

地球惑星科学II

第13回

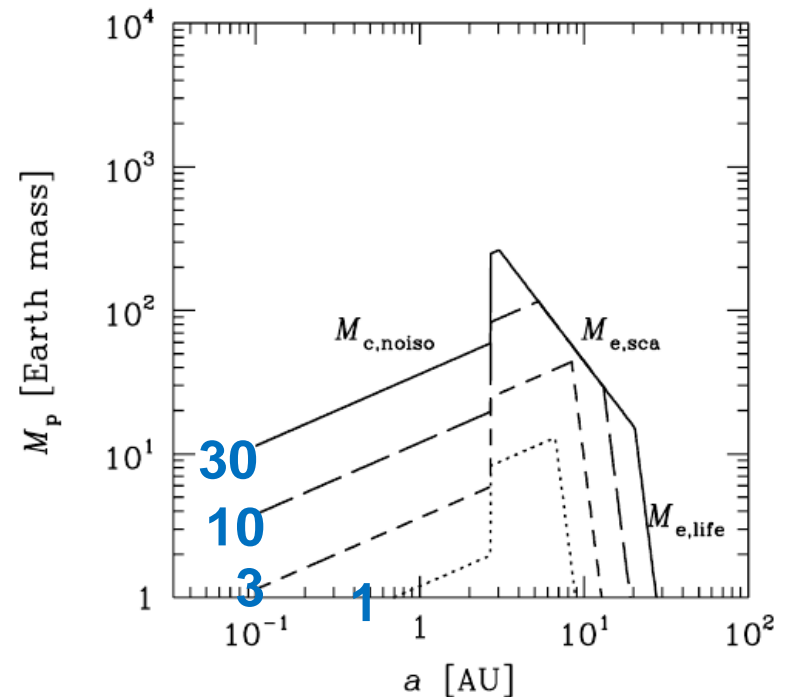
2023年01月19日

前回のミニレポート

- 星間分子雲の状態が変わると、形成される惑星系はどのように変化すると考えられるか？

- 解答例

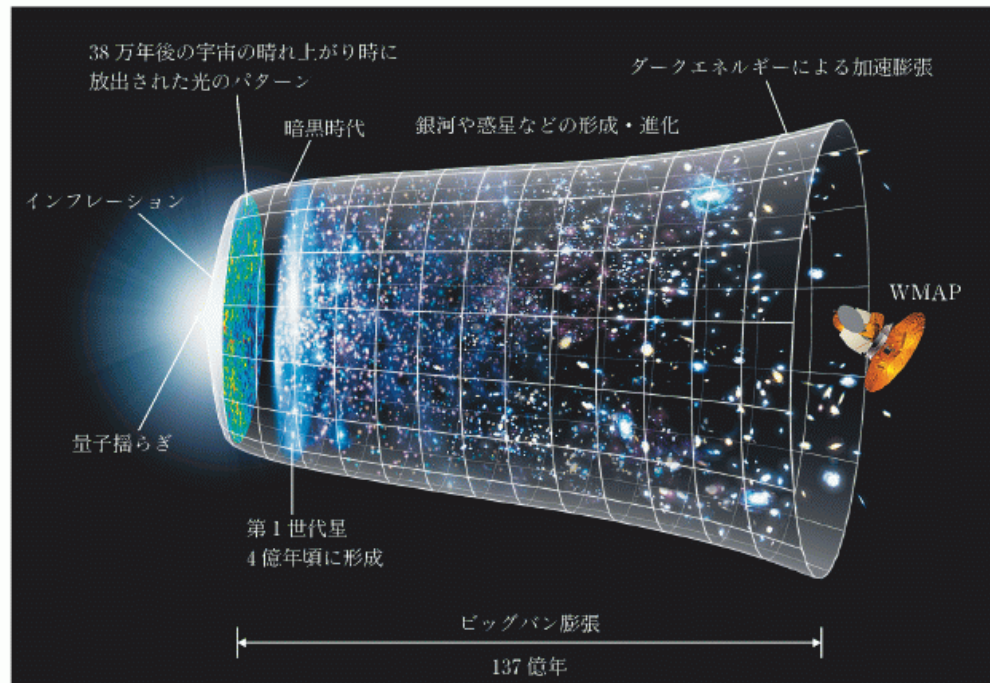
- 星間分子雲の密度が大きくなった時、単純に微惑星や原始惑星になるための材料が多くなるので、出来上がった恒星や惑星は従来よりも大きくなる
- 宇宙形成初期のほぼHとHeしか含まない星間分子雲からは、惑星が生じず、小惑星・彗星と星間物質、そして恒星のみが形成される可能性が考えられる



Ida and Lin (2004)

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？



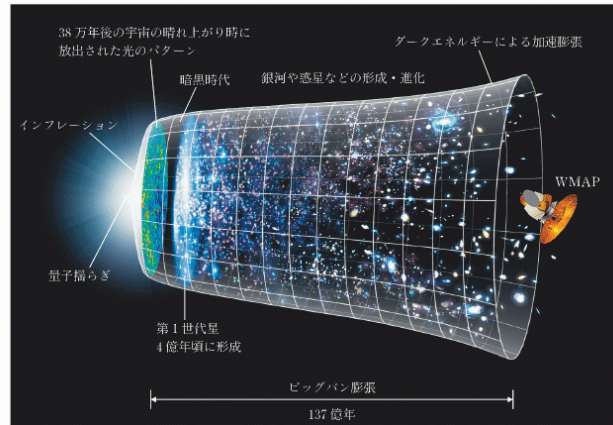
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 参照：地球惑星科学入門第2版30章、31章

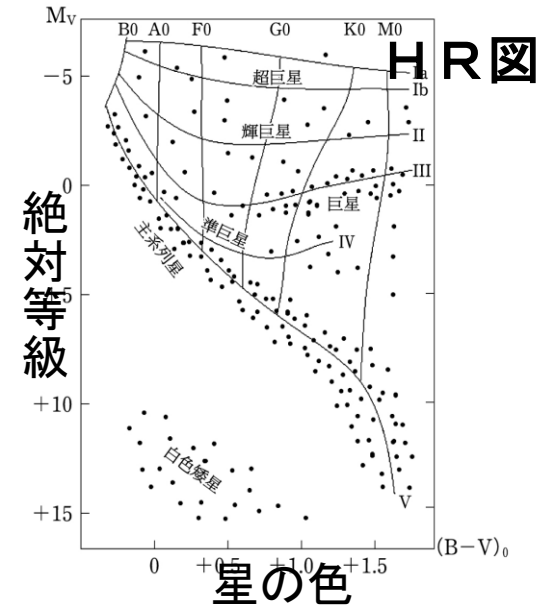
宇宙の距離梯子

- 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

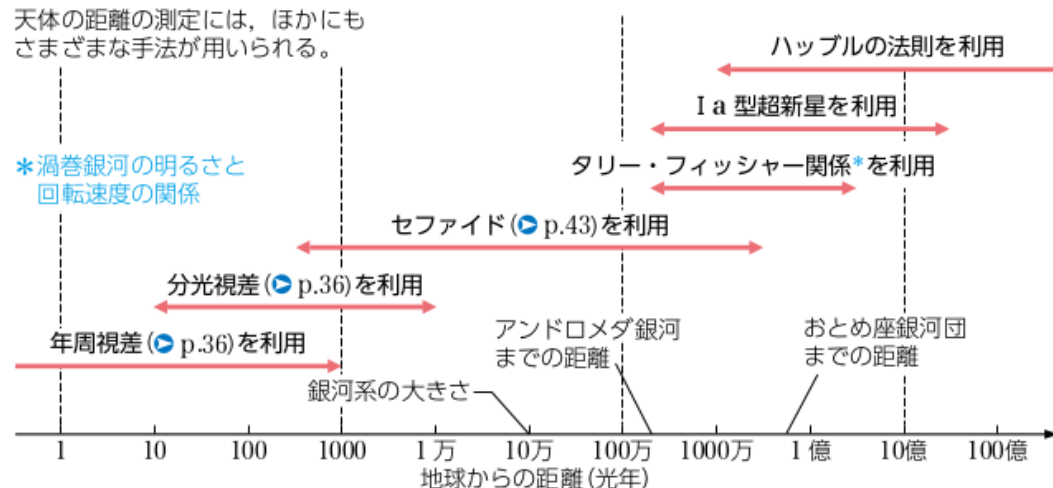


地球惑星科学入門第2版P.368

- 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

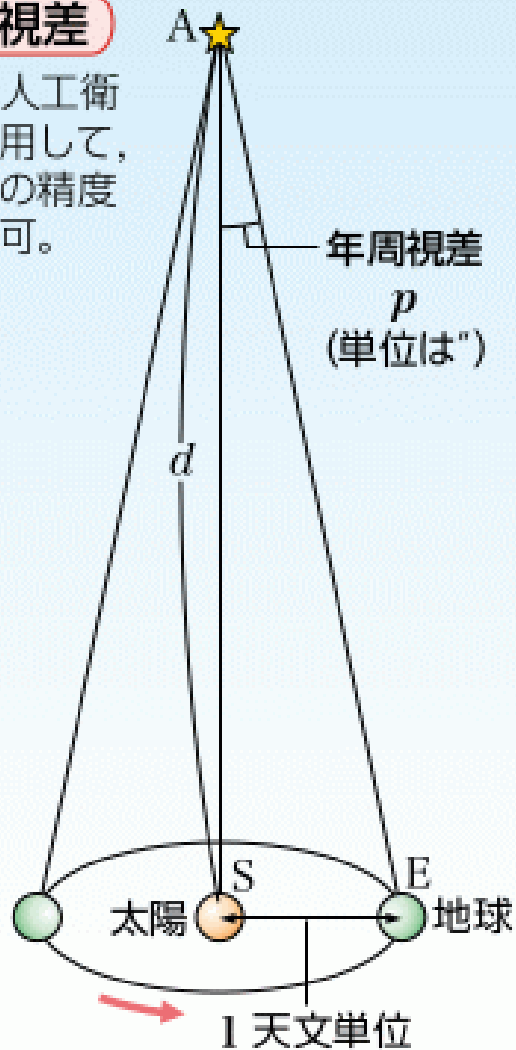


地学図表P.11

年周視差

年周視差

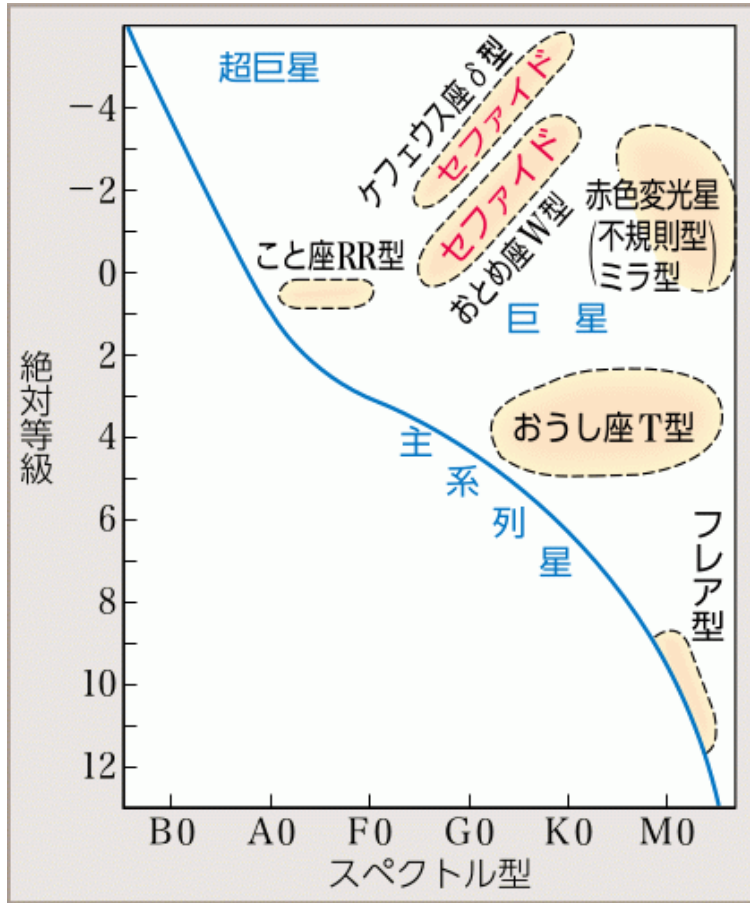
p は、人工衛星を利用して、 $0.001''$ の精度で測定可。



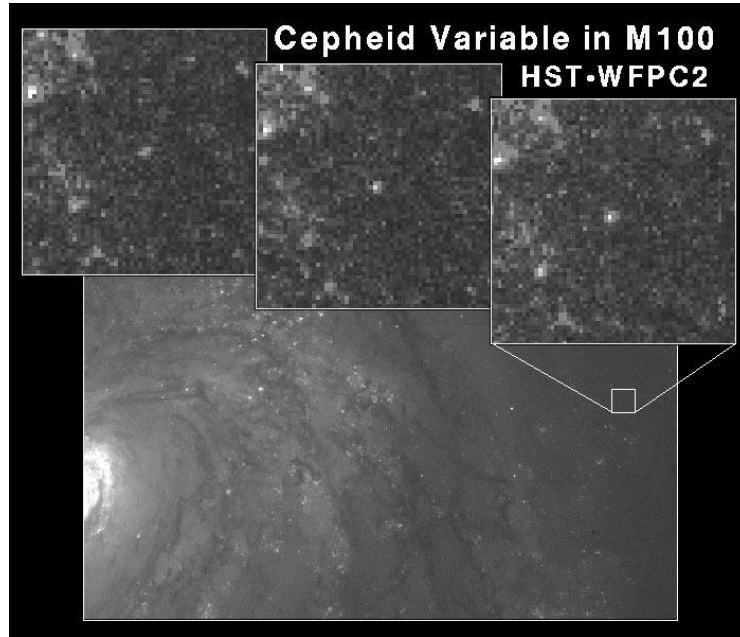
年周視差が1秒
となる距離を
1パーセク(parsec)
という

3000光年程度までの
距離を測定

セファイド

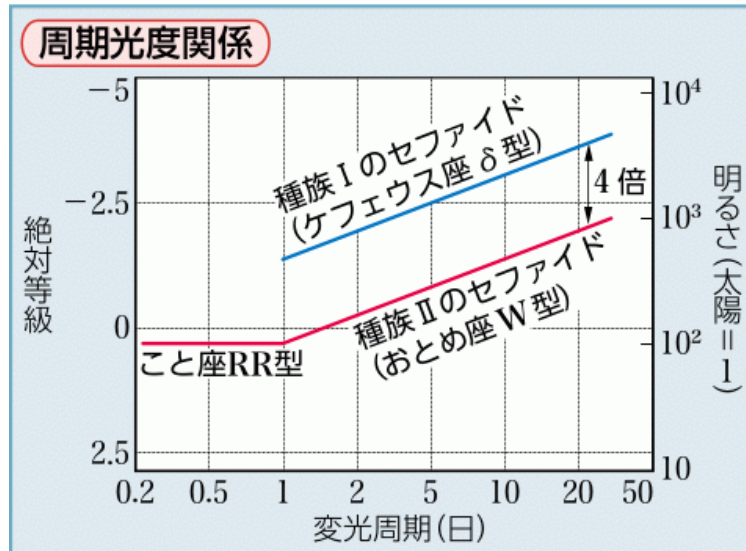


地学図表P.45



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)



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

銀河

- 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.15



- 銀河群と銀河団

銀河群

銀河数:
50個
程度



銀河団

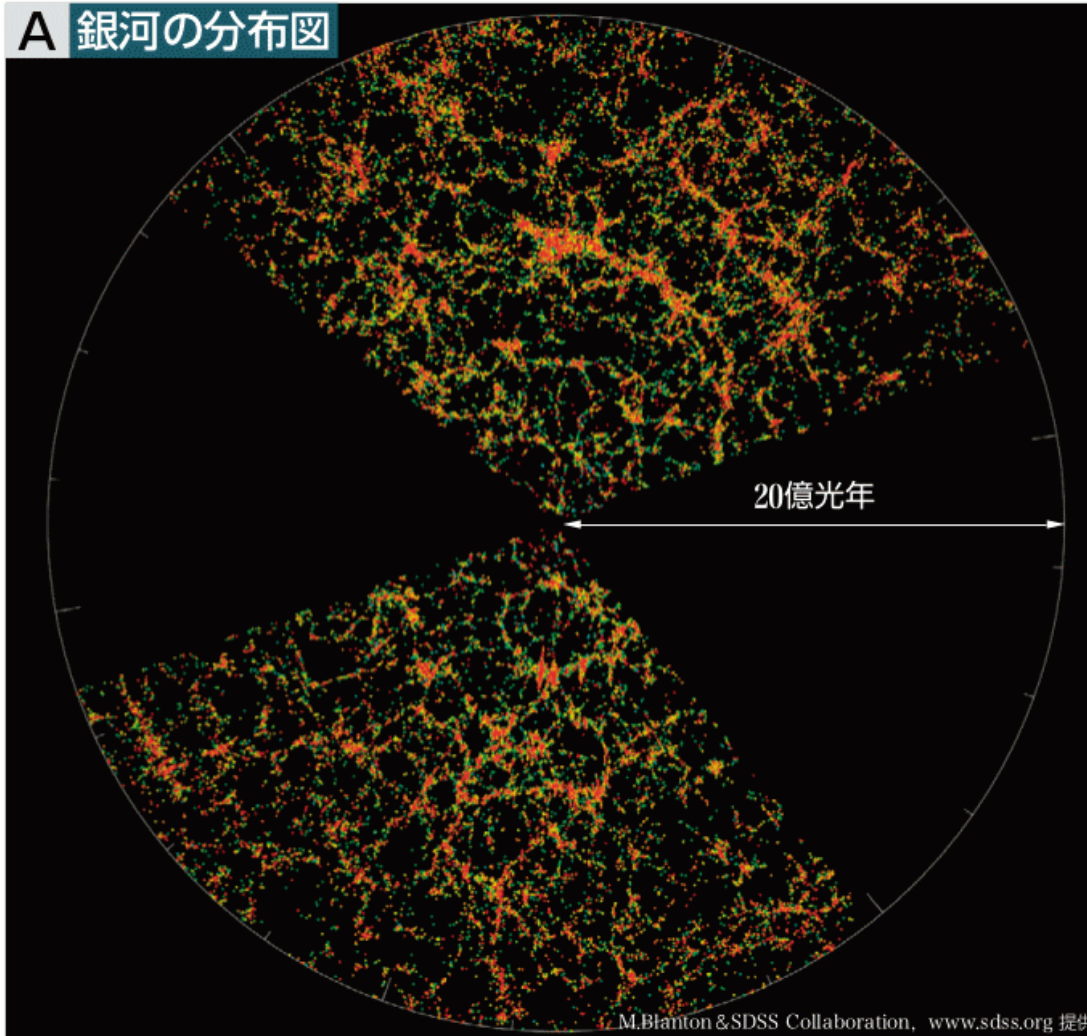
銀河数:
50～100
個程度



地学図表P.12

宇宙の大規模構造

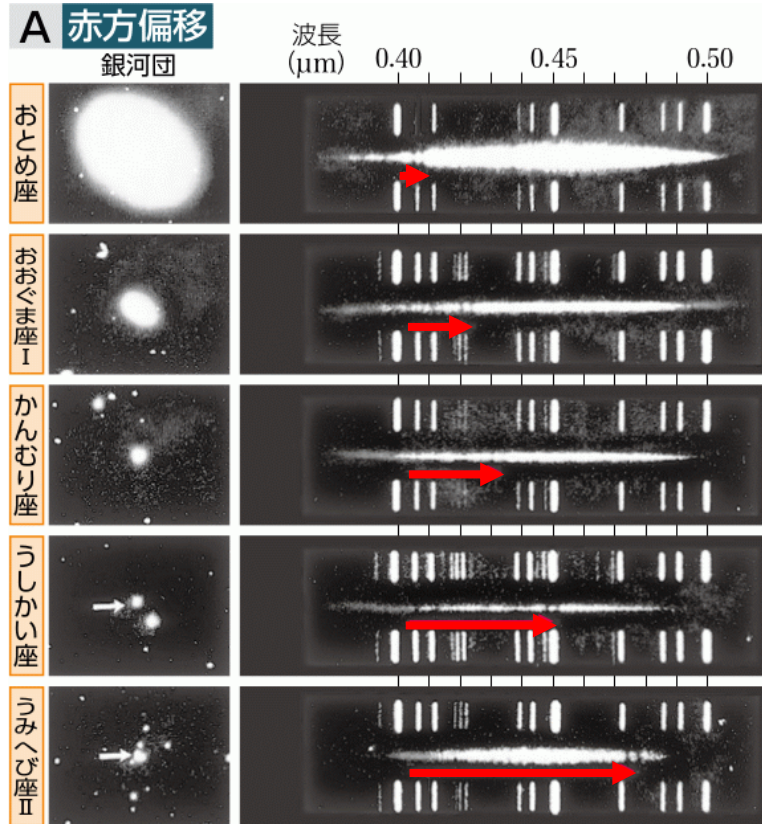
A 銀河の分布図



- グレートウォール
- ボイド

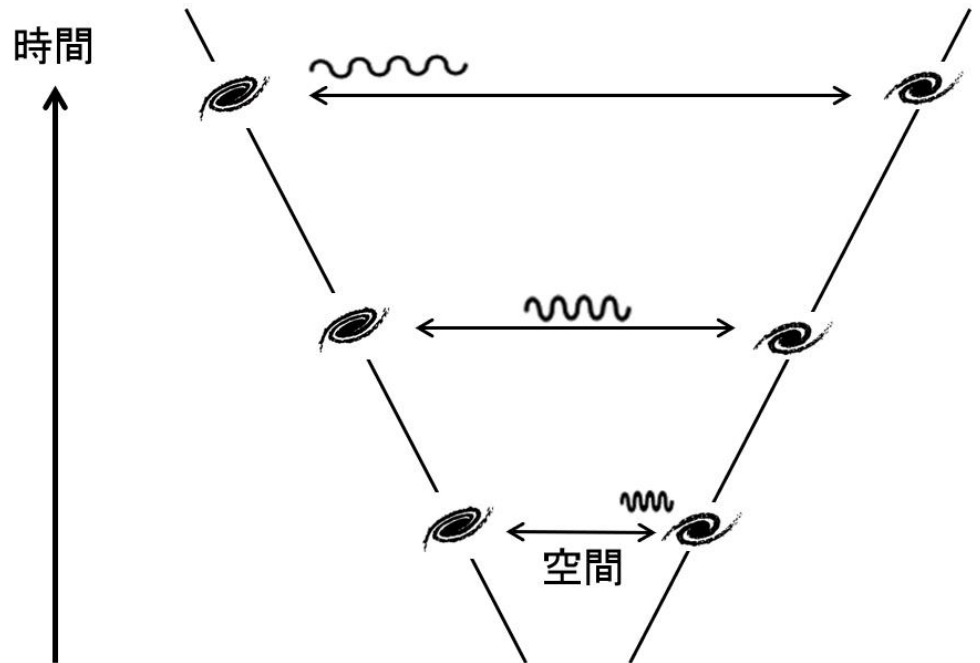
銀河の赤方偏移

暗線の波長が銀河によって異なる



赤方偏移

赤方偏移は空間の膨張により起こる

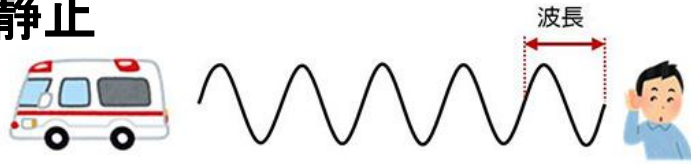


<https://astro-dic.jp/redshift>

ハッブルの法則

波長の変化は後退速度に対応付けられる(ドップラー効果)

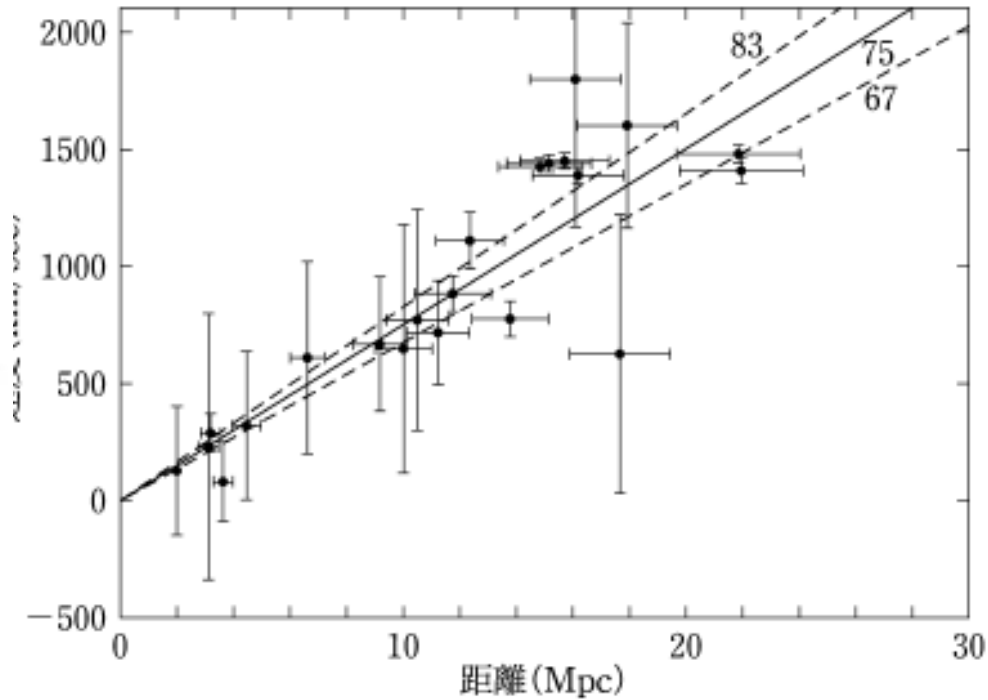
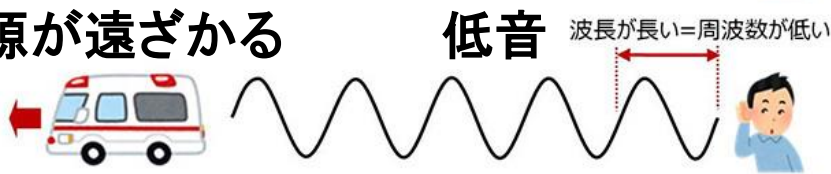
音源が静止



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)

$$v = Hr,$$

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

計算問題：計算例

- 137億光年先の後退速度

– ハッブルの法則

$$v = Hr,$$

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

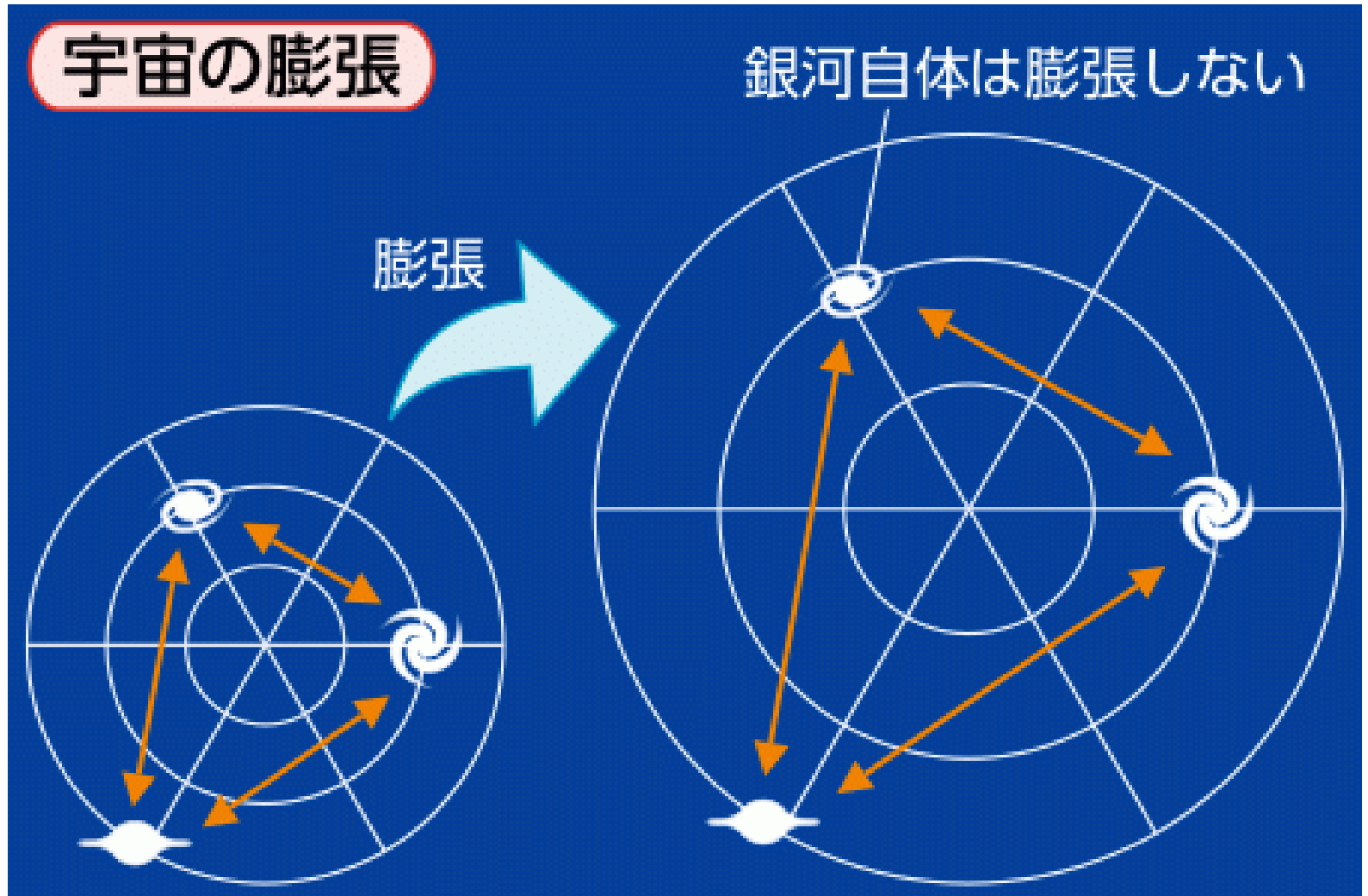
– 解答例

$$v = Hr = 2.4 \times 10^{-5} \text{ km sec}^{-1} (\text{光年})^{-1} \times 137 \times 10^8 [\text{光年}]$$

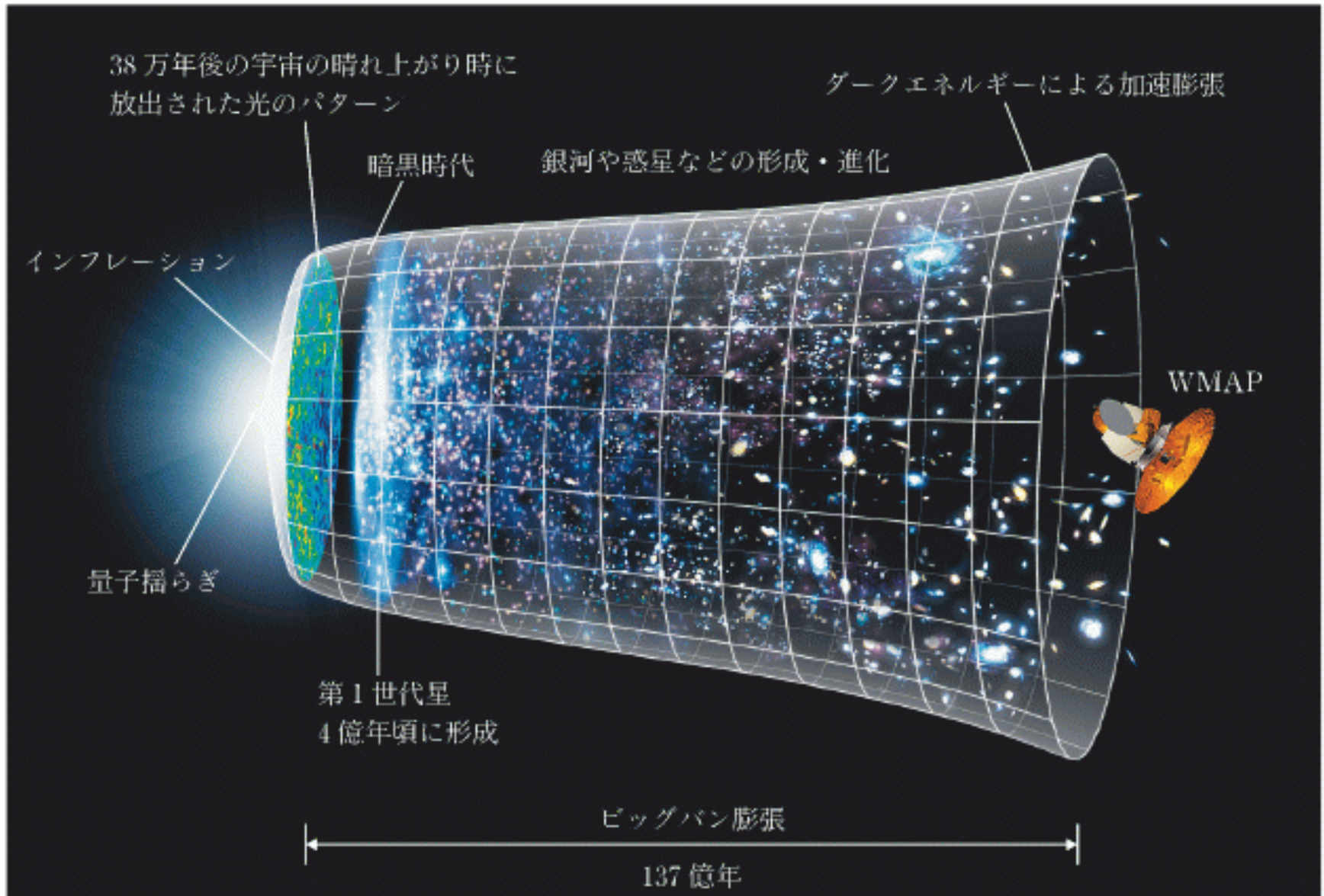
$$= 3.28 \times 10^5 \text{ km sec}^{-1}$$

$$\sim 3 \times 10^8 \text{ m sec}^{-1}$$

宇宙の膨張

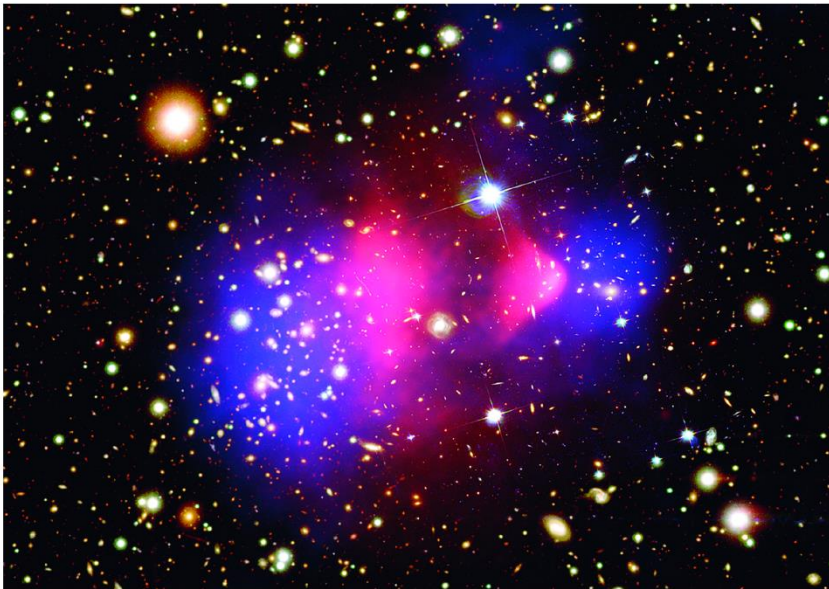


宇宙の進化

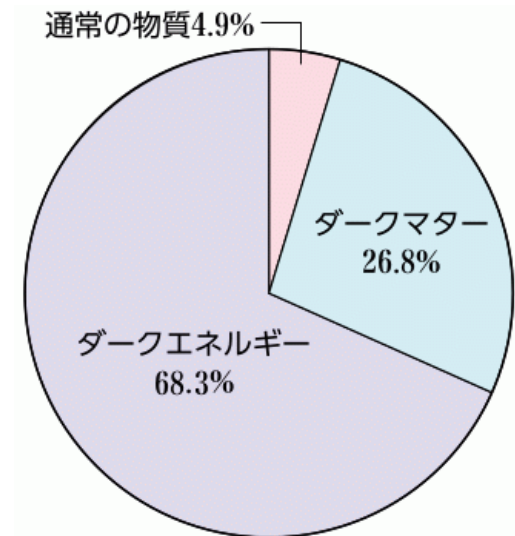
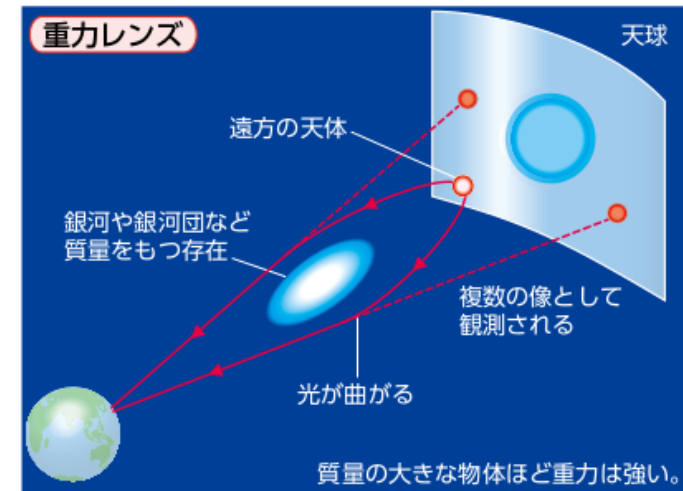


ダークマター

- 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



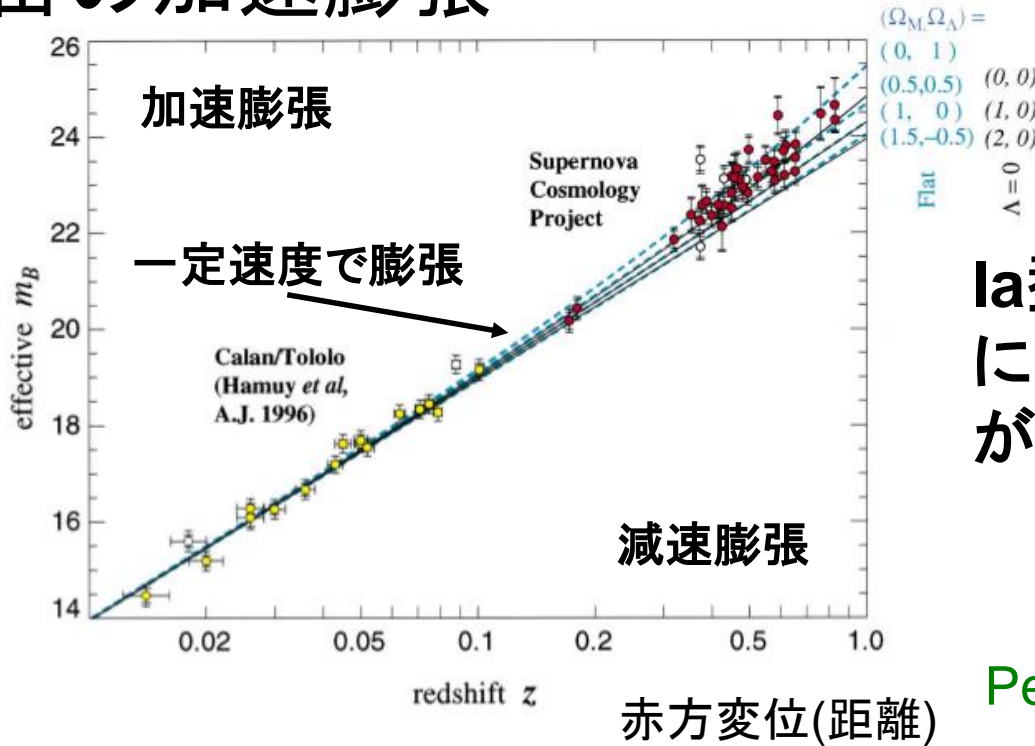
くじら座の銀河団 赤い部分は高温のガス
青い部分がダークマター



宇宙の「大きさ」の時間変化

- 宇宙の加速膨張

超新星の等級



la型超新星の観測により宇宙膨張速度が正確に決定

Perlmutter et al. (1999)

- もとになる式: アインシュタイン方程式

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