

# 地球惑星科学II

## 第13回

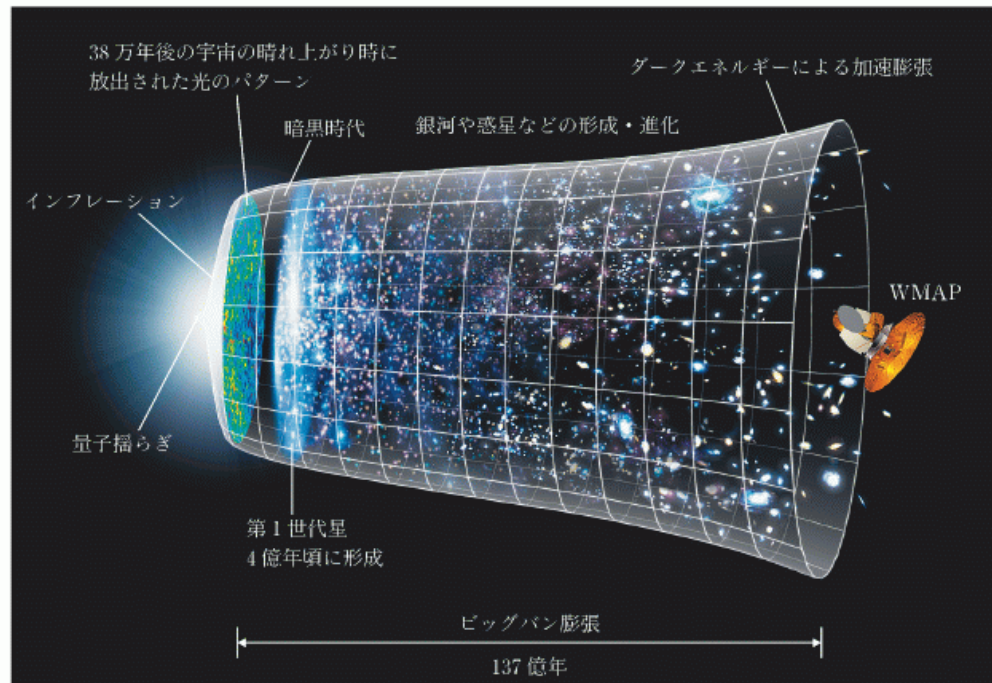
2025年01月09日

# 連絡：学期末試験について

- 1月23日(木)10:30から実施
- 場所：E301
- 地球惑星科学入門・地学図表・自筆ノートは持ち込み可、電卓も持ち込み可。
  - 他の書籍・紙類などは不可
  - スマートフォン・携帯電話・電子辞書は使用禁止  
(電卓としての使用も禁止)
- 出題形式
  - 記述問題、計算問題
  - その場での思考を問う問題も出題

# 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？



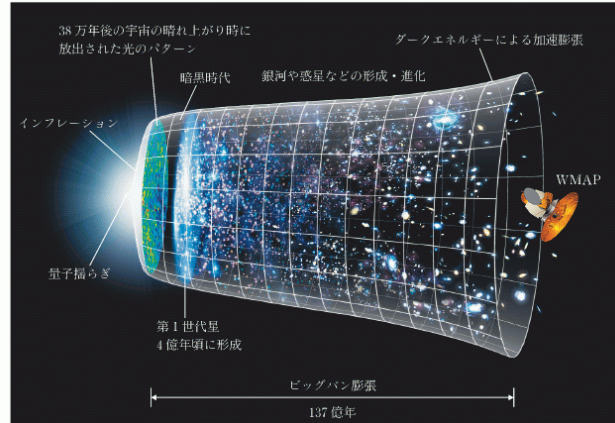
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 参照：地球惑星科学入門第2版30章、31章

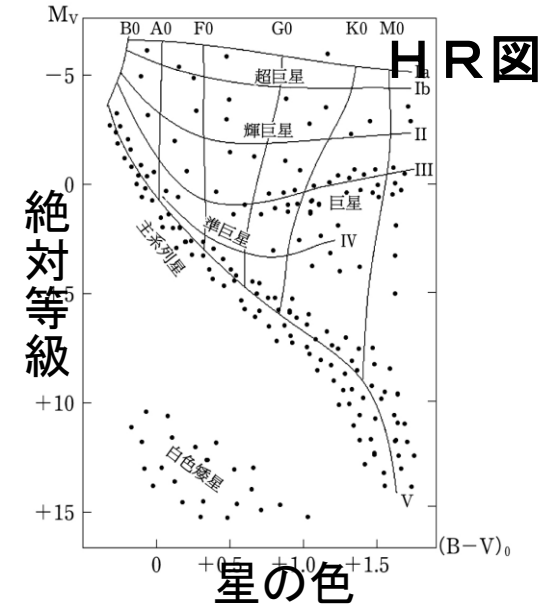
# 宇宙の距離梯子

- 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

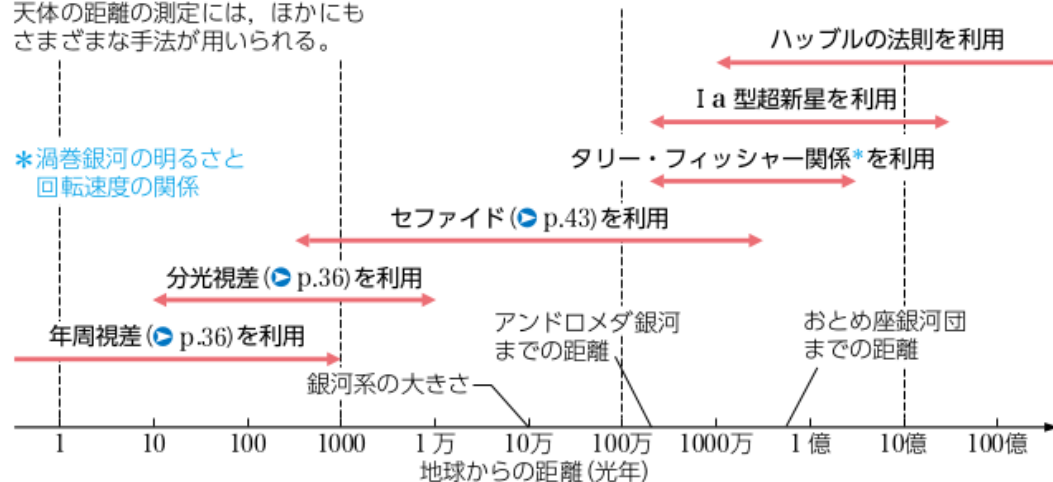


地球惑星科学入門第2版P.368

- 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

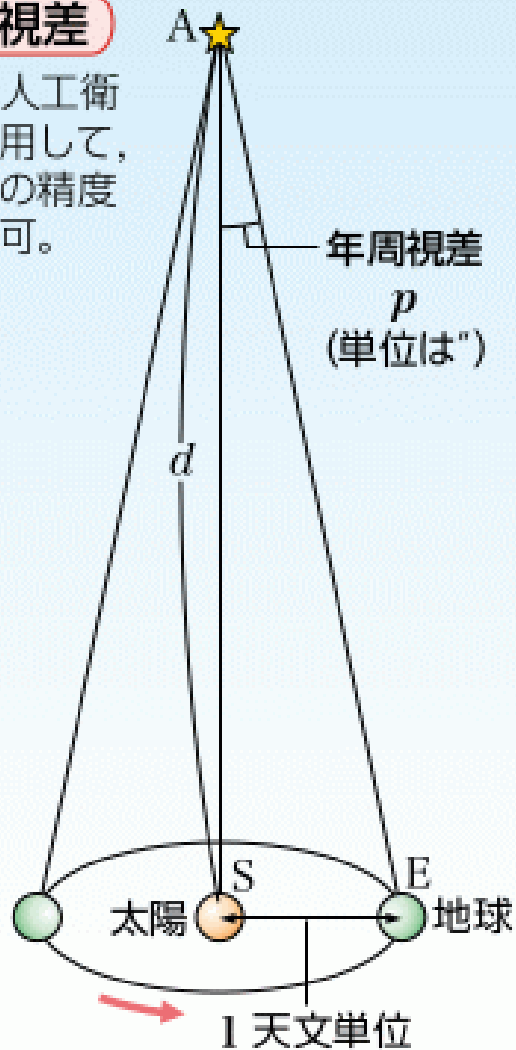


地学図表P.113

# 年周視差

## 年周視差

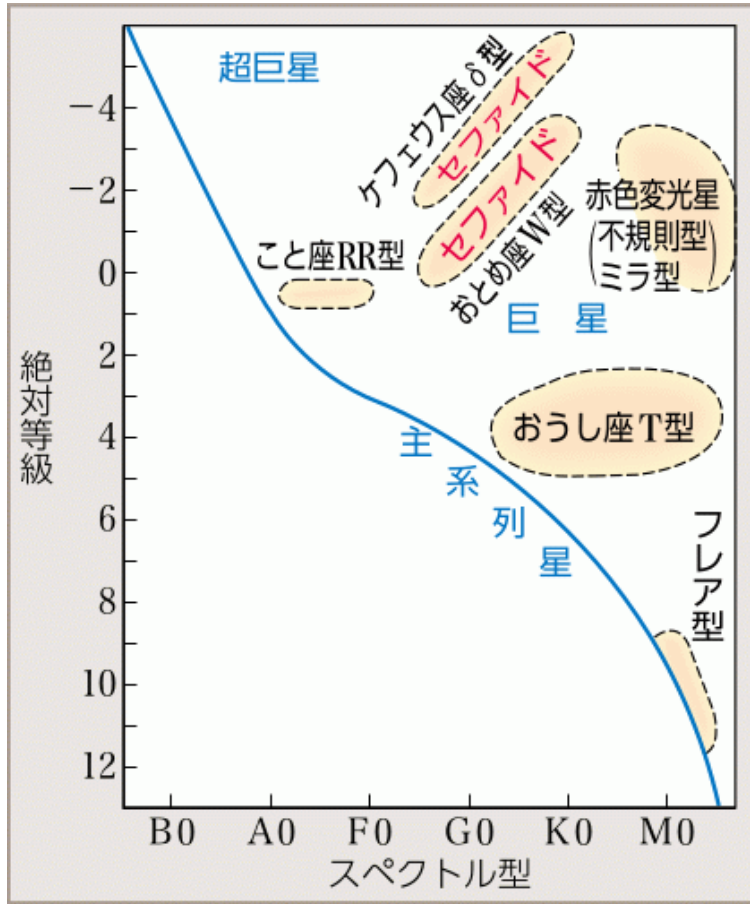
$p$  は、人工衛星を利用して、 $0.001''$  の精度で測定可。



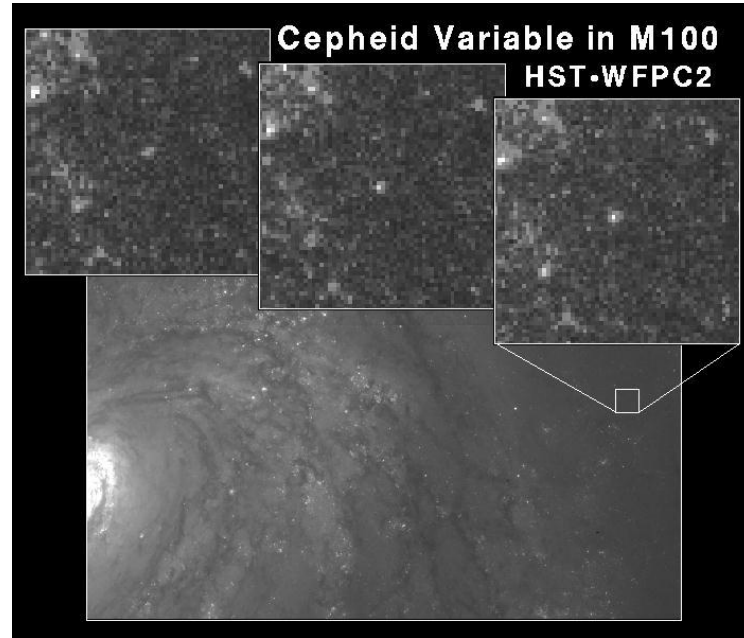
年周視差が1秒  
となる距離を  
1 パーセク(parsec)  
という

3000光年程度までの  
距離を測定

# セファイド

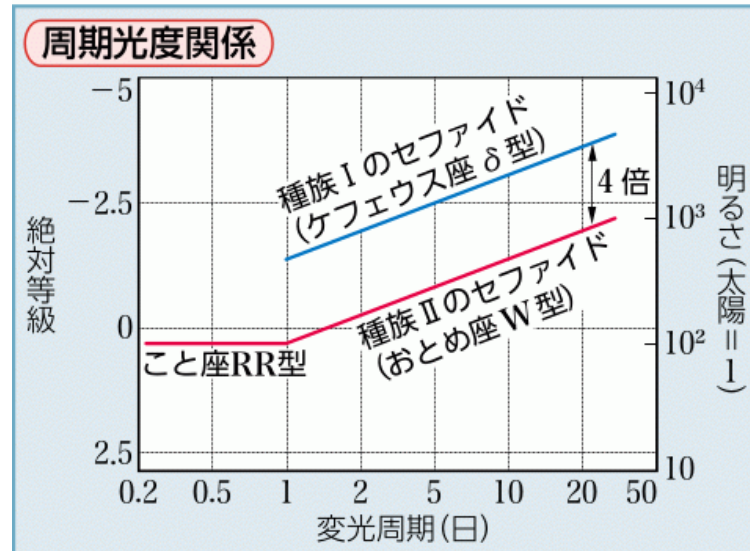


地学図表P.147



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.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

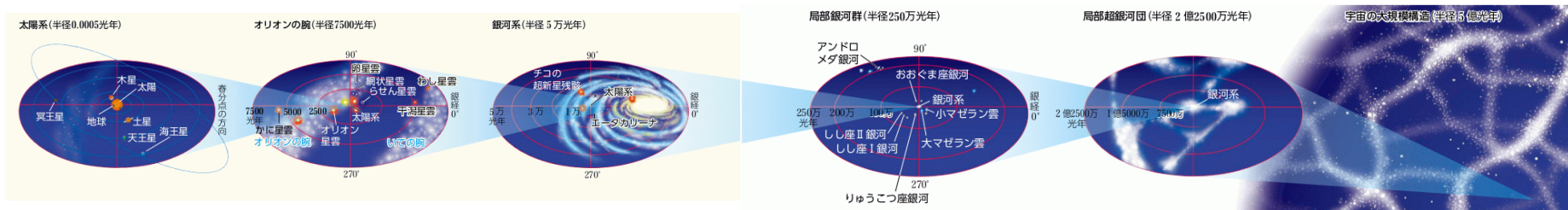


地学図表P.114



# 宇宙の階層構造・大規模構造

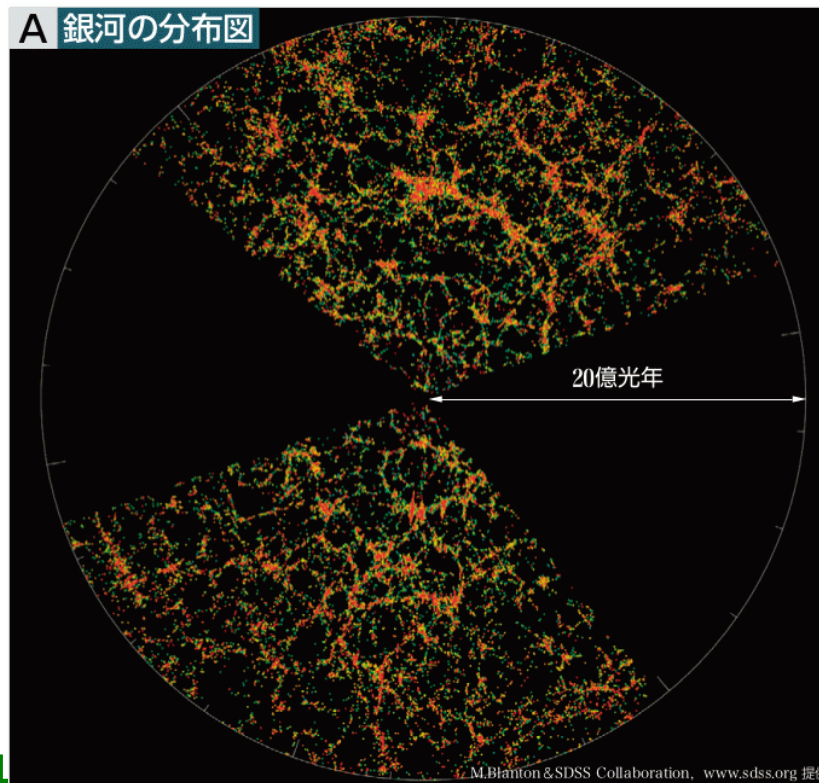
## 宇宙階層構造



地学図表P.114

## 宇宙階層構造

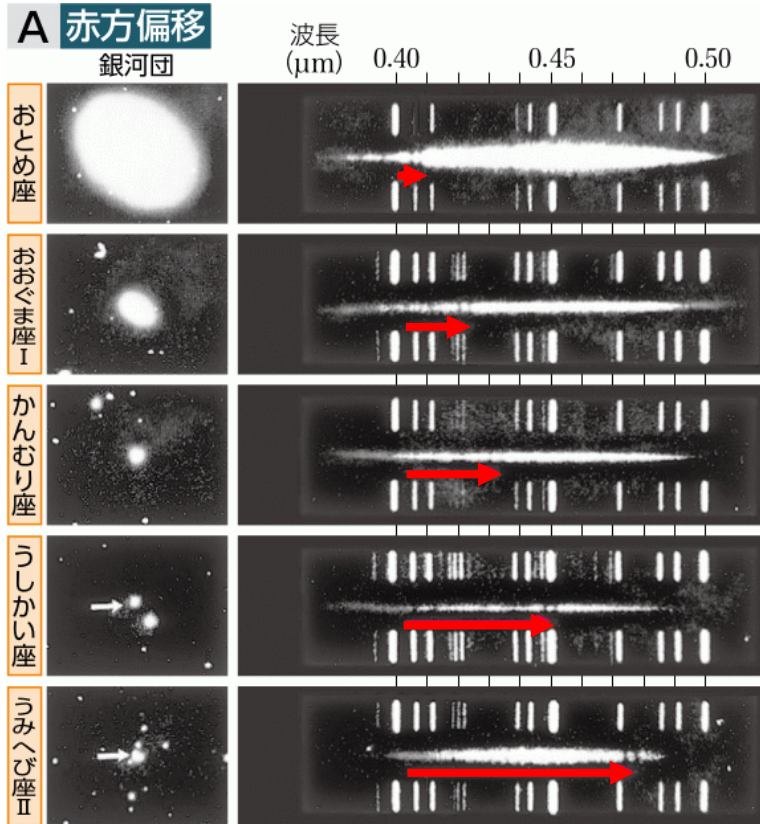
- グレートウォール
- ボイド



地学図表P.114

# 銀河の赤方偏移

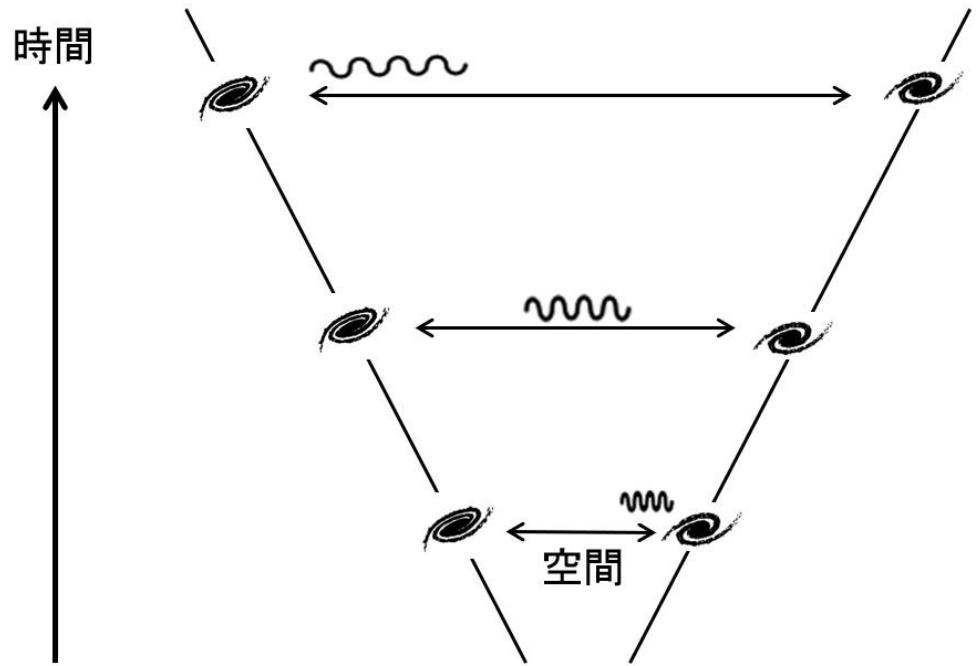
暗線の波長が銀河によって異なる



**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

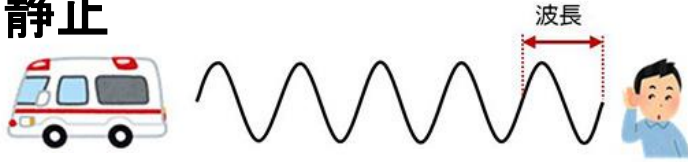


<https://astro-dic.jp/redshift>

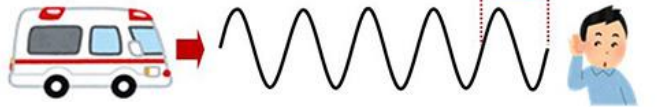
# ハッブル・ルメートルの法則

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)

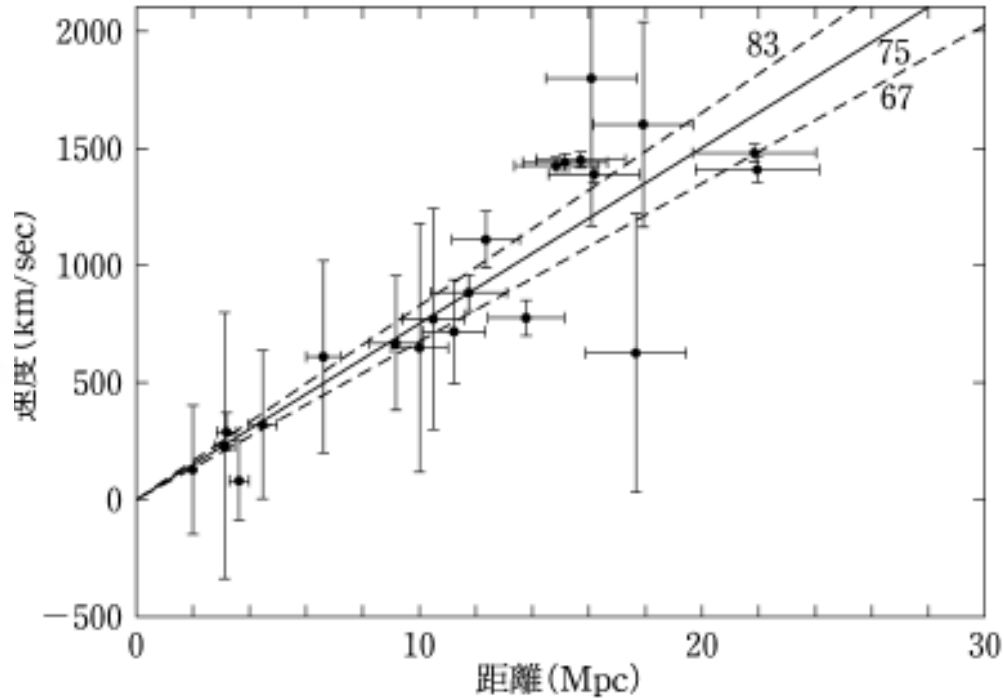
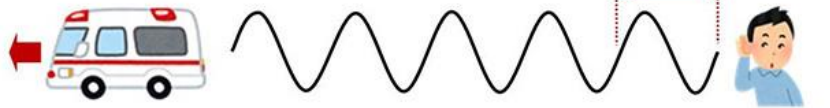
音源が静止



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

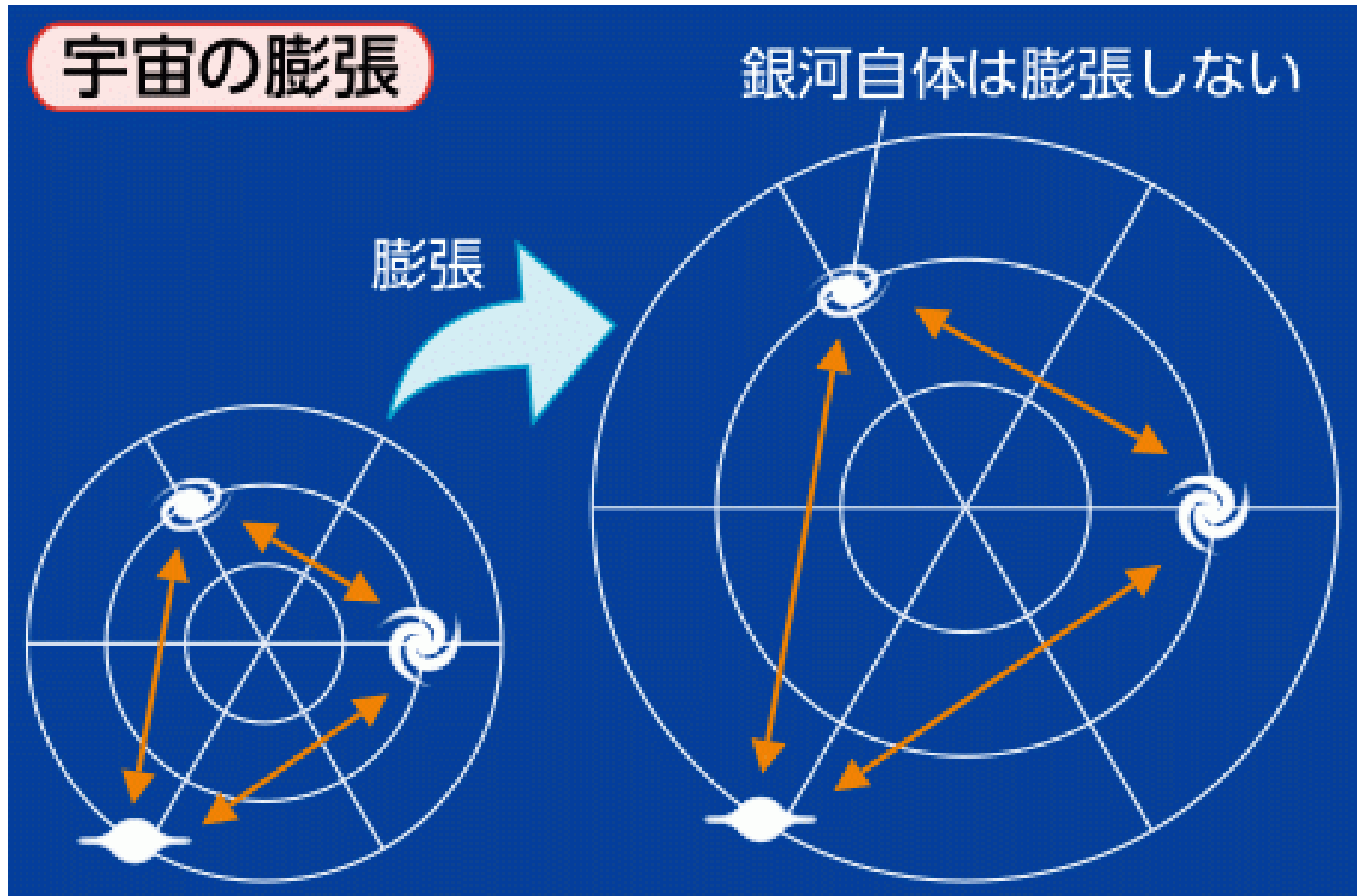
$$v = Hr = 2.4 \times 10^{-5} \text{ km sec}^{-1} (\text{光年})^{-1} \times 137 \times 10^8 [\text{光年}]$$

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

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



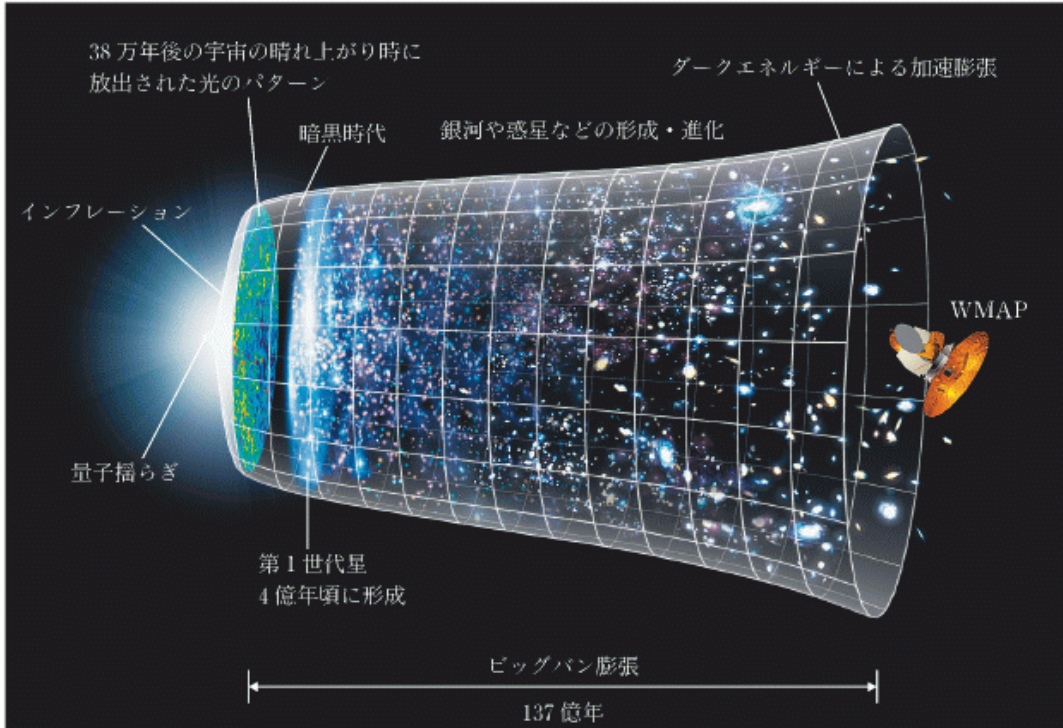
# 宇宙の膨張



地学図表P.112

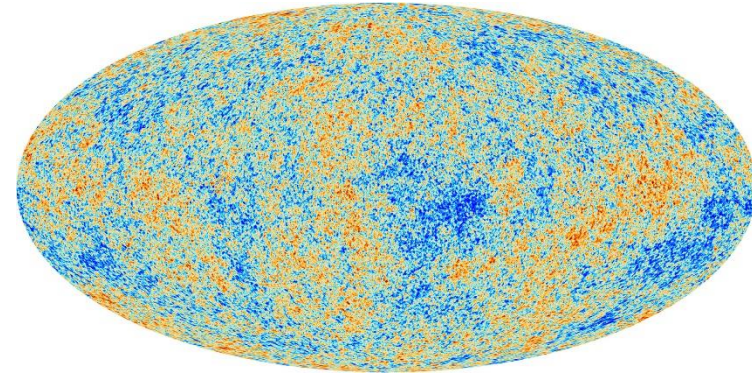
# 宇宙の進化

## 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

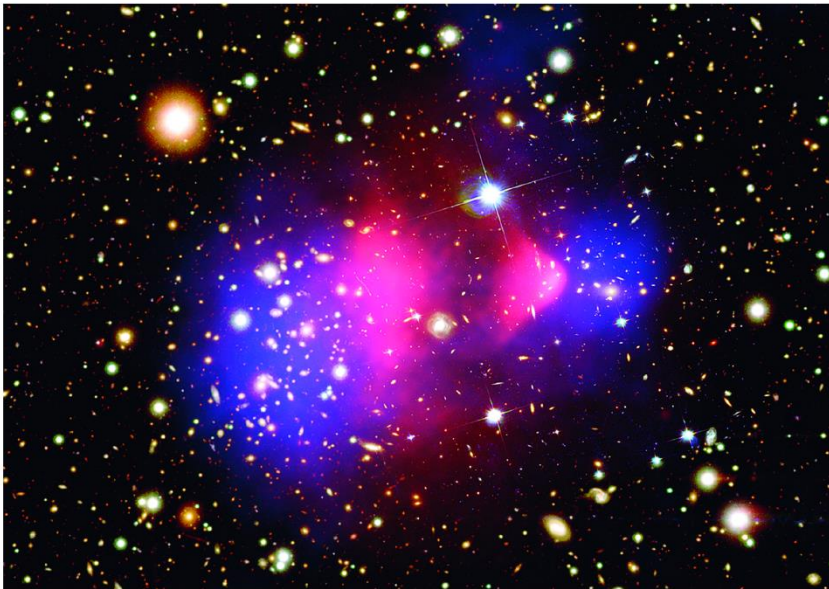


地学図表P.111

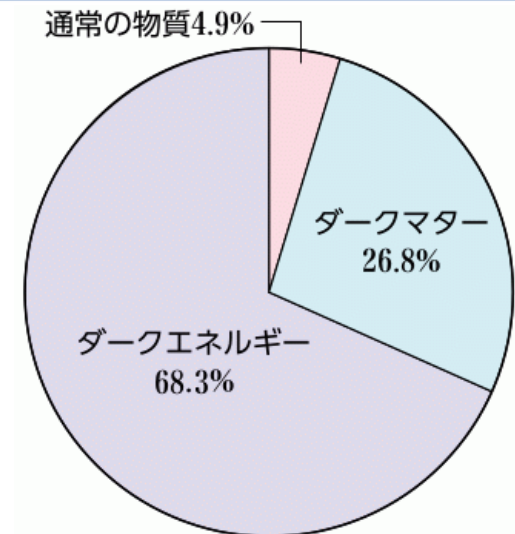
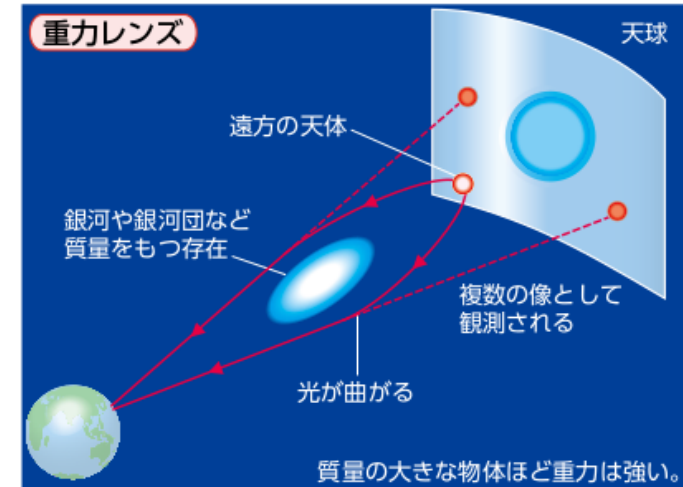
[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2013/03/Planck\\_CMB](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2013/03/Planck_CMB)

# 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

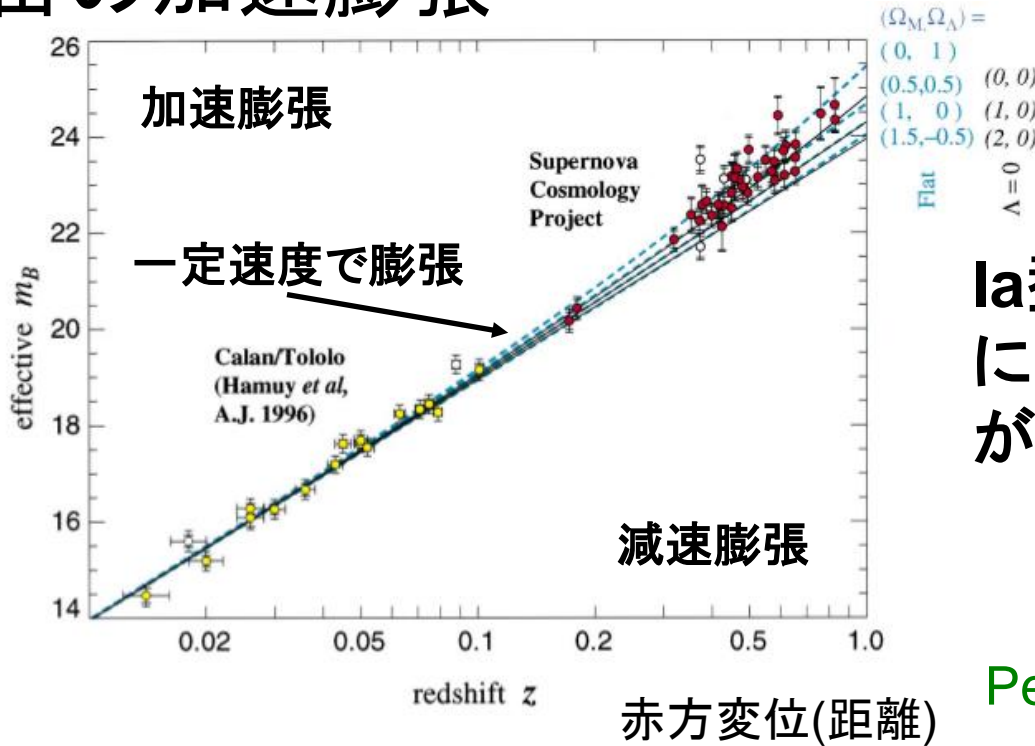


地学図表P.113

# 宇宙の「大きさ」の時間変化

- 宇宙の加速膨張

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

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