

# 地球惑星科学II

## 第13回

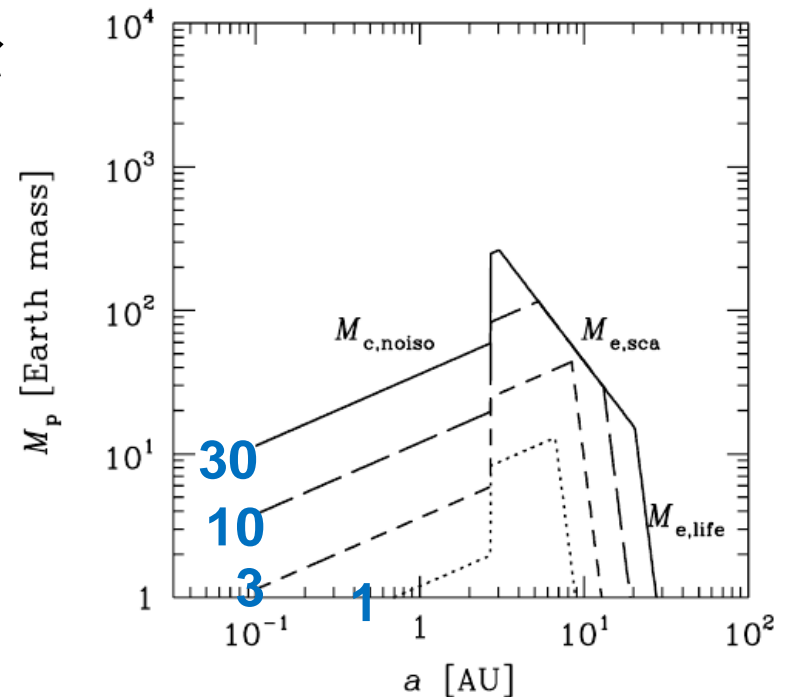
2024年01月18日

# 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

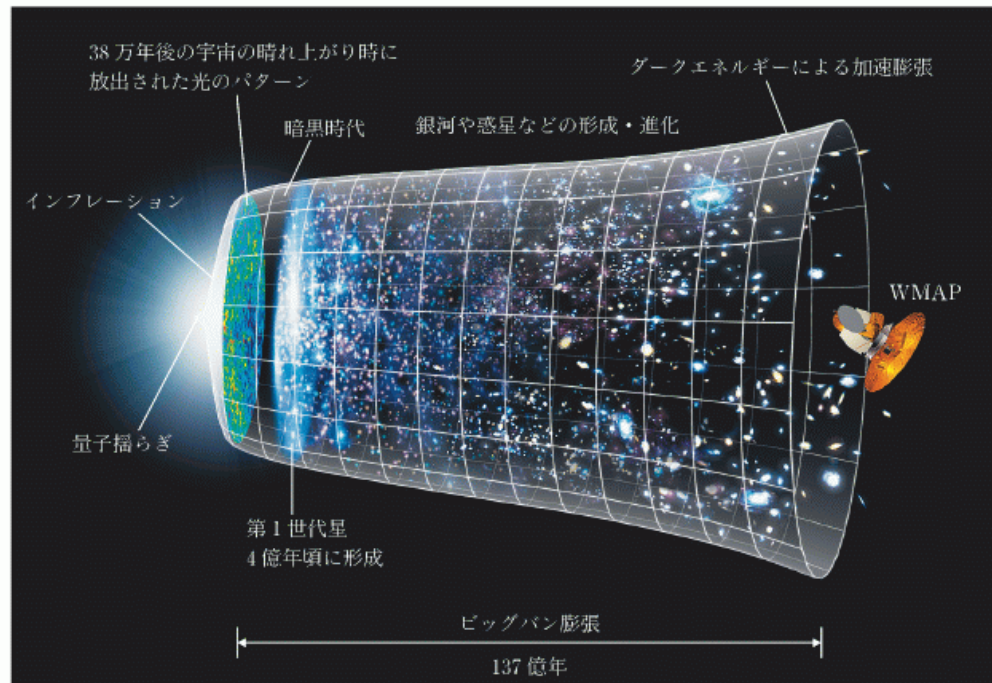
- 分子雲内の物質密度の増加が起きると、惑星の形成が促進される。2つの恒星が誕生する可能性もある
- 星間分子雲の気体成分中の水素の割合が大きければ形成される恒星は水素の核融合に時間がかかるため寿命が長くなる



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？



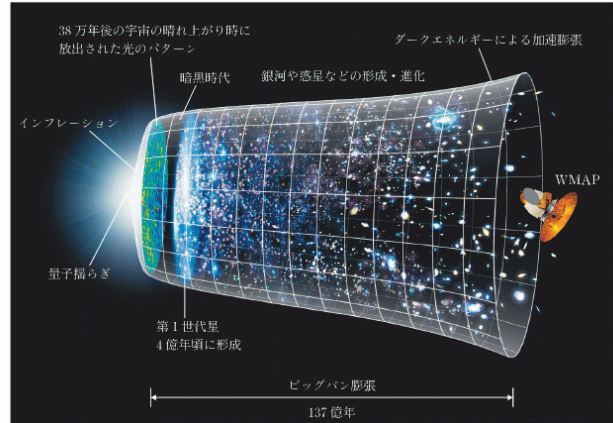
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 参照：地球惑星科学入門第2版30章、31章

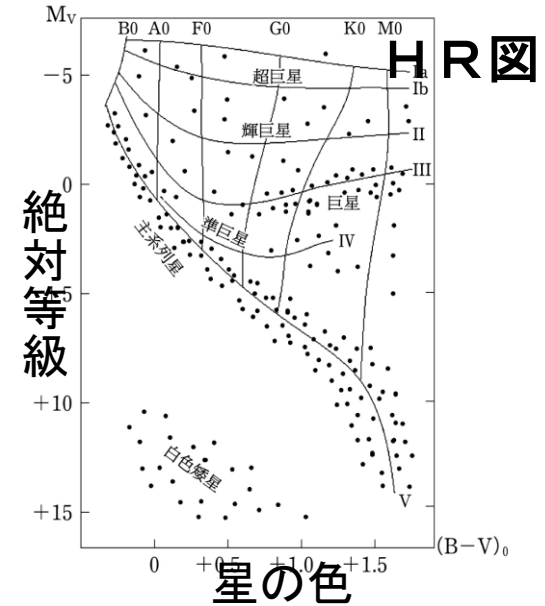
# 宇宙の距離梯子

- 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

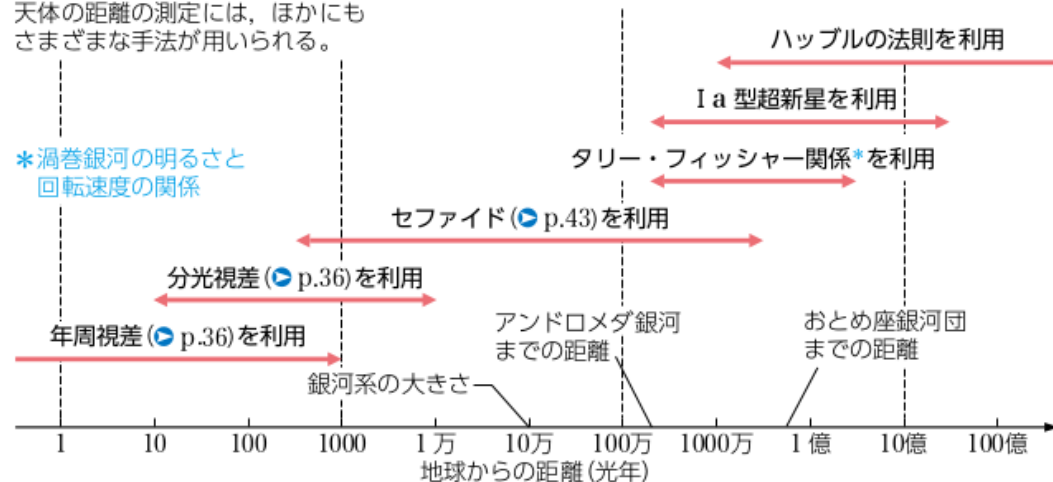


地球惑星科学入門第2版P.368

- 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



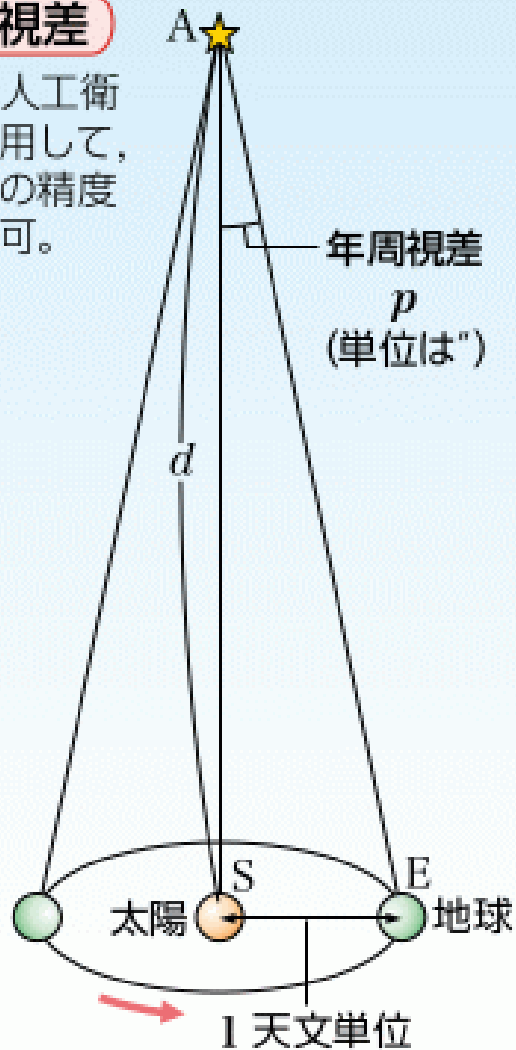
地学図表P.11

二訂版地学図表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。



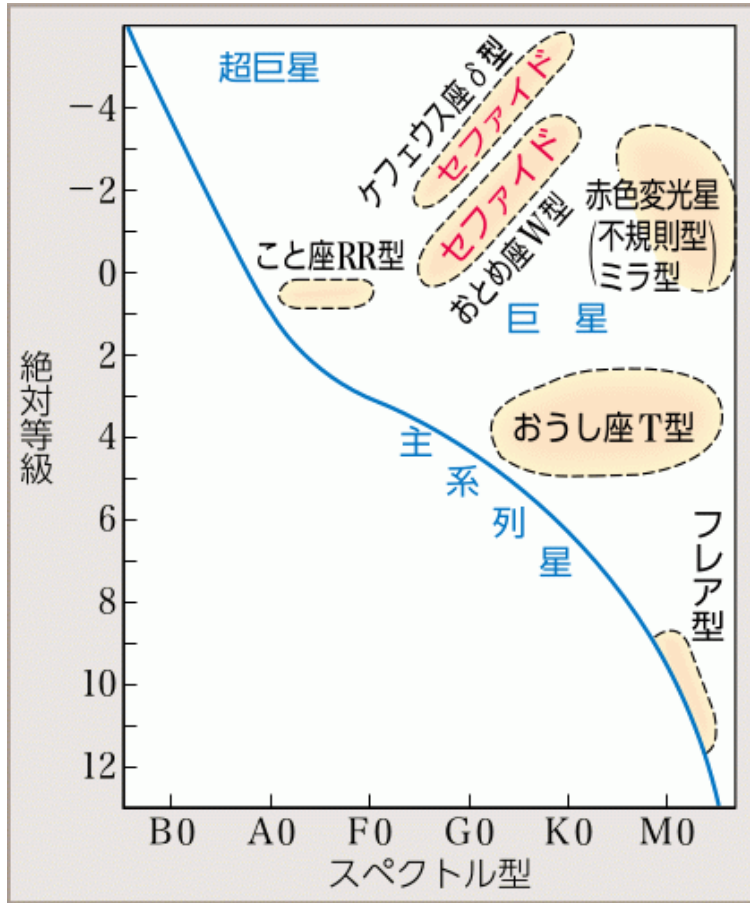
年周視差が1秒  
となる距離を  
1パーセク(parsec)  
という

3000光年程度までの  
距離を測定

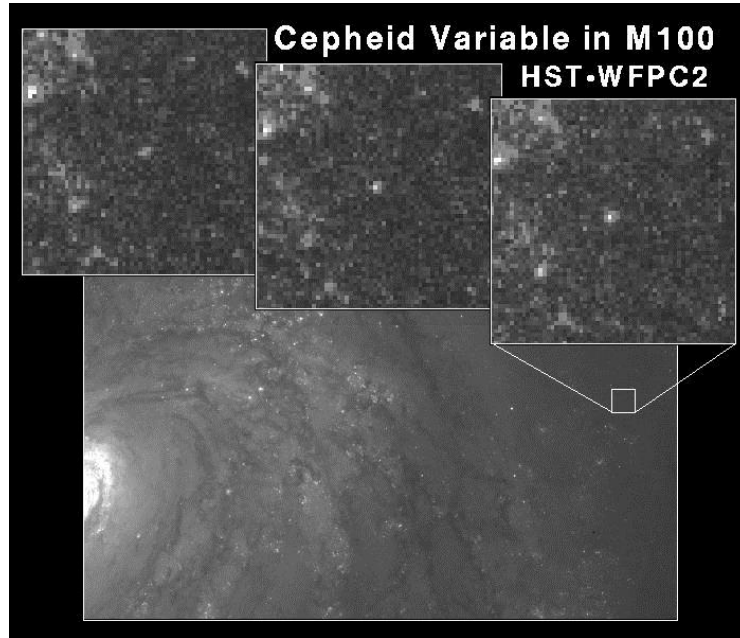
地学図表P.38

二訂版地学図表P.140

# セファイド

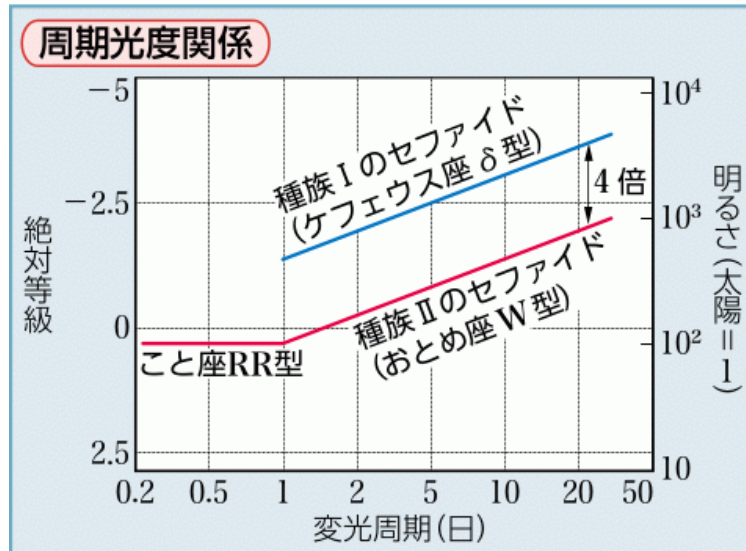


地学図表P.45  
二訂版地学図表P.147



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

# 恒星の集まりが作る構造：星団・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

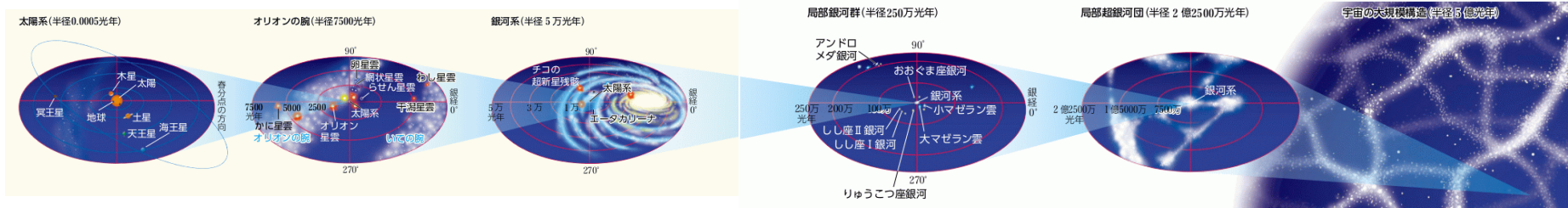


地学図表P.12



# 宇宙の階層構造・大規模構造

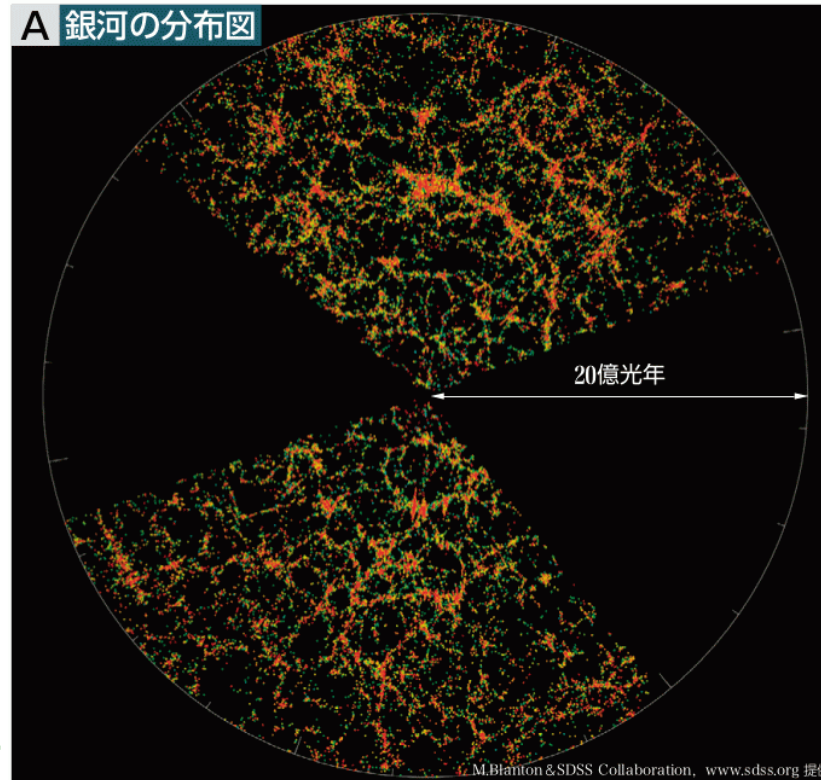
## 宇宙階層構造



地学図表P.12  
二訂版地学図表P.114

## 宇宙階層構造

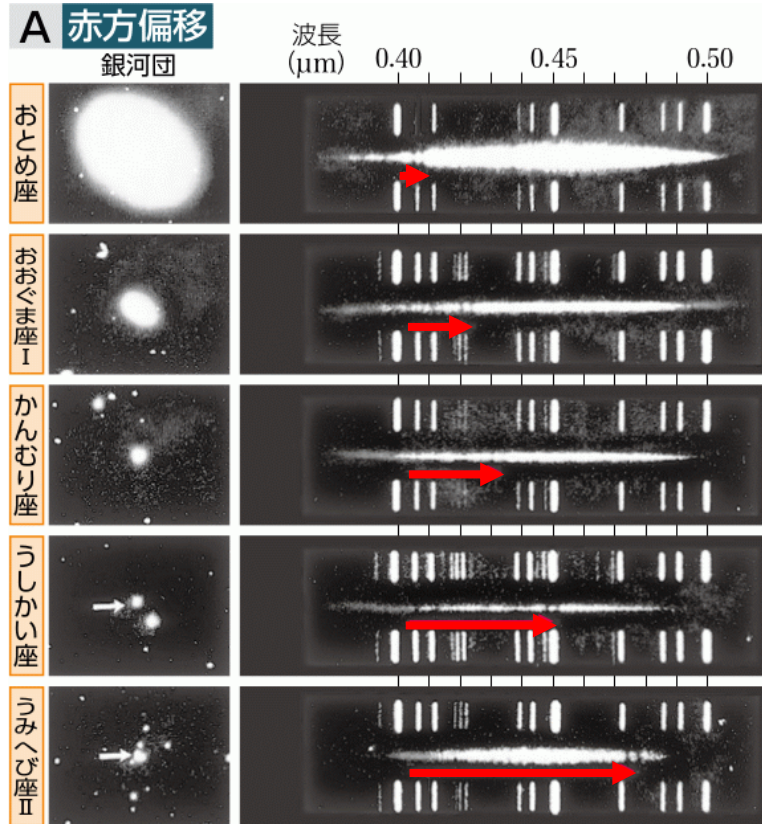
- グレートウォール
- ボイド



地学図表P.12  
二訂版地学図表P.114

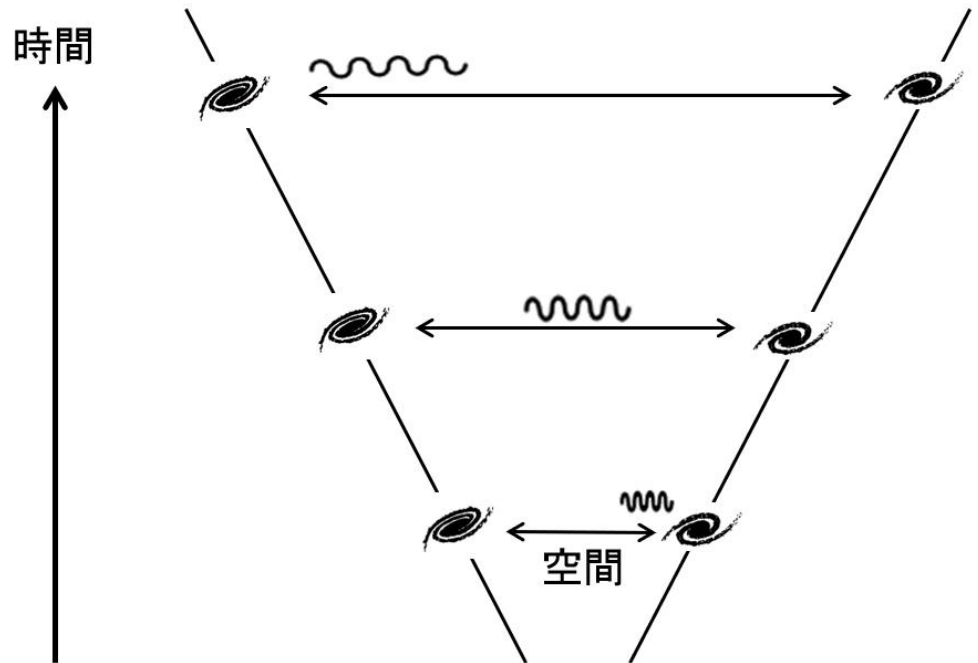
# 銀河の赤方偏移

暗線の波長が銀河によって異なる



**赤方偏移**

赤方偏移は空間の膨張により起こる

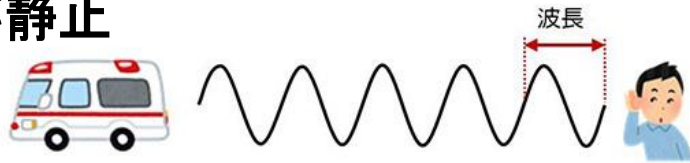


<https://astro-dic.jp/redshift>

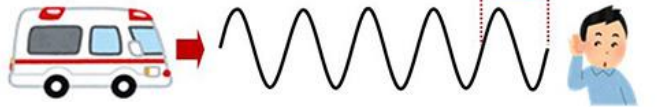
# ハッブル・ルメートルの法則

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)

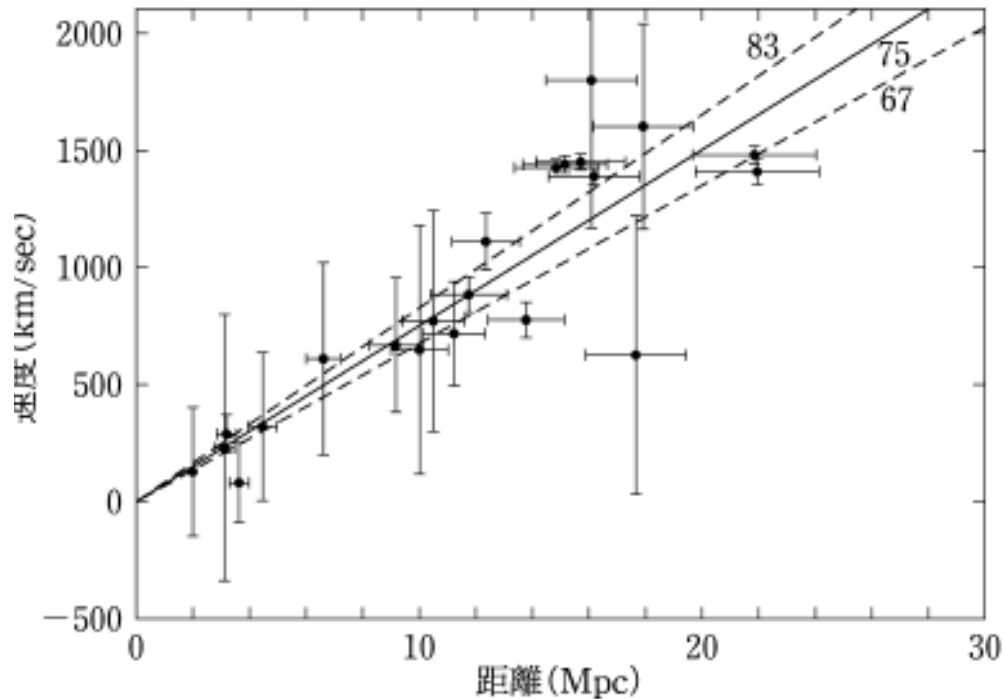
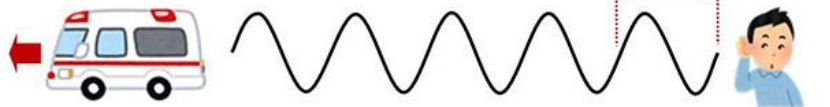
音源が静止



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

$$v = Hr,$$

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

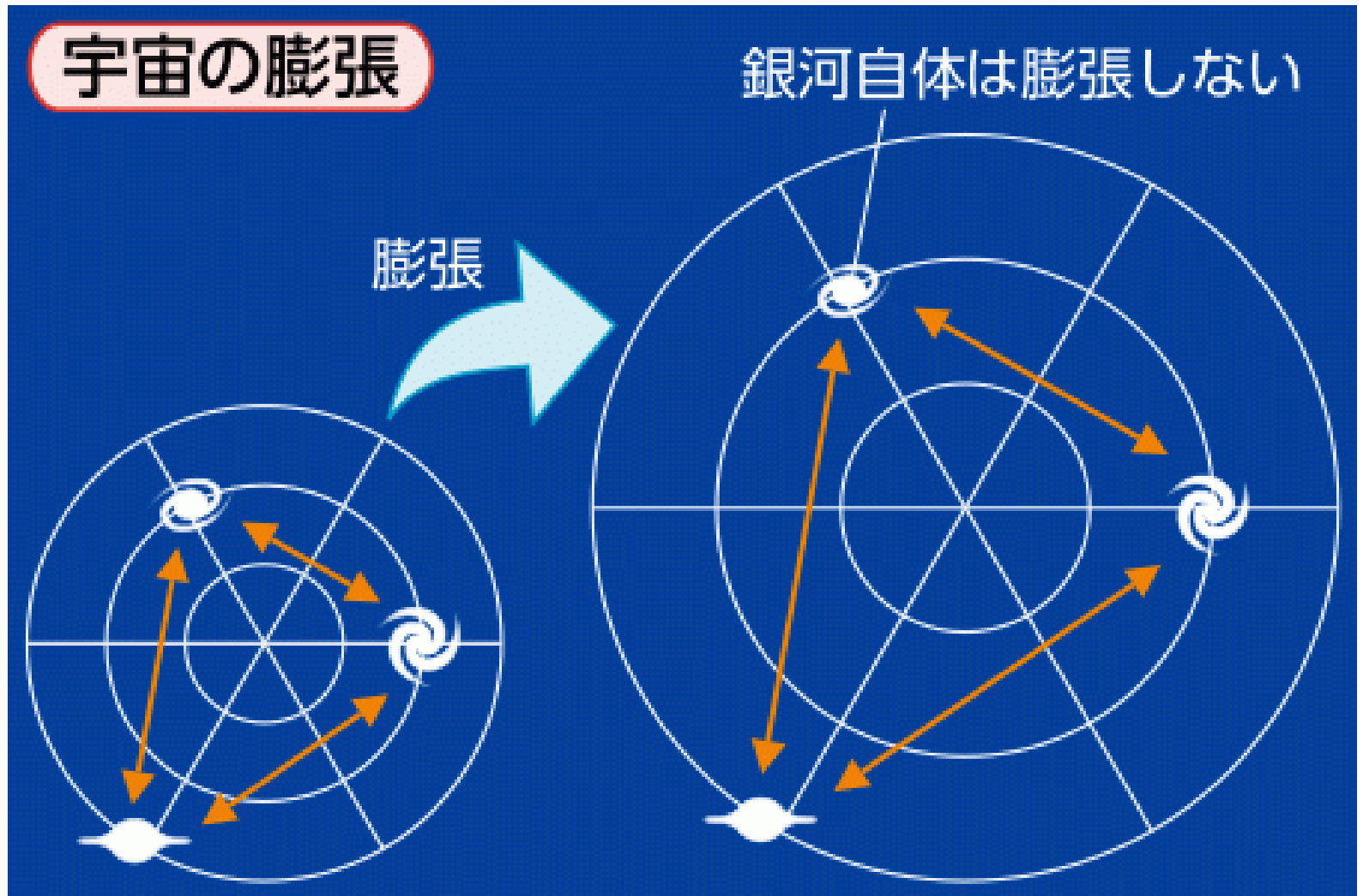
– 解答例

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

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

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

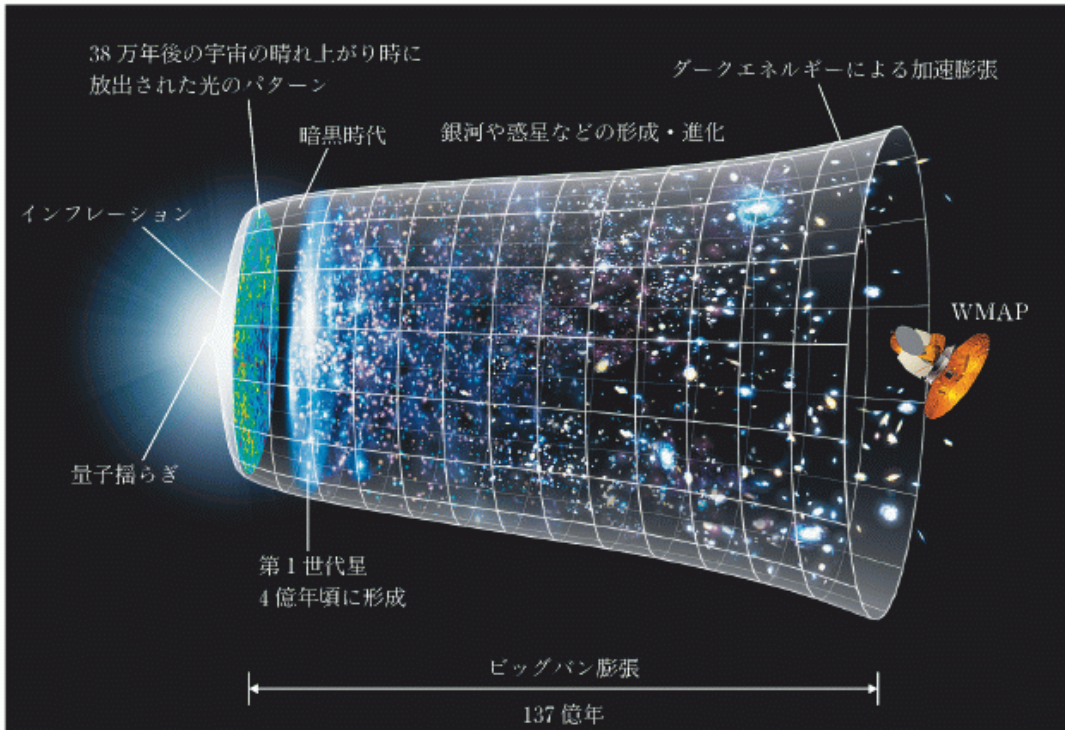
# 宇宙の膨張



地学図表P.10  
二訂版地学図表P.112

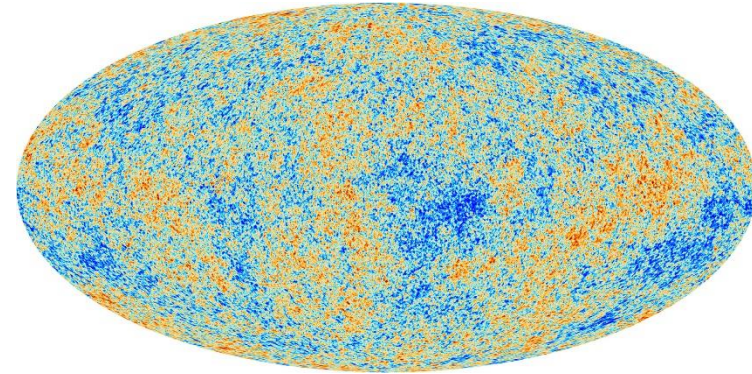
# 宇宙の進化

## 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



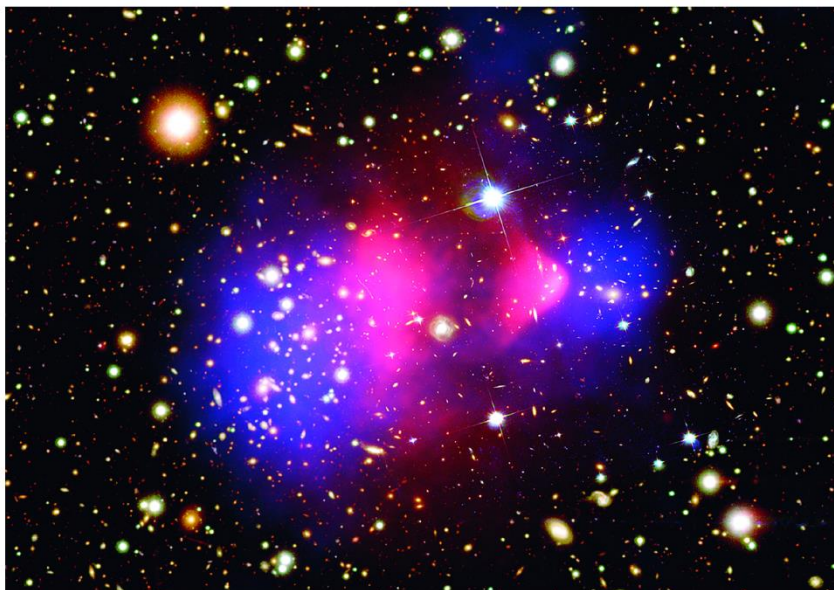
地学図表P.9

二訂版地学図表P.111

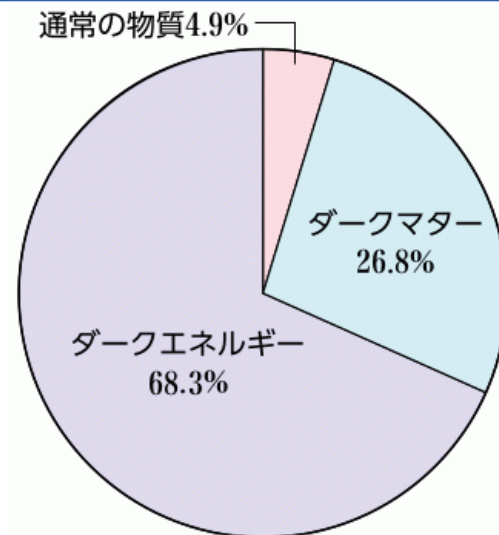
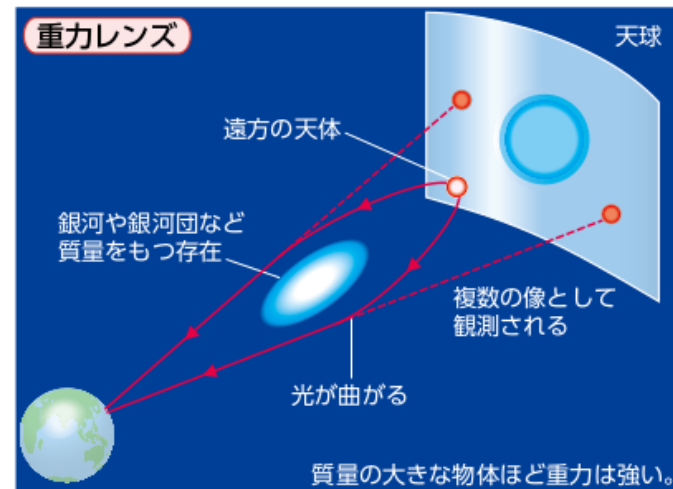
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2013/03/Planck\\_CMB](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Planck_CMB)

# 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



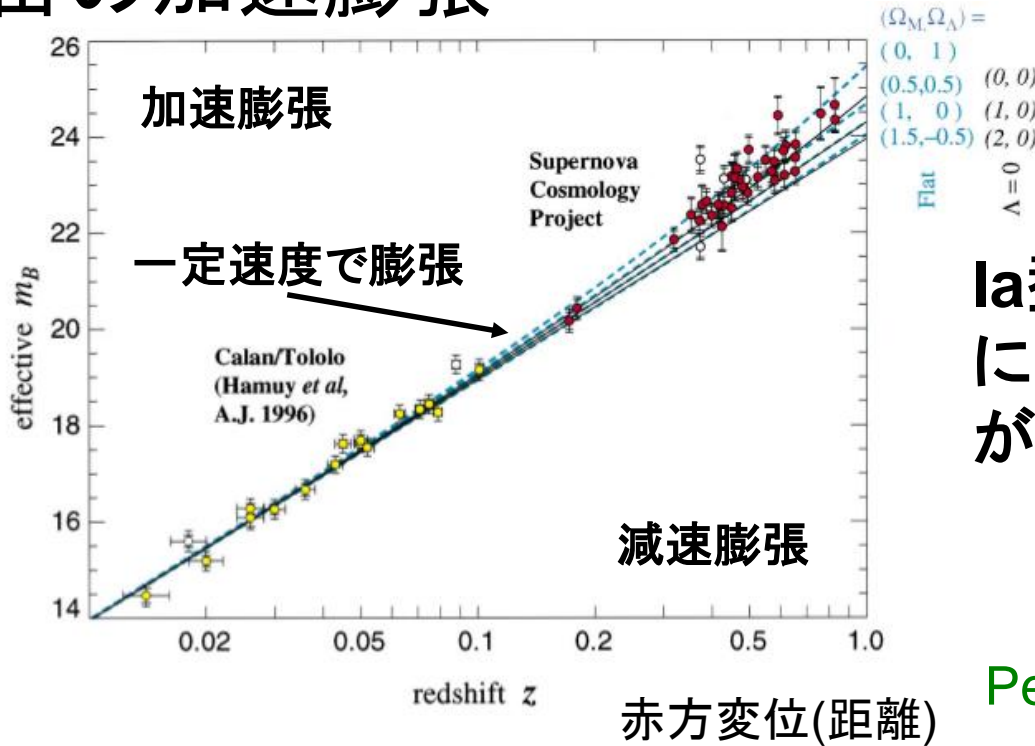
地学図表P.11  
二訂版地学図表P.113



# 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

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