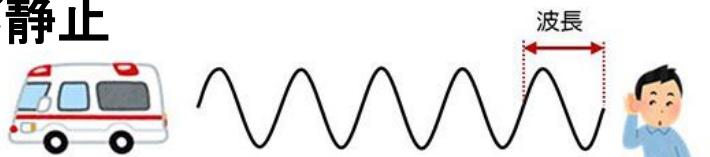


<https://astro-dic.jp/redshift>

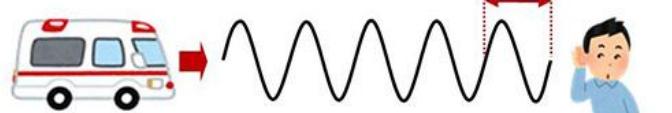
ハッブル・ルメートルの法則

波長の変化は後退速度にも
対応付けられる(ドップラー効果)

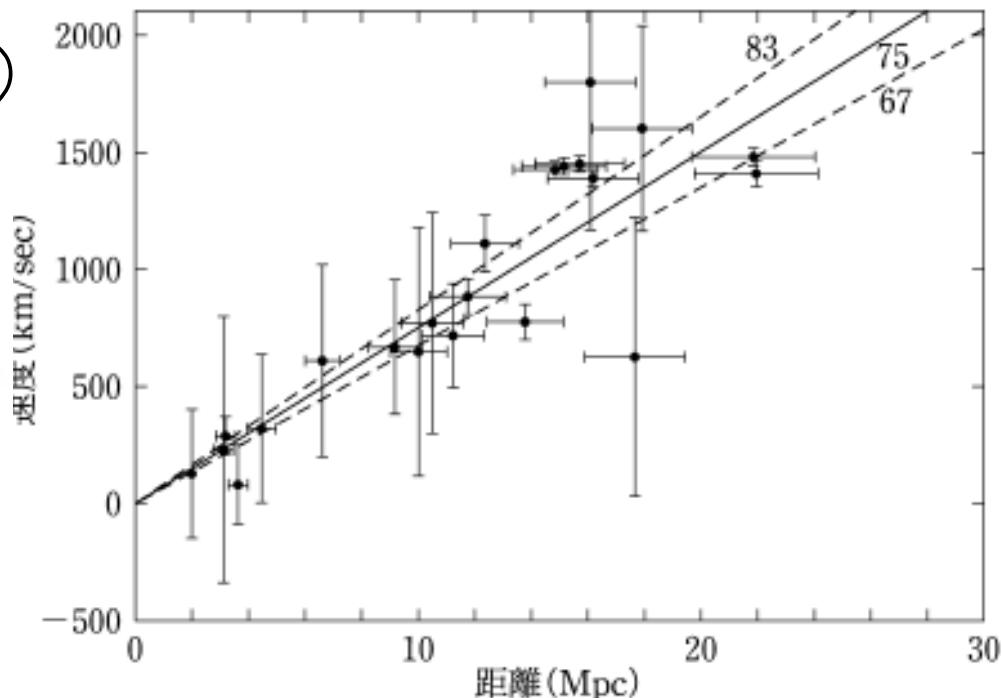
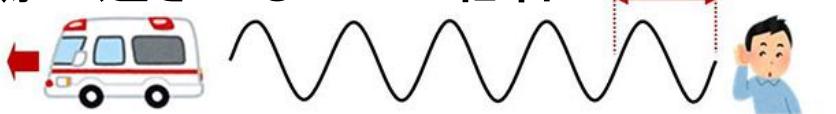
音源が静止



音源が近づく



音源が遠ざかる



<https://www.fbnews.jp/201909/unnyouki/index2.html>

地球惑星科学入門第2版P.355



ドップラー効果は
様々な場面で利用
されている
例：心臓エコー



エド温・ハッブル

<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/6/64/Hubble.jpg>

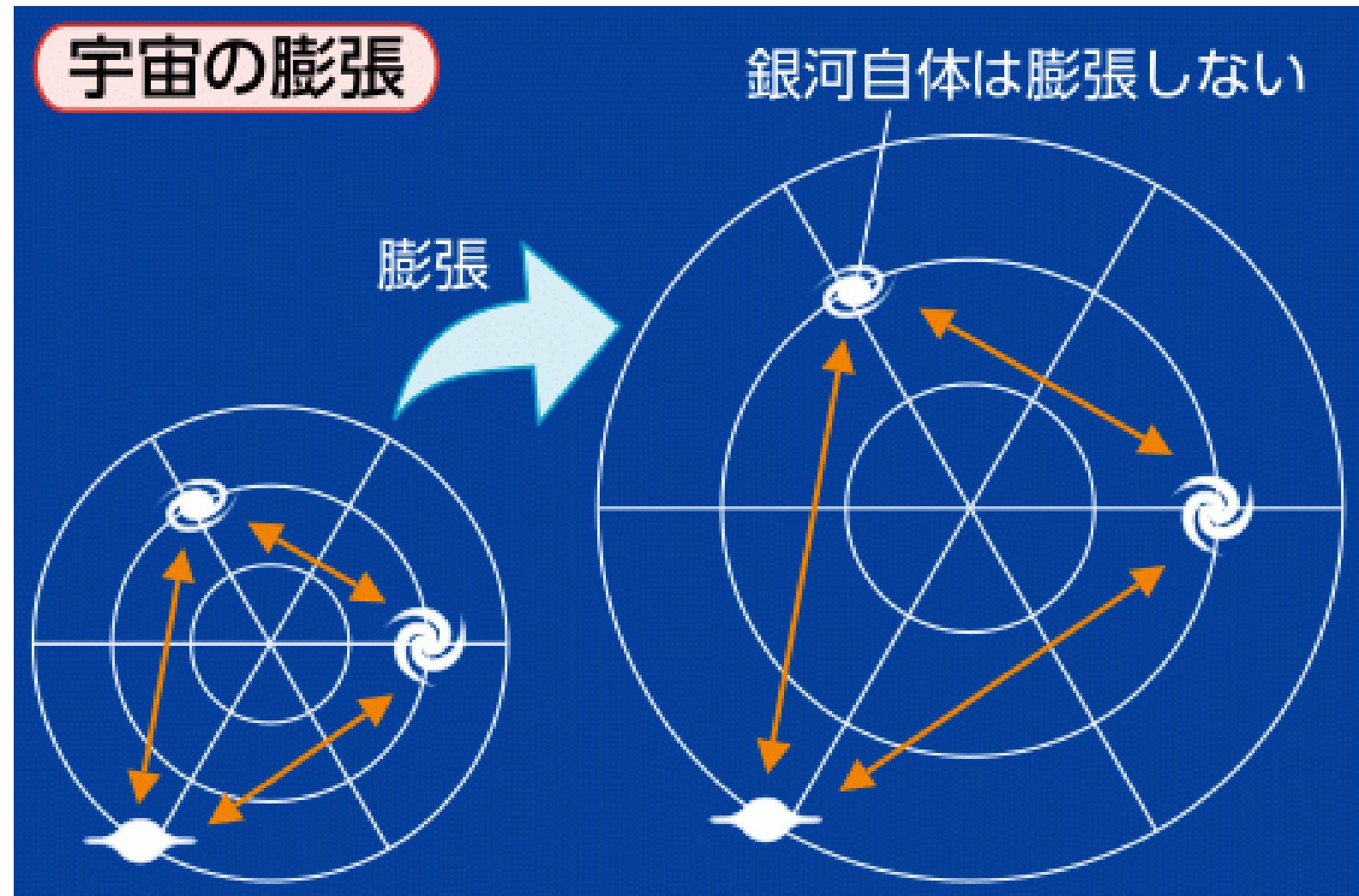
今日の計算問題

- 宇宙の果ての後退速度を求めよう
 - 現在の観測限界距離は137億光年先。
この領域の後退速度を計算してみよう
 - ハッブルの法則
(v の単位として[km/sec], r の単位として[光年]
を使う場合)

$$v = Hr,$$

$$H = 2.4 \times 10^{-5} \text{ km/sec/(光年)}$$

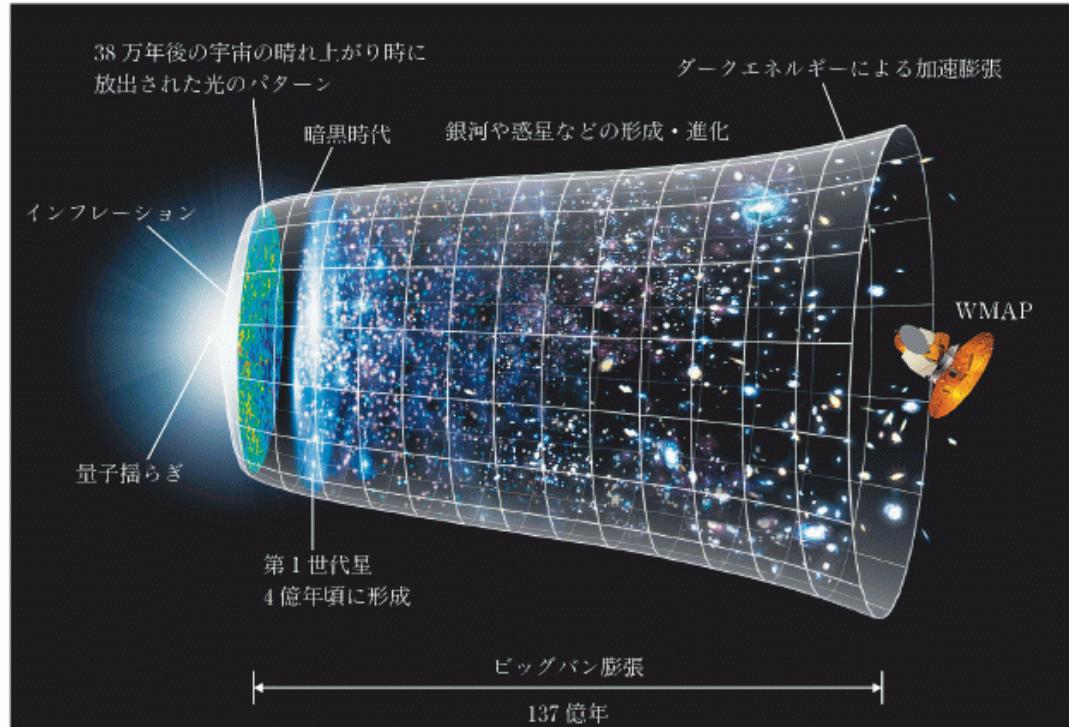
宇宙の膨張



地学図表P.112

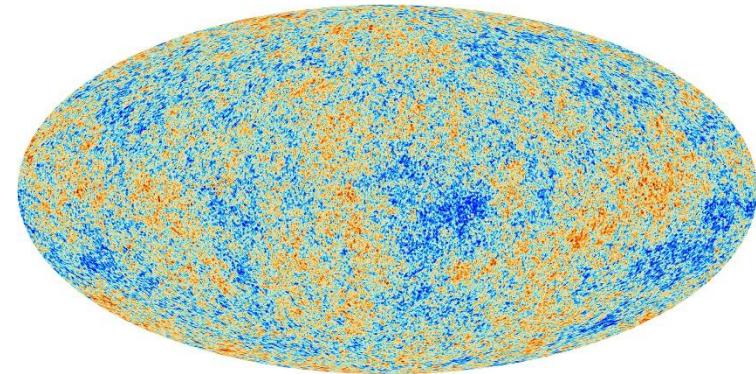
宇宙の進化

宇宙の進化の模式図



地球惑星科学入門第2版口絵3

宇宙背景放射のゆらぎ

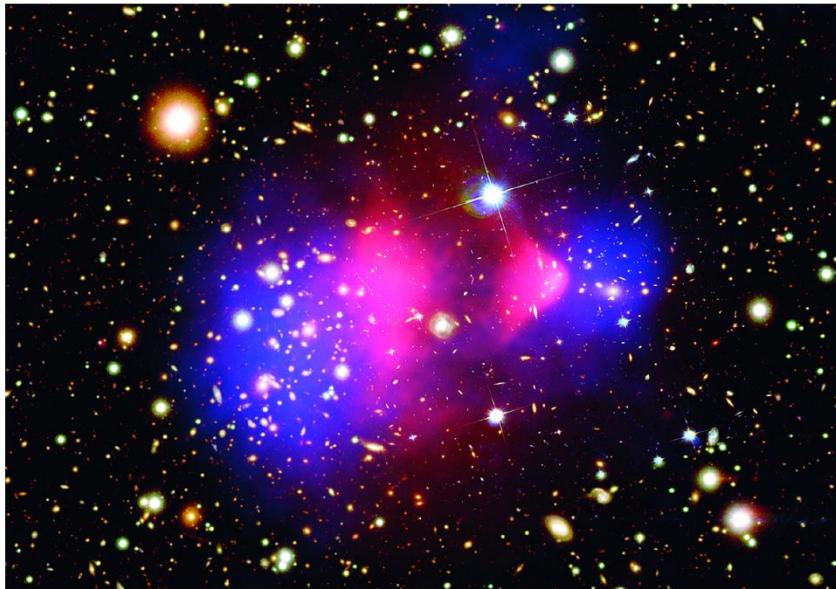


地学図表P.111

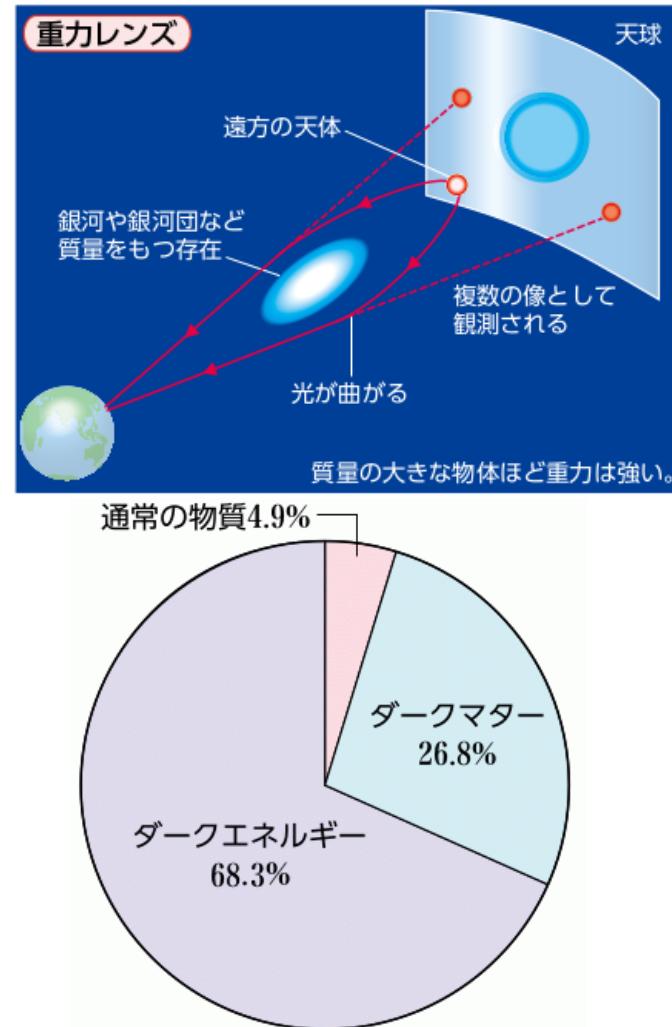
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Planck_CMB

ダークマター

- 直接見ることはできない
- 重力レンズ法による観測
- この量が宇宙の進化を決定



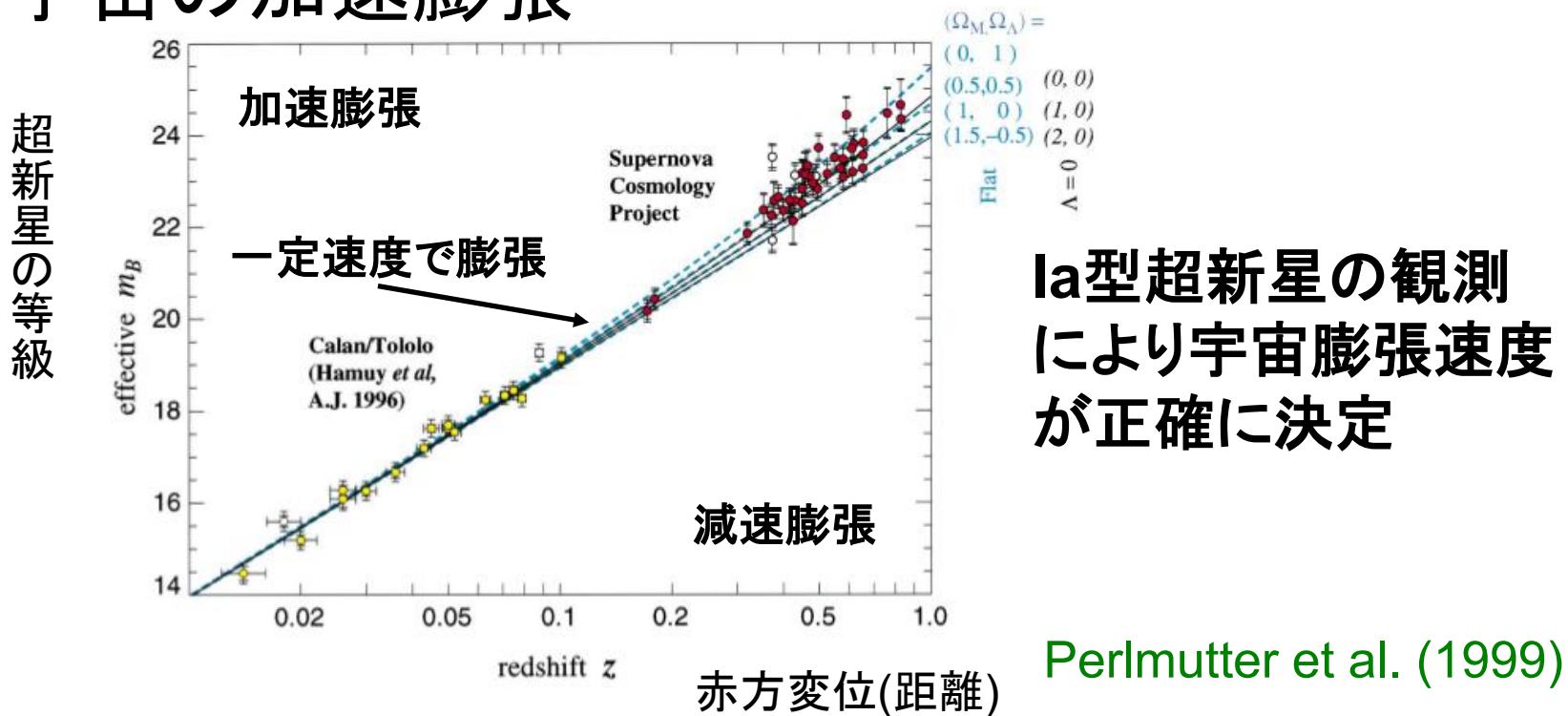
くじら座の銀河団 赤い部分は高温のガス
青い部分がダークマター



地学図表P.113

宇宙の「大きさ」の時間変化

- 宇宙の加速膨張



Ia型超新星の観測
により宇宙膨張速度
が正確に決定

- もとになる式: アインシュタイン方程式

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$