

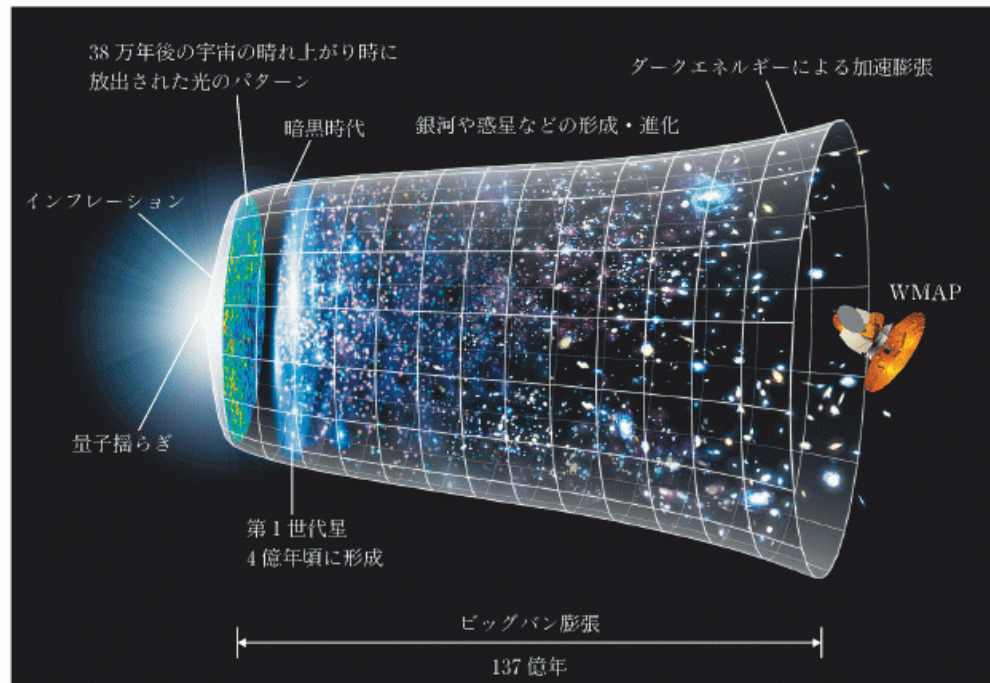
地球惑星科学II

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？



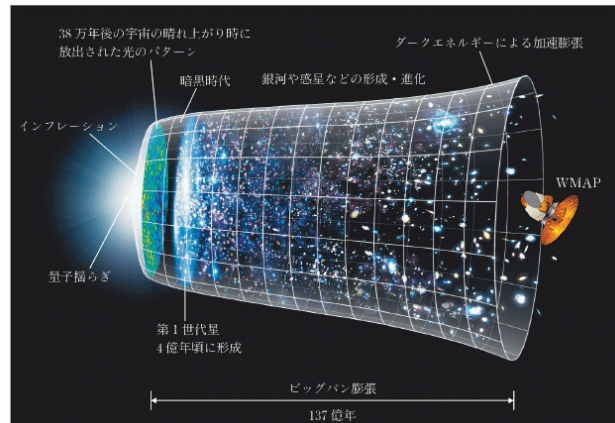
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 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



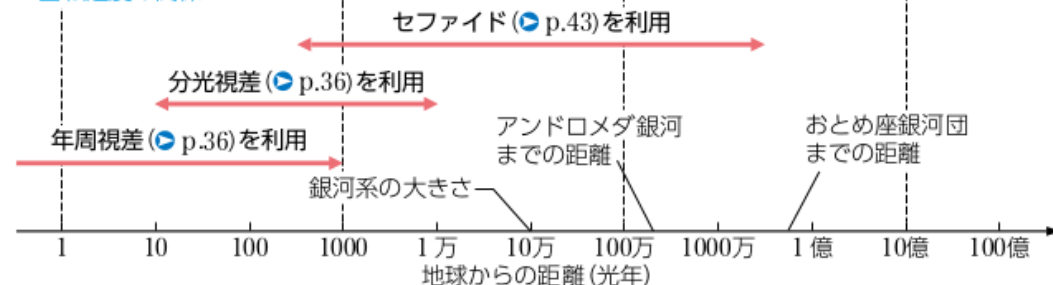
地球惑星科学入門第2版口絵3

地球惑星科学入門第2版P.368

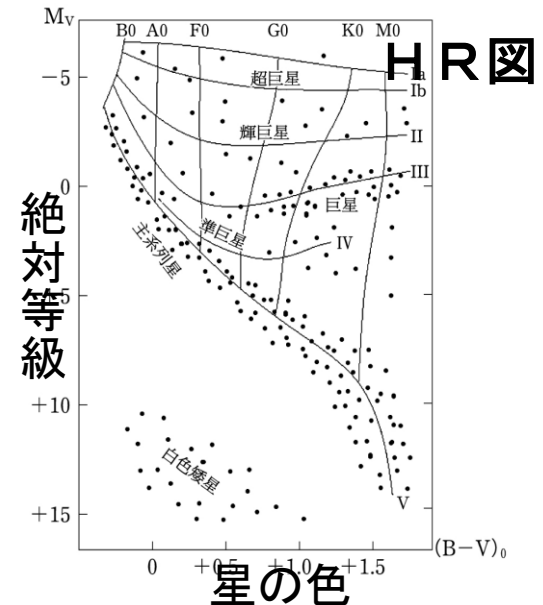
- 複数の方法を「つなぎあわせて」遠方天体の距離を決定

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



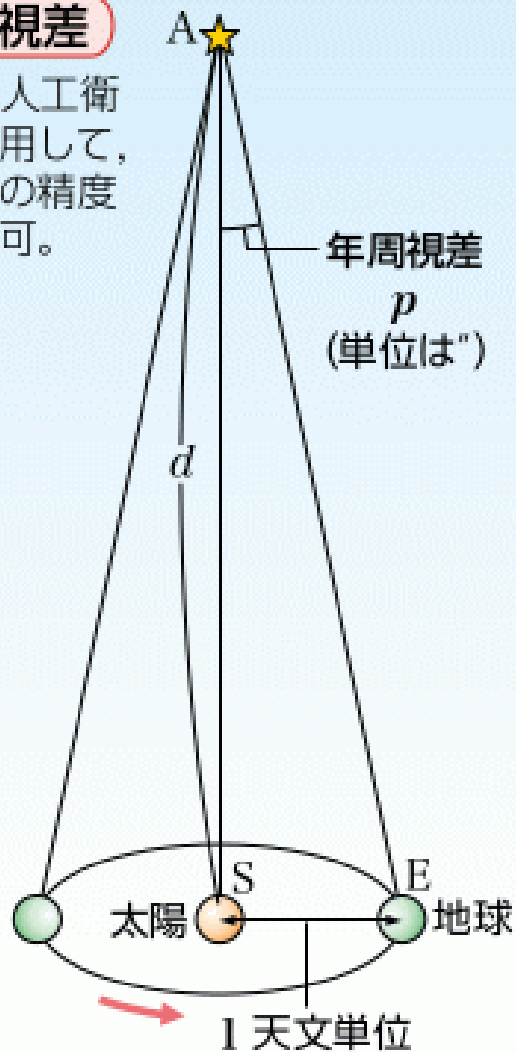
地学図表P.113



年周視差

年周視差

p は、人工衛星を利用して、 $0.001''$ の精度で測定可。

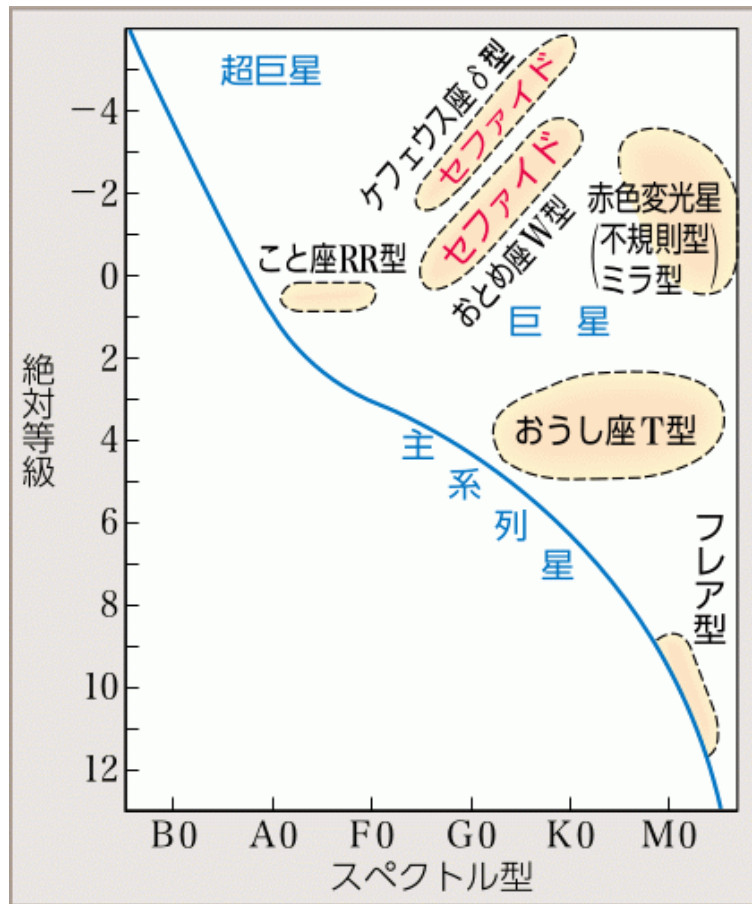


年周視差が1秒
となる距離を
1 パーセク(parsec)
という

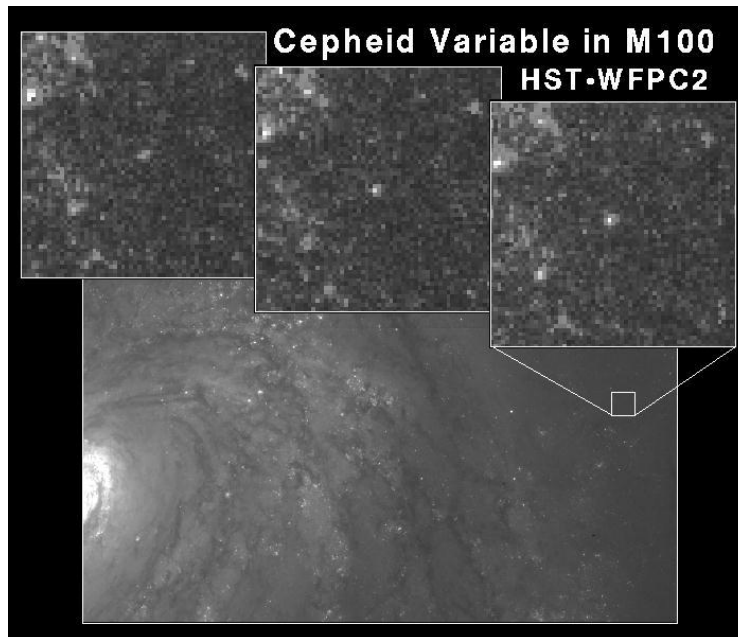
月の視直径はおよそ
 $0.5^\circ = 30' = 1800''$

3000光年程度までの
距離を測定

セファイド

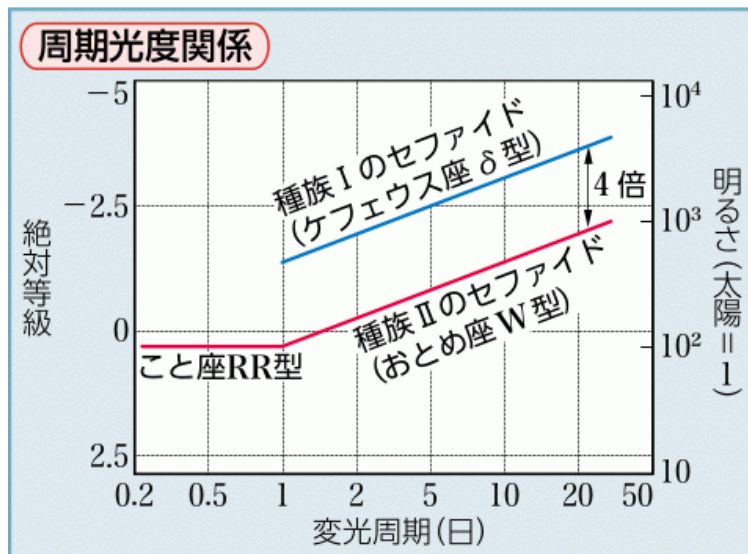


地学図表P.147



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
ボックス)



400～6500光年程度の
距離を測定

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/>

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まったもの

地学図表P.117



- 銀河群と銀河団

銀河群
銀河数：
50個
程度



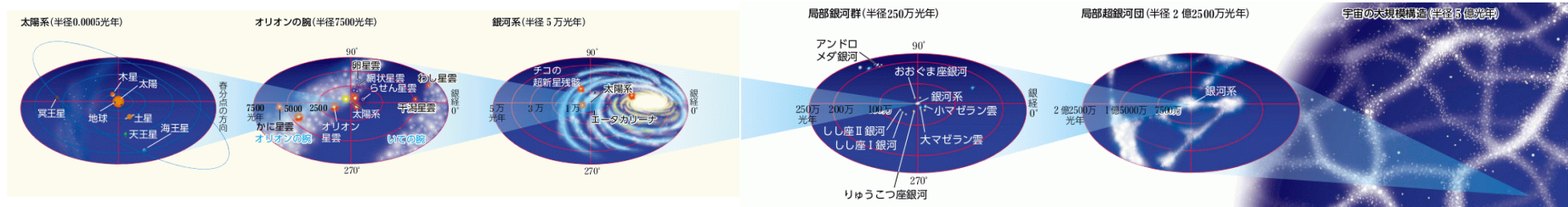
銀河団
銀河数：
100～1000
個程度



地学図表P.114

宇宙の階層構造・大規模構造

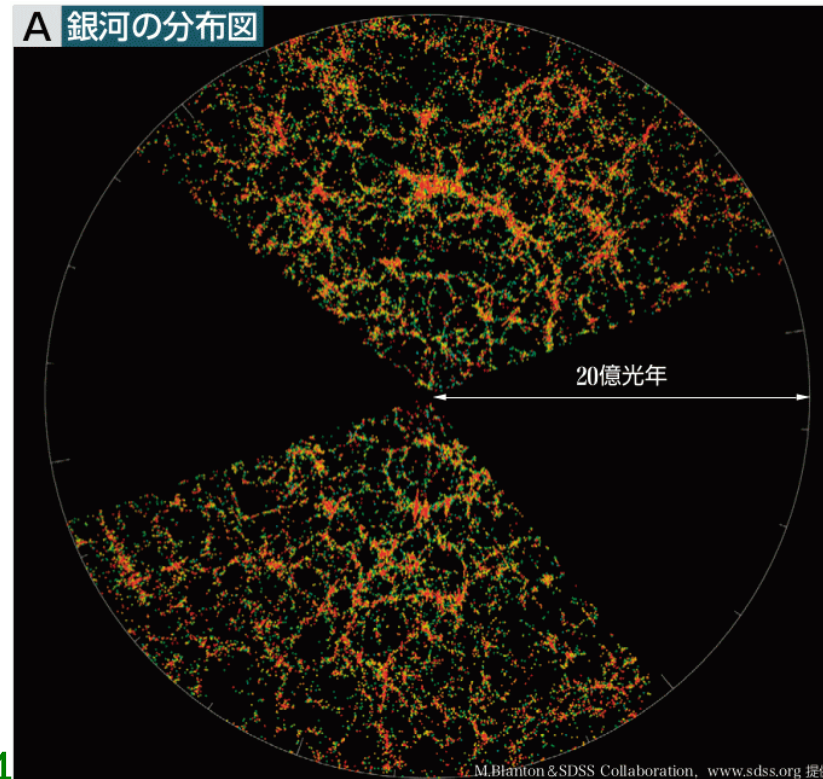
宇宙階層構造



地学図表P.114

宇宙階層構造

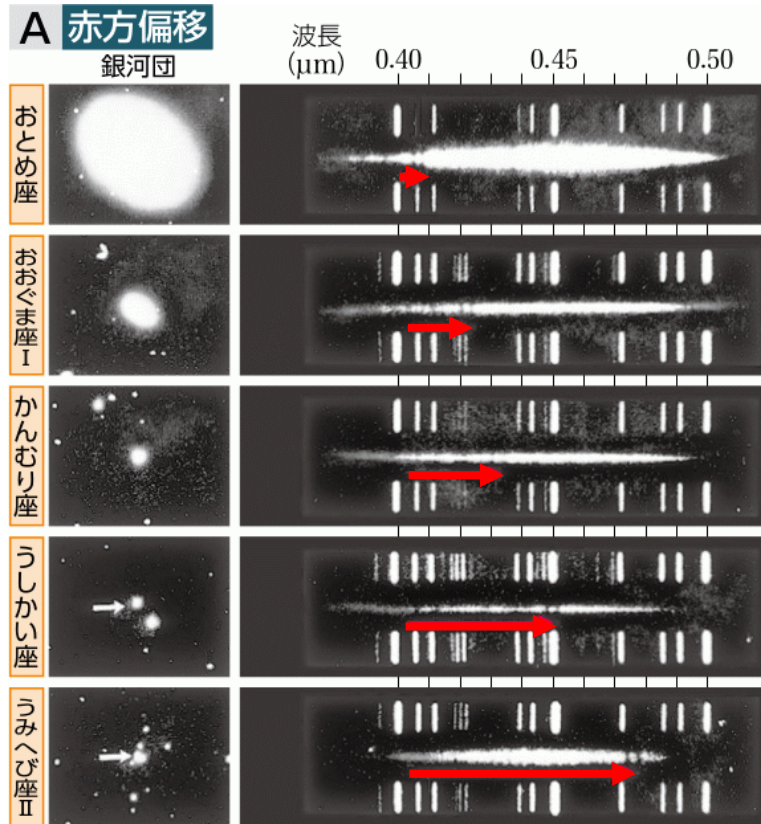
- グレートウォール
- ボイド



地学図表P.114

銀河の赤方偏移

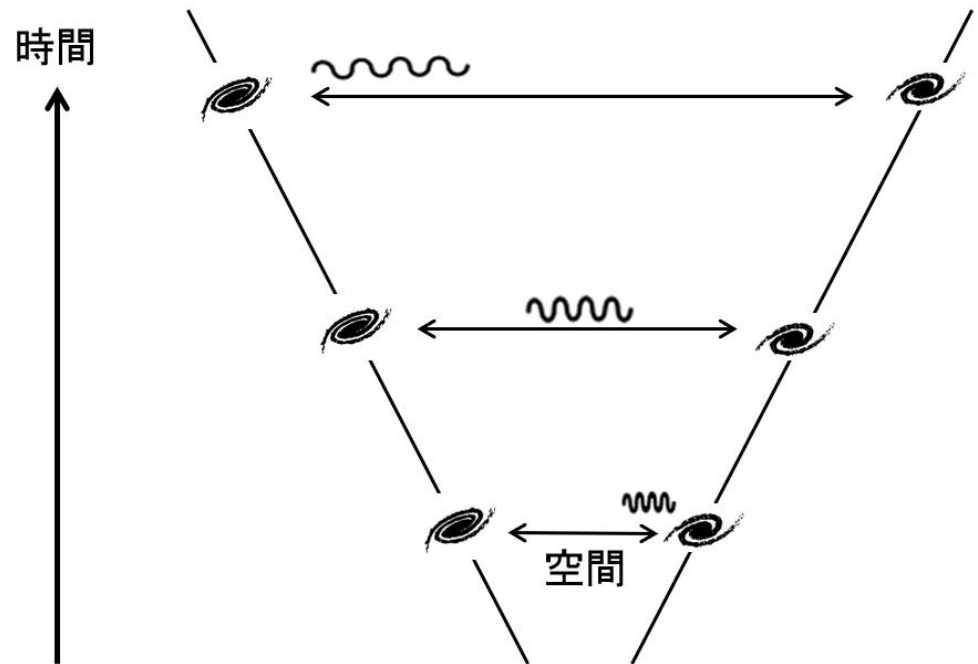
暗線の波長が銀河によって異なる



赤方偏移

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

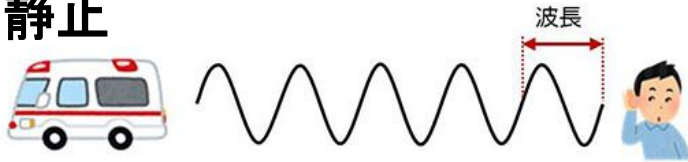


<https://astro-dic.jp/redshift>

ハッブル・ルメートルの法則

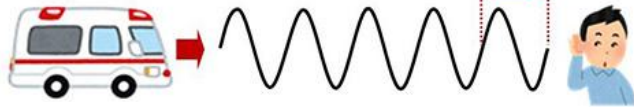
波長の変化は後退速度にも
対応付けられる(ドップラー効果)

音源が静止



音源が近づく

高音

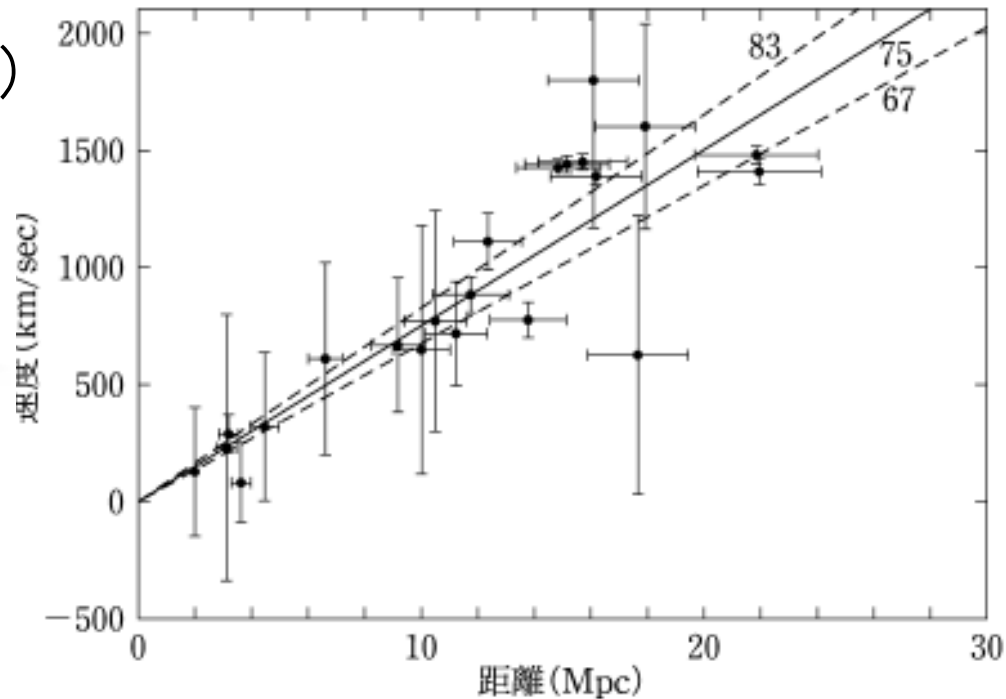
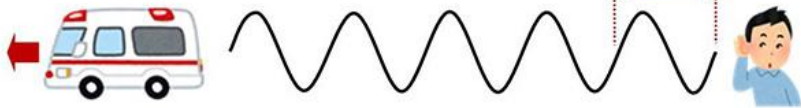


い=周波数が高い

音源が遠ざかる

低音

波長が長い=周波数が低い



<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



エドウィン・ハッブル

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

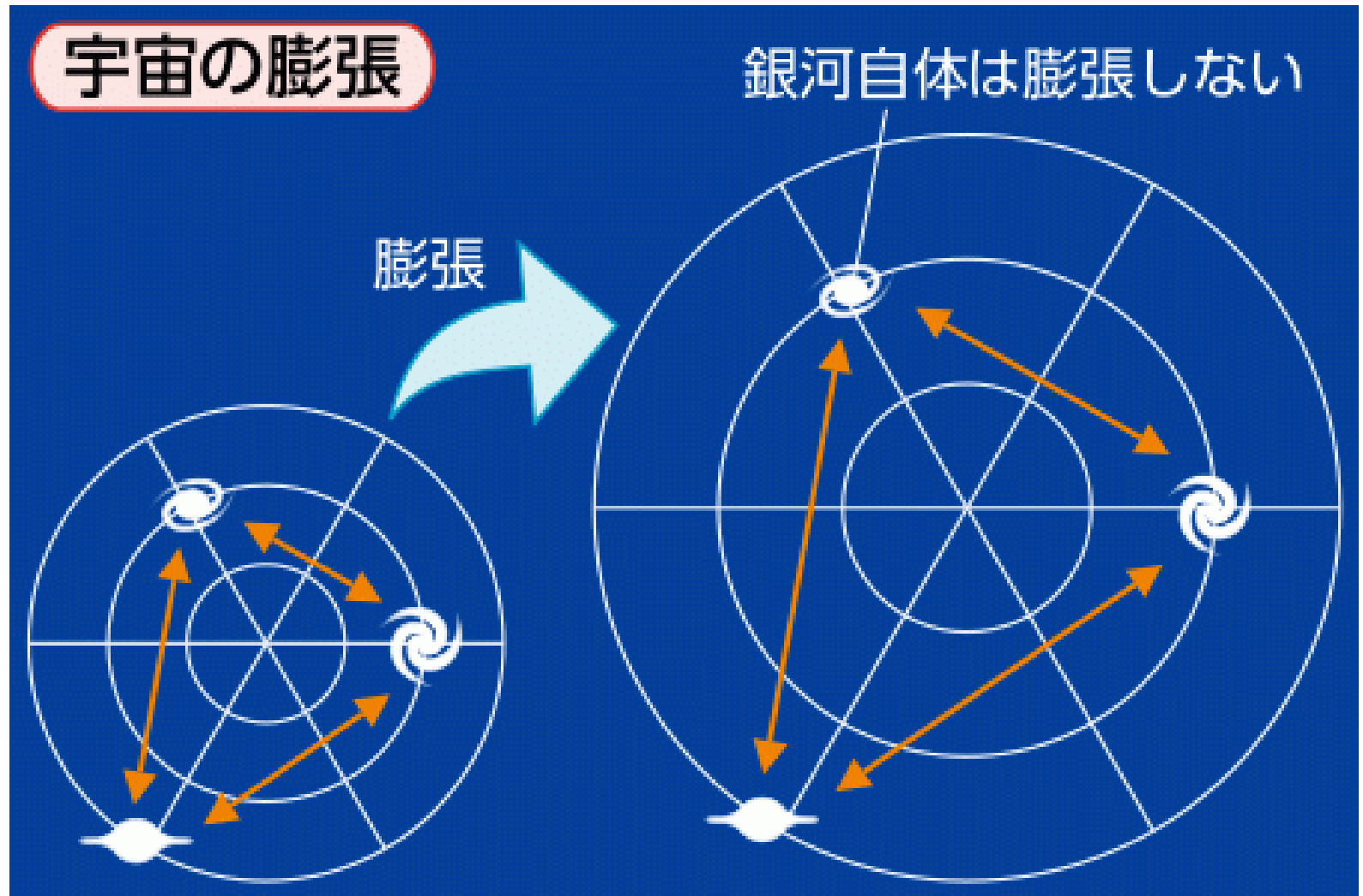
今日の計算問題

- 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)

$$v = Hr,$$

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

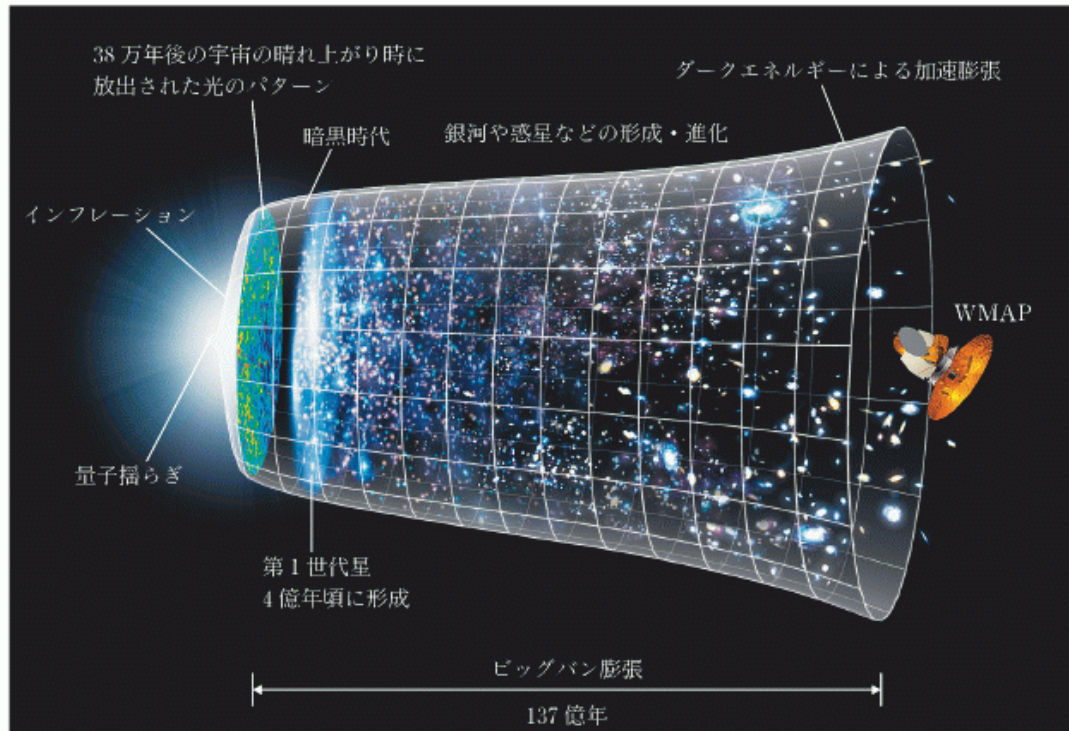
宇宙の膨張



地学図表P.112

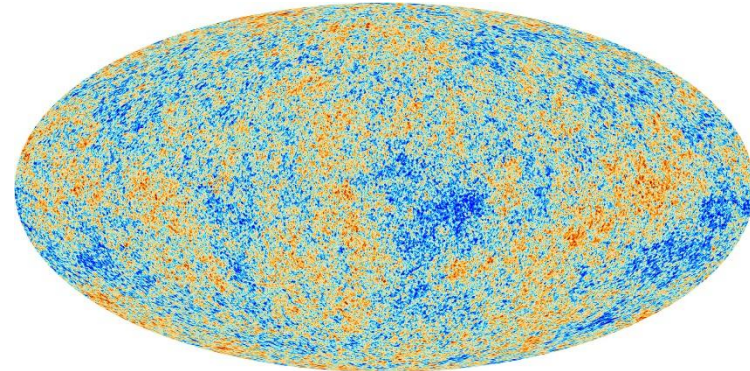
宇宙の進化

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

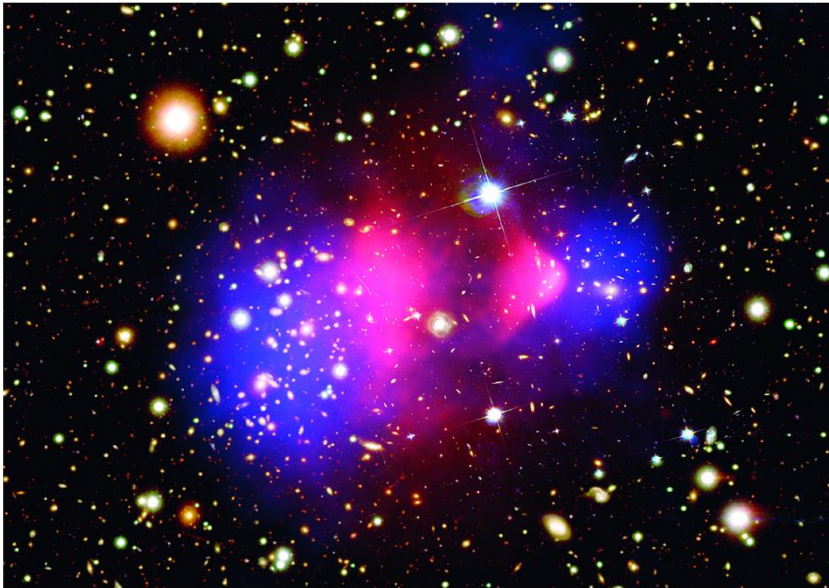


地学図表P.111

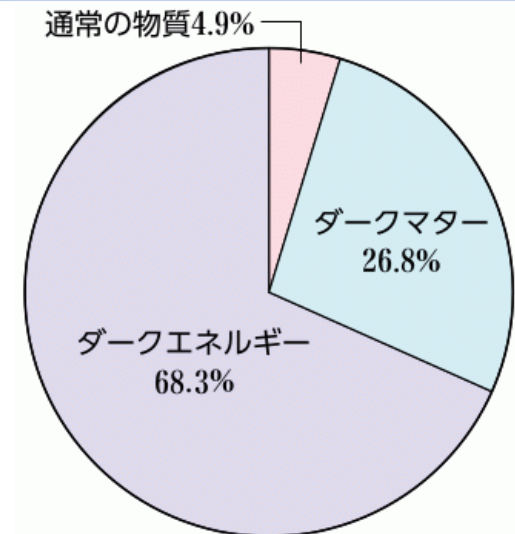
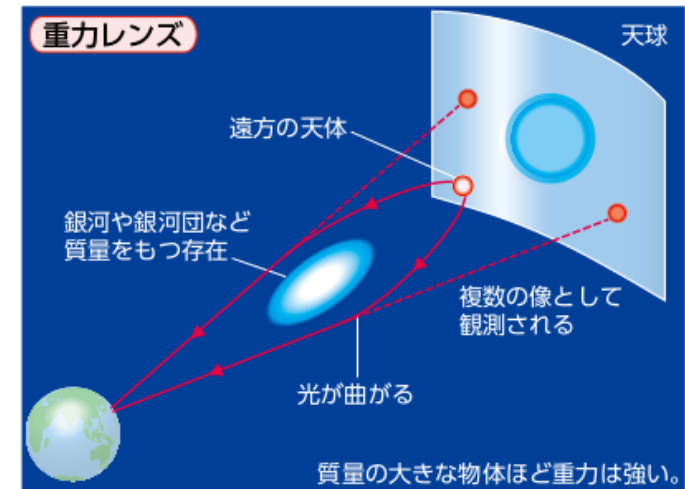
https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Planck_CMB

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



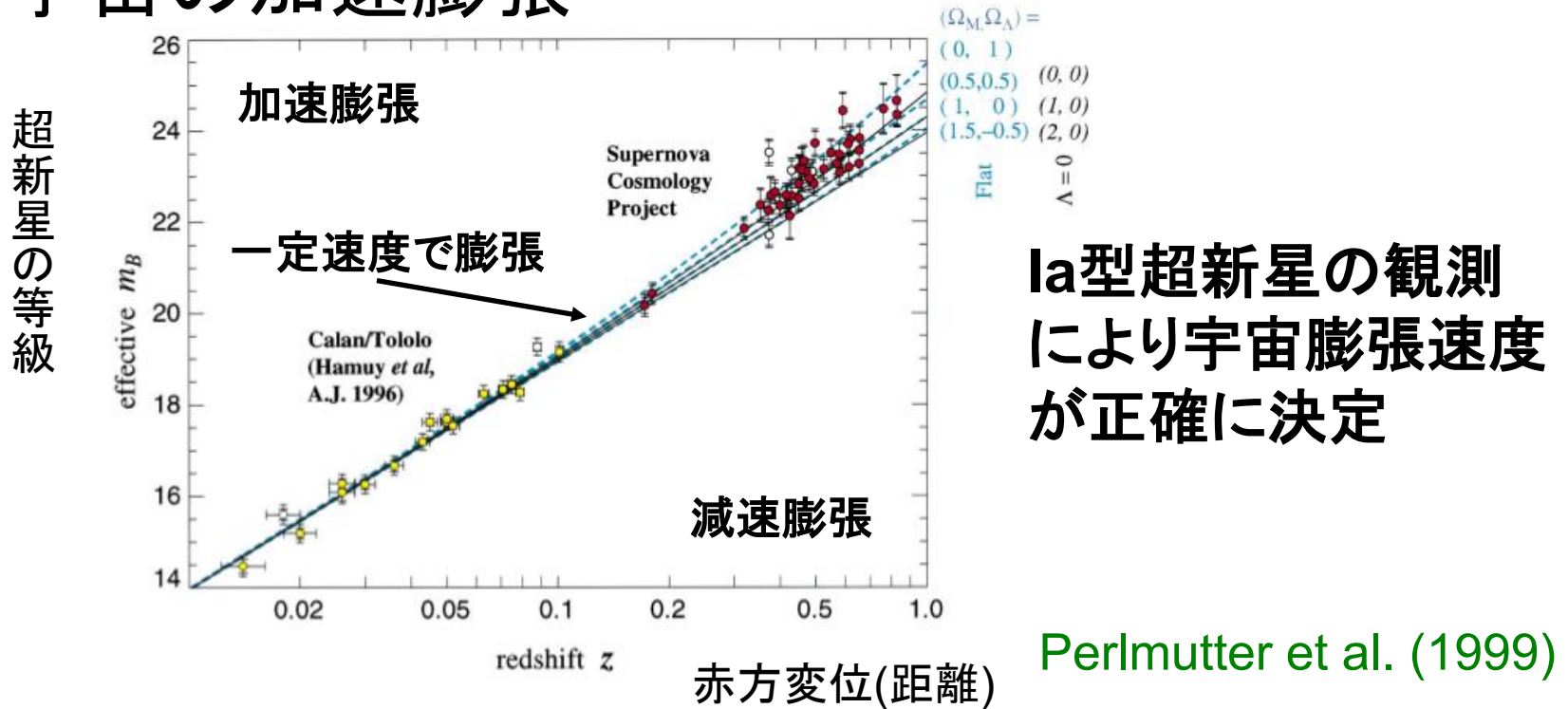
くじら座の銀河団 赤い部分は高温のガス
青い部分がダークマター



地学図表P.113

宇宙の「大きさ」の時間変化

- 宇宙の加速膨張



- もとになる式: アインシュタイン方程式

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