

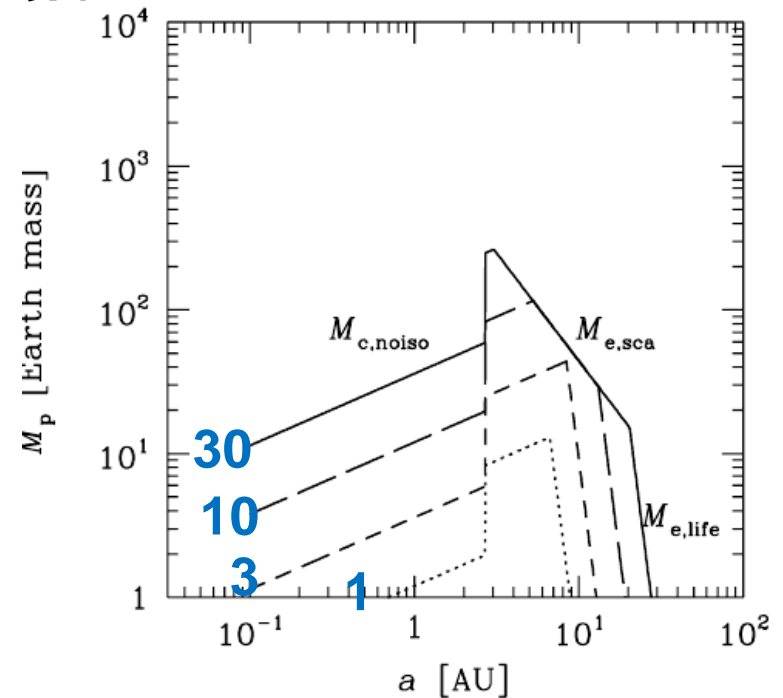
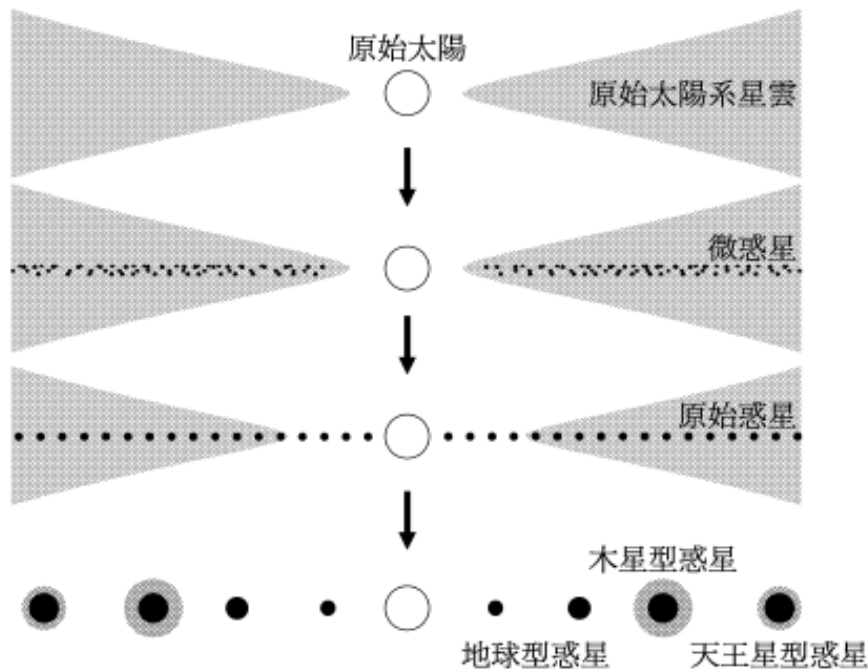
# 地球惑星科学II

## 第12回

2017年01月12日

# 前回のミニレポート

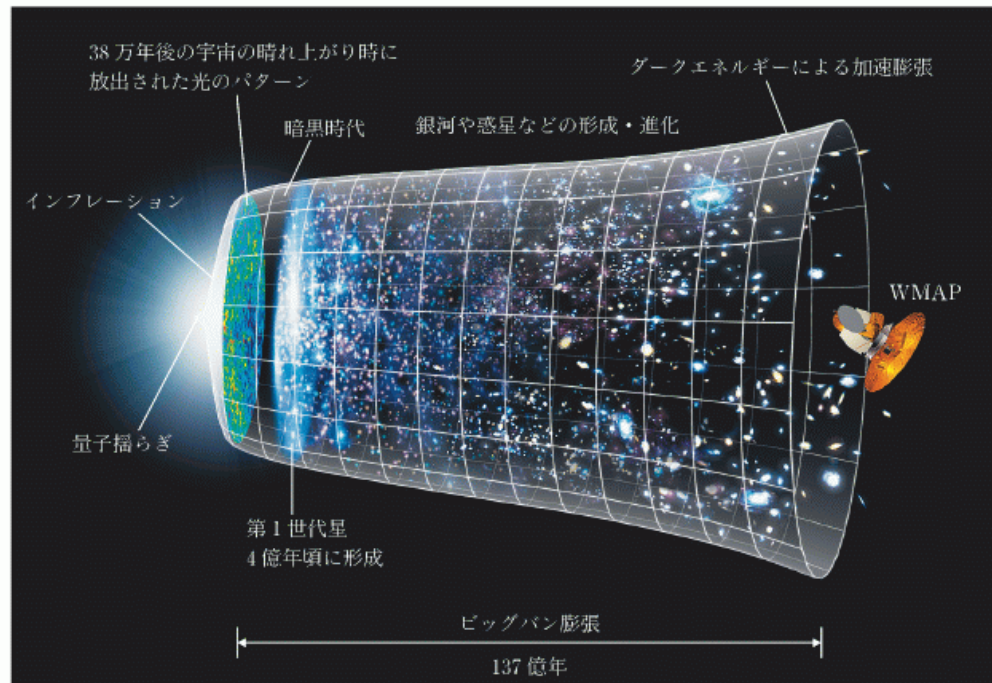
- 原始惑星系円盤の状態が変わると、形成される惑星系はどのように変化すると考えられるか？
  - 質量が大きい場合、小さい場合
  - 成分が変わった場合(気体の割合、ちりの割合)
  - 初期の回転が強い場合、弱い場合



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？



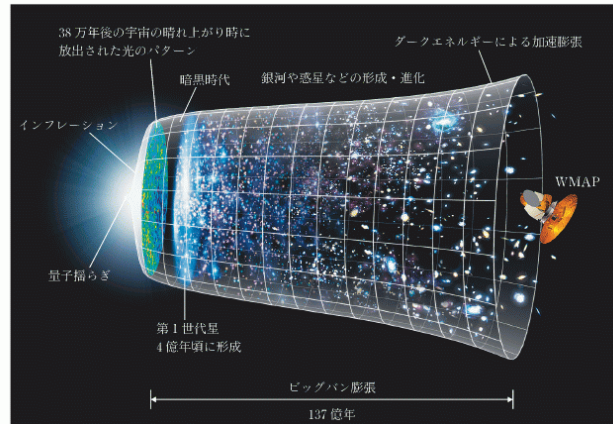
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 参照：地球惑星科学入門第2版30章、31章

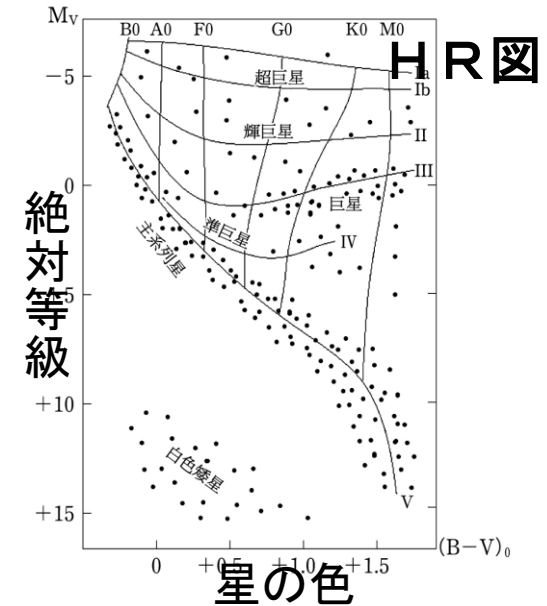
# 宇宙の距離梯子

- 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

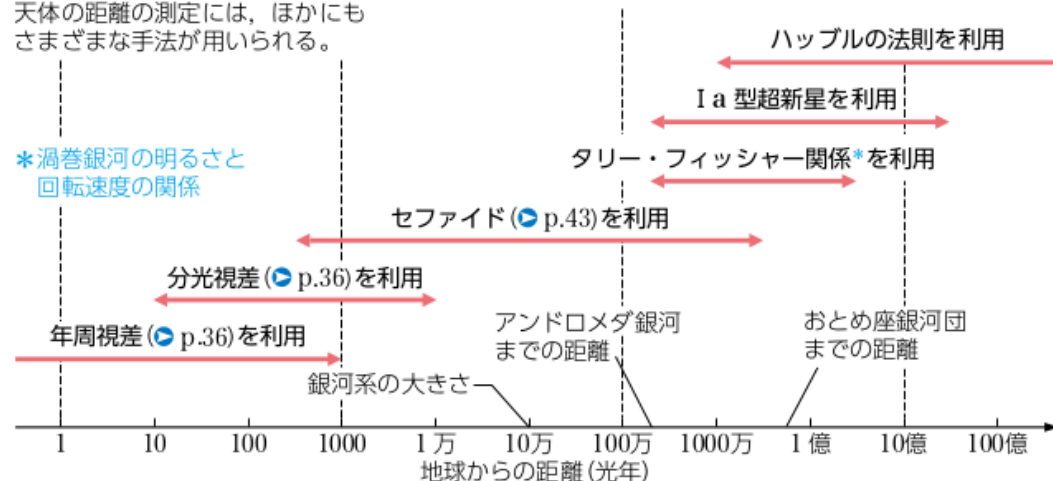


地球惑星科学入門第2版P.368

- 複数の方法を「つなぎあわせて」遠方天体の距離を決定

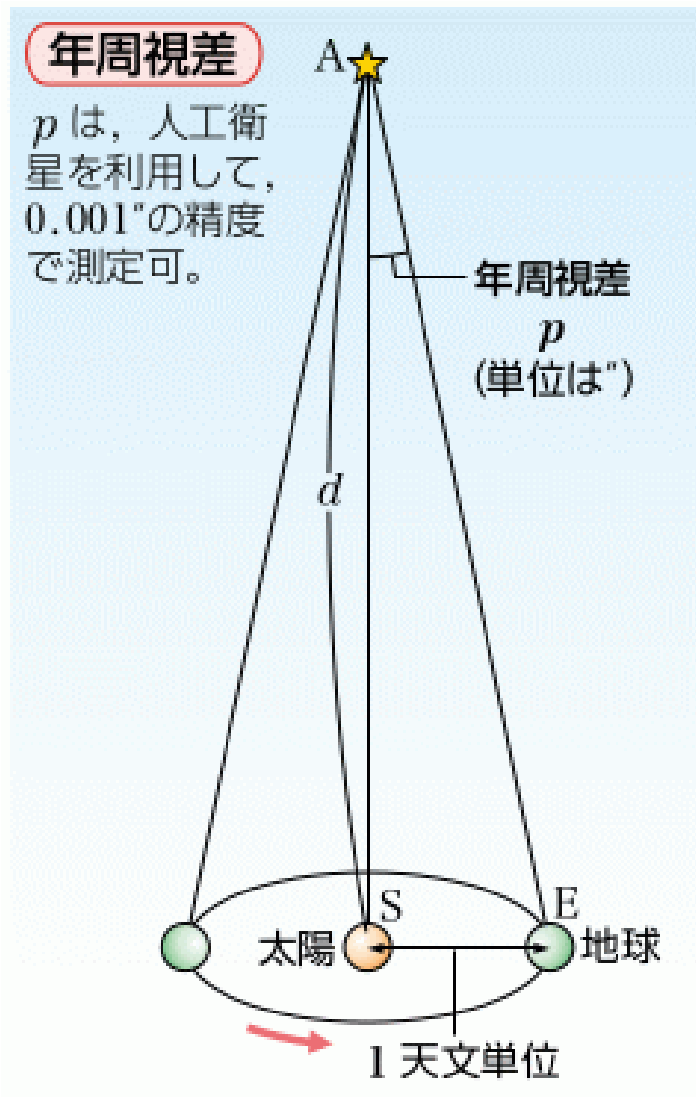
天体の距離の測定には、ほかにもさまざまな手法が用いられる。

\*渦巻銀河の明るさと回転速度の関係



地学図表P.11

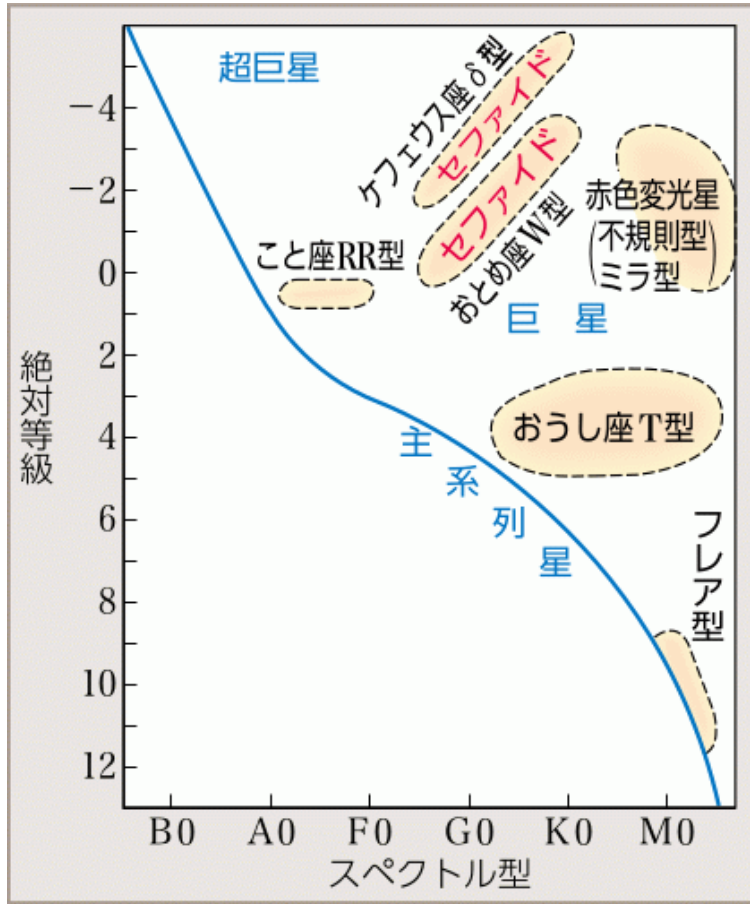
# 年周視差



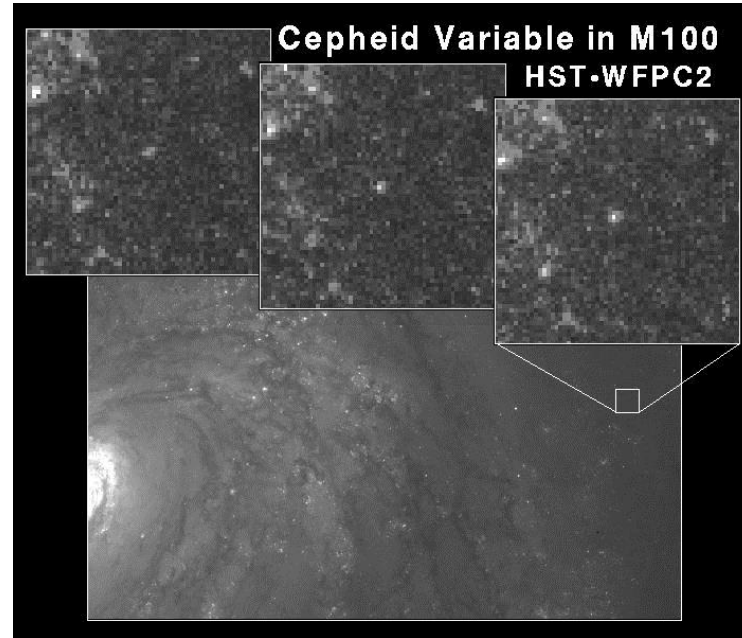
3000光年程度までの  
距離を測定

地学図表P.36

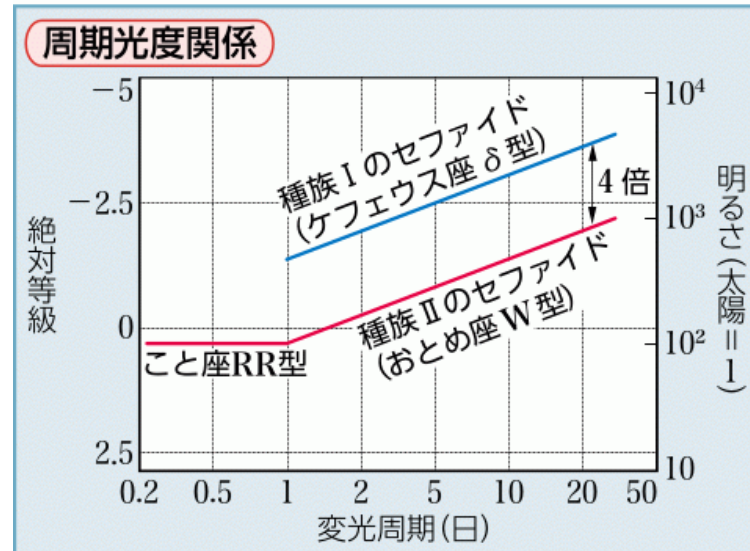
# セファイド



地学図表P.43



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

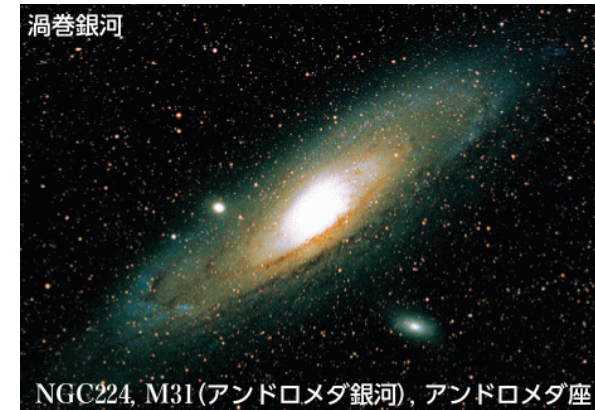
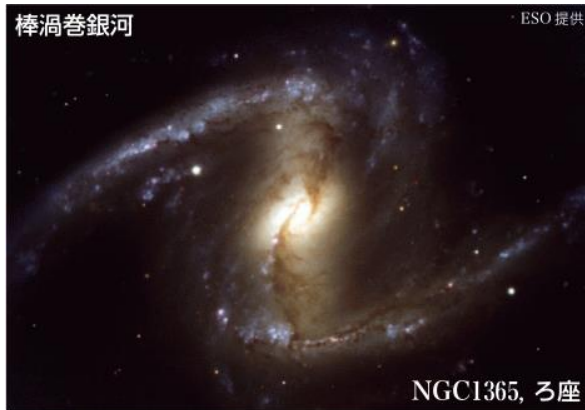




# 銀河

- 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

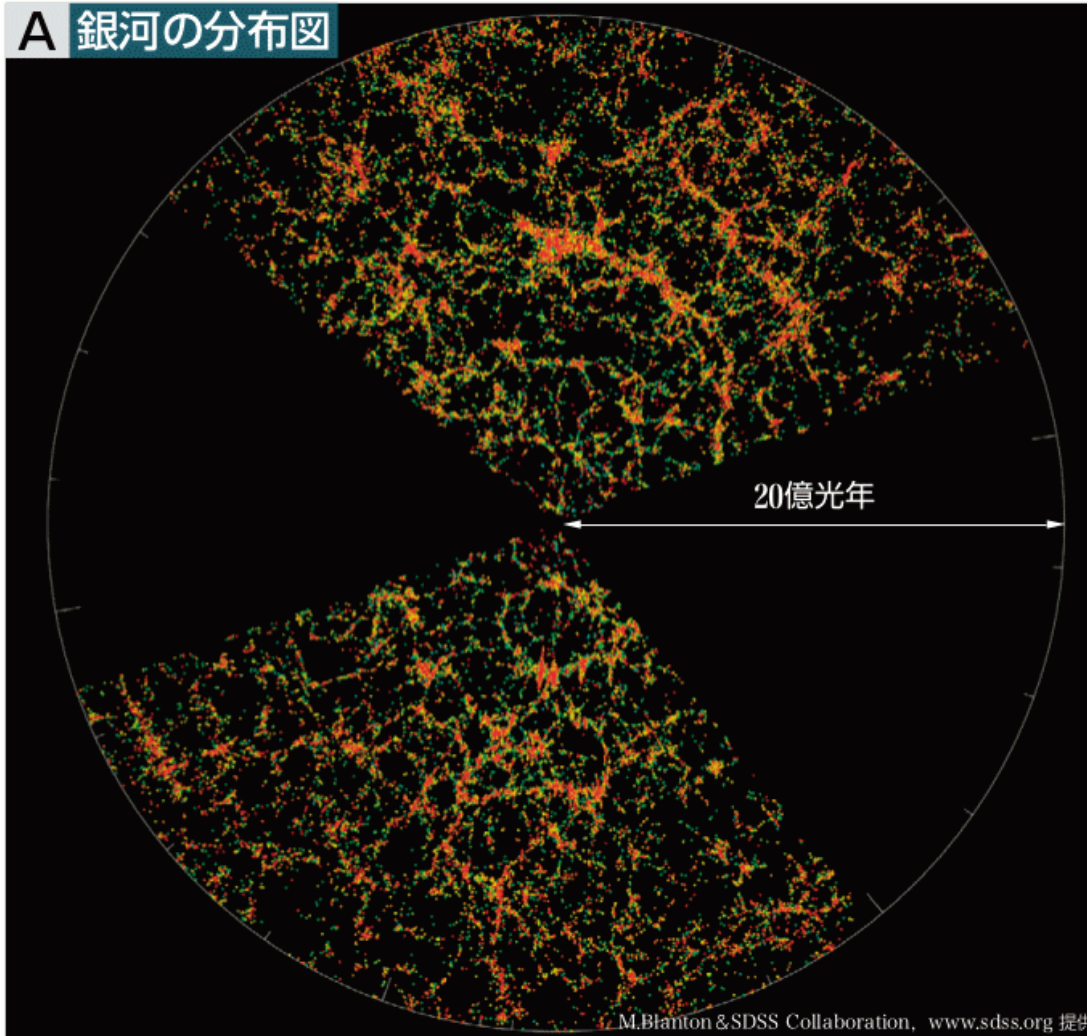
銀河数:  
50～100  
個程度



地学図表P.12

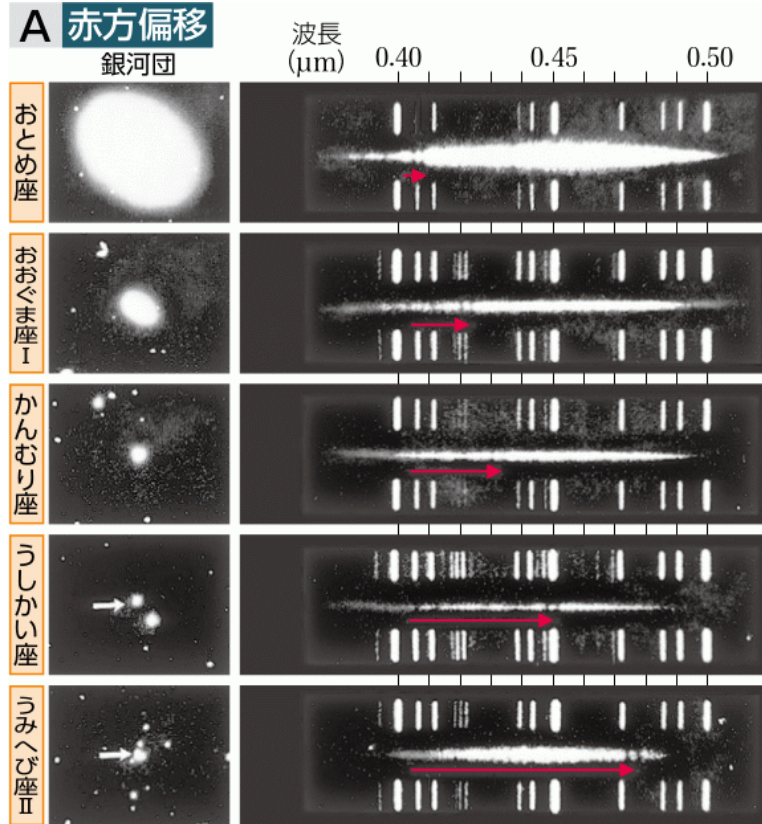
# 宇宙の大規模構造

A 銀河の分布図

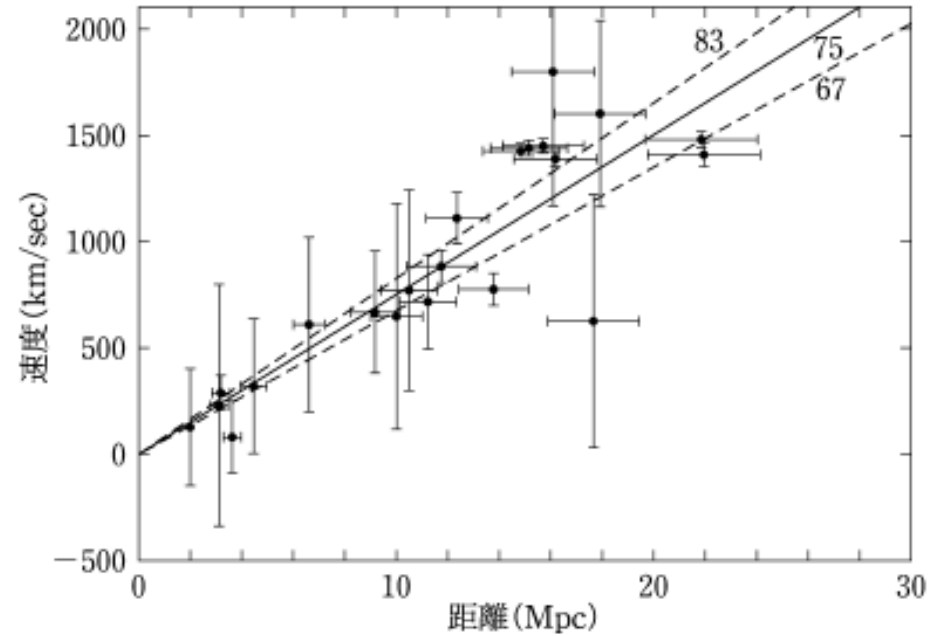


- グレートウォール
- ボイド

# 銀河の後退速度とハッブルの法則



地学図表P.10



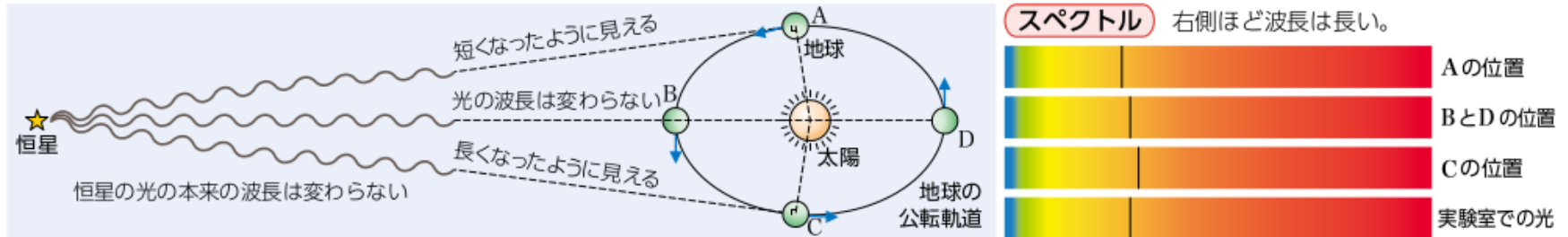
地球惑星科学入門第2版P.355



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

# 移動速度を測る方法

## • ドップラー効果を利用する



地球の公転によるドップラー効果は、1890年頃その測定に成功した。上図のように、恒星に近づくように公転するとき、恒星の光の波長は短くなり、遠ざかるように公転するとき、波長は長くなる。これも地球公転の証拠となる。最大変化量から、地球の公転速度は29.8 km/sと求められた。

BとDの位置にある地球は、恒星に近づきも離れもしないので、恒星本来の波長の光(色)が観測できる。D～B間は相対的に恒星に近づくため、波長は本来のものより短く観測され、Aで最短になる。B～D間では相対的に離れるため、波長は長い方にずれる。

## • ドップラー効果は様々な場面で使われている

### 心臓エコー



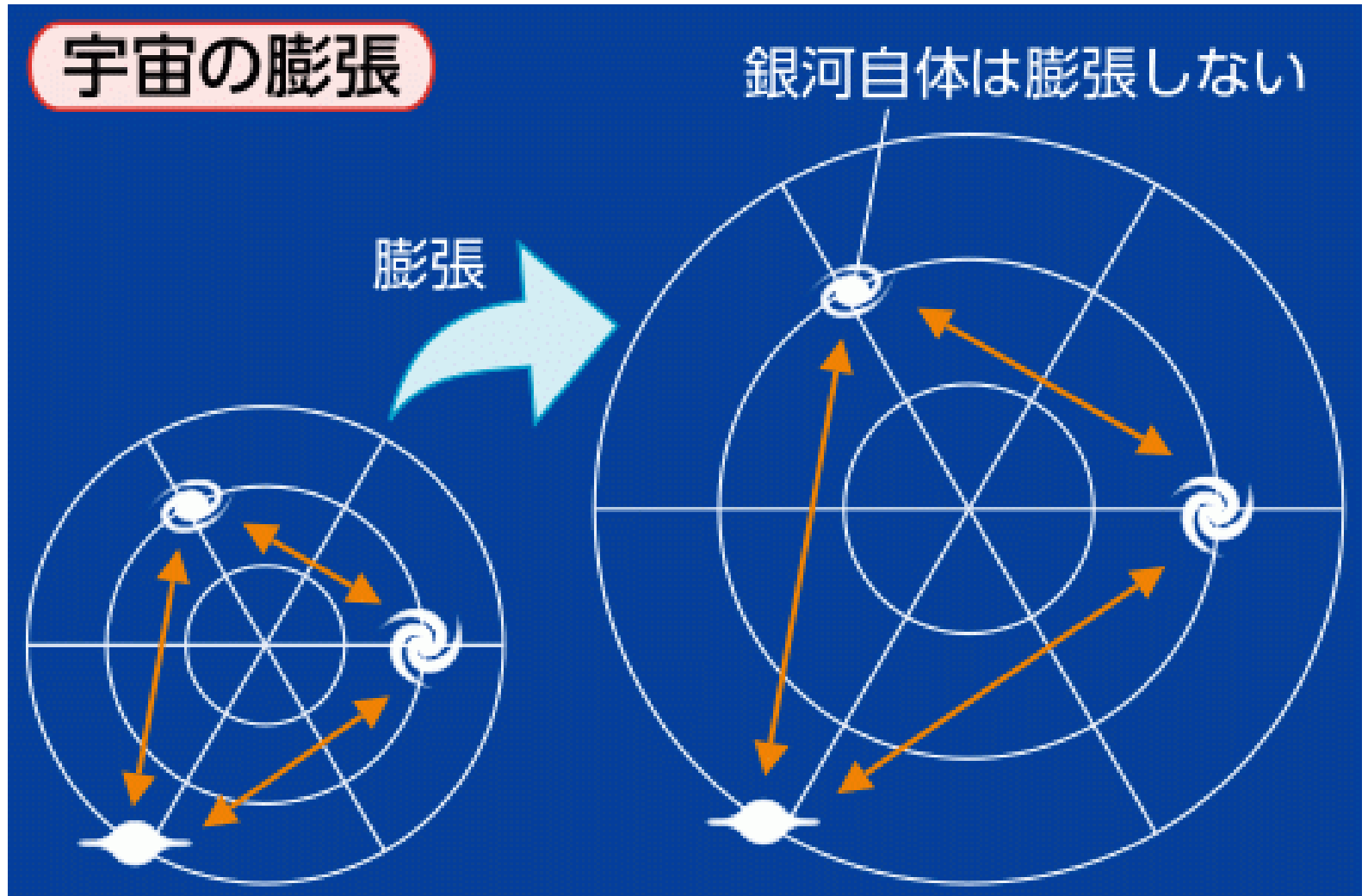
# 今日の計算問題

- 宇宙の果てが遠ざかる速度を求めよう
  - 現在の観測限界距離は137億光年先。  
この領域が遠ざかる速度を計算してみよう
  - ハッブルの法則

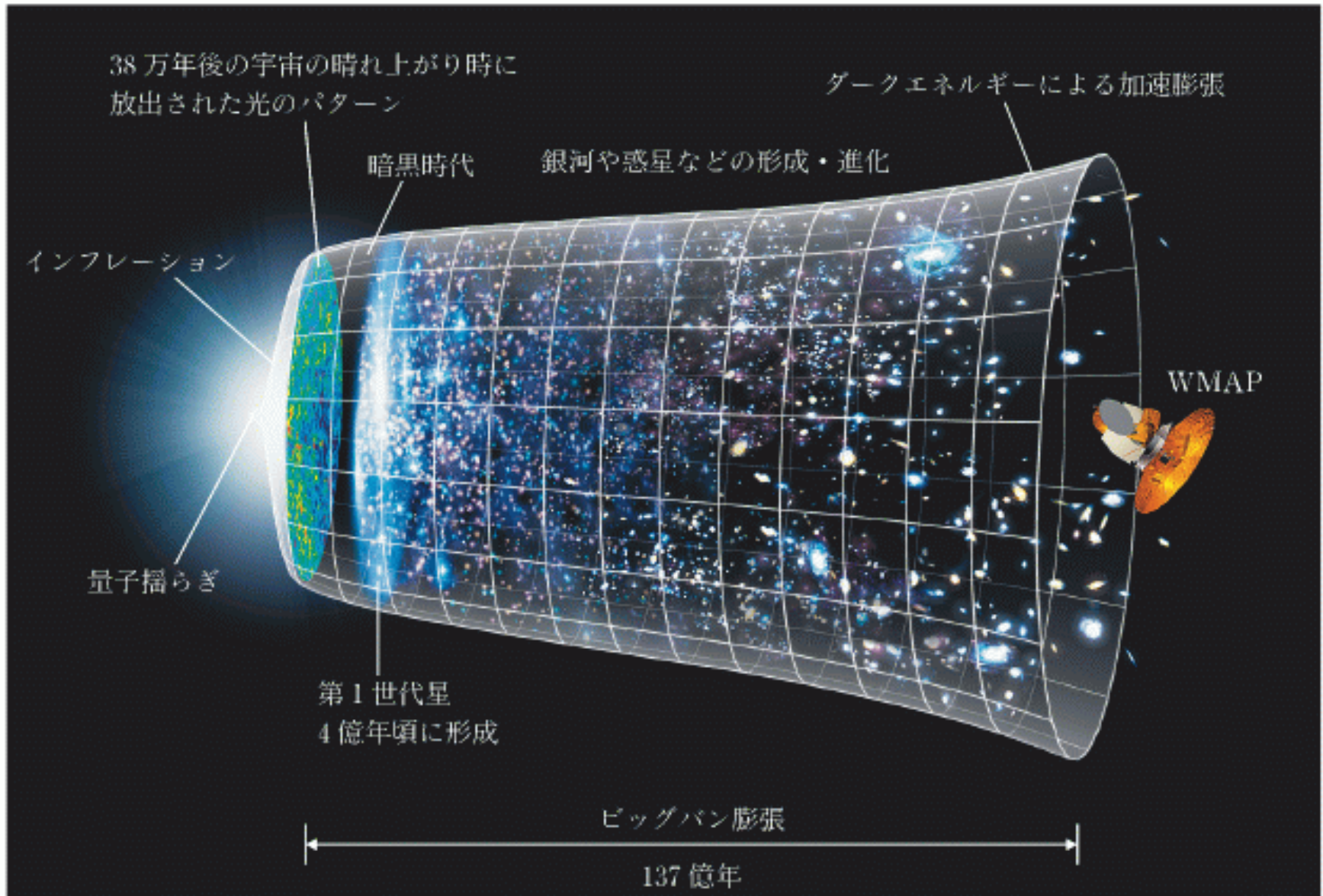
$$v = Hr,$$

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

# 宇宙の膨張

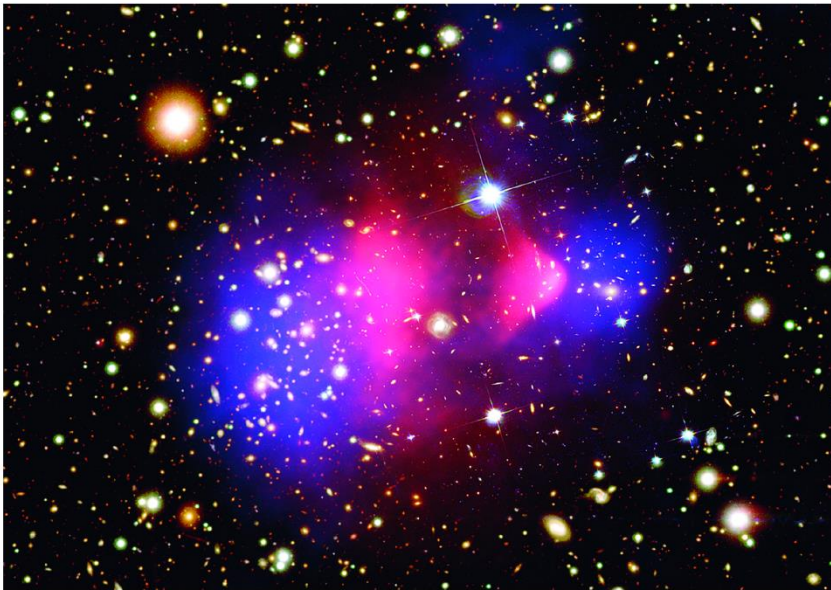


# 宇宙の進化

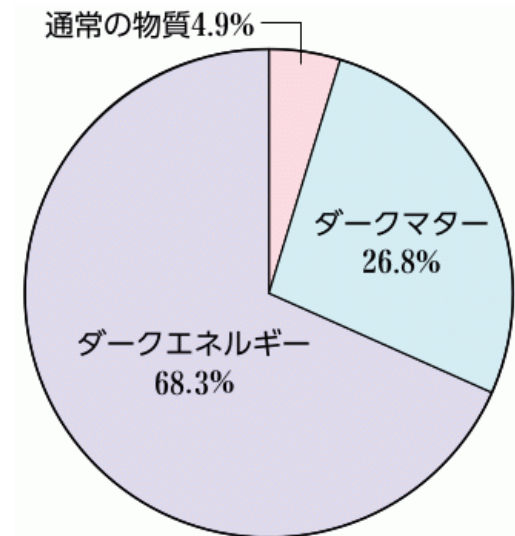
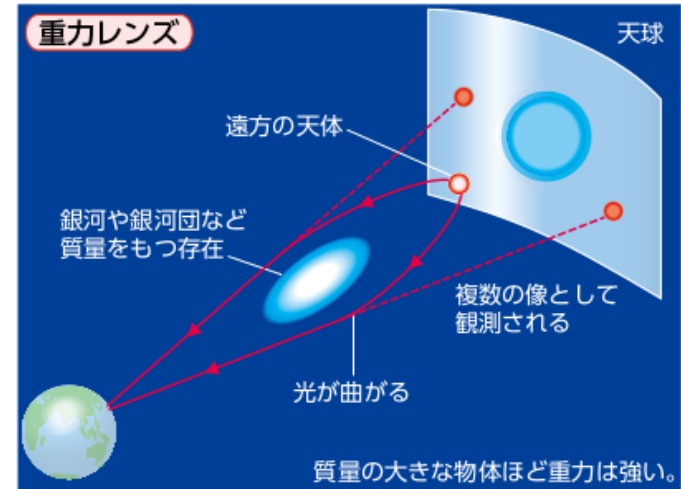


# ダークマター

- 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





# 元素の存在比

宇宙初期の  
元素合成



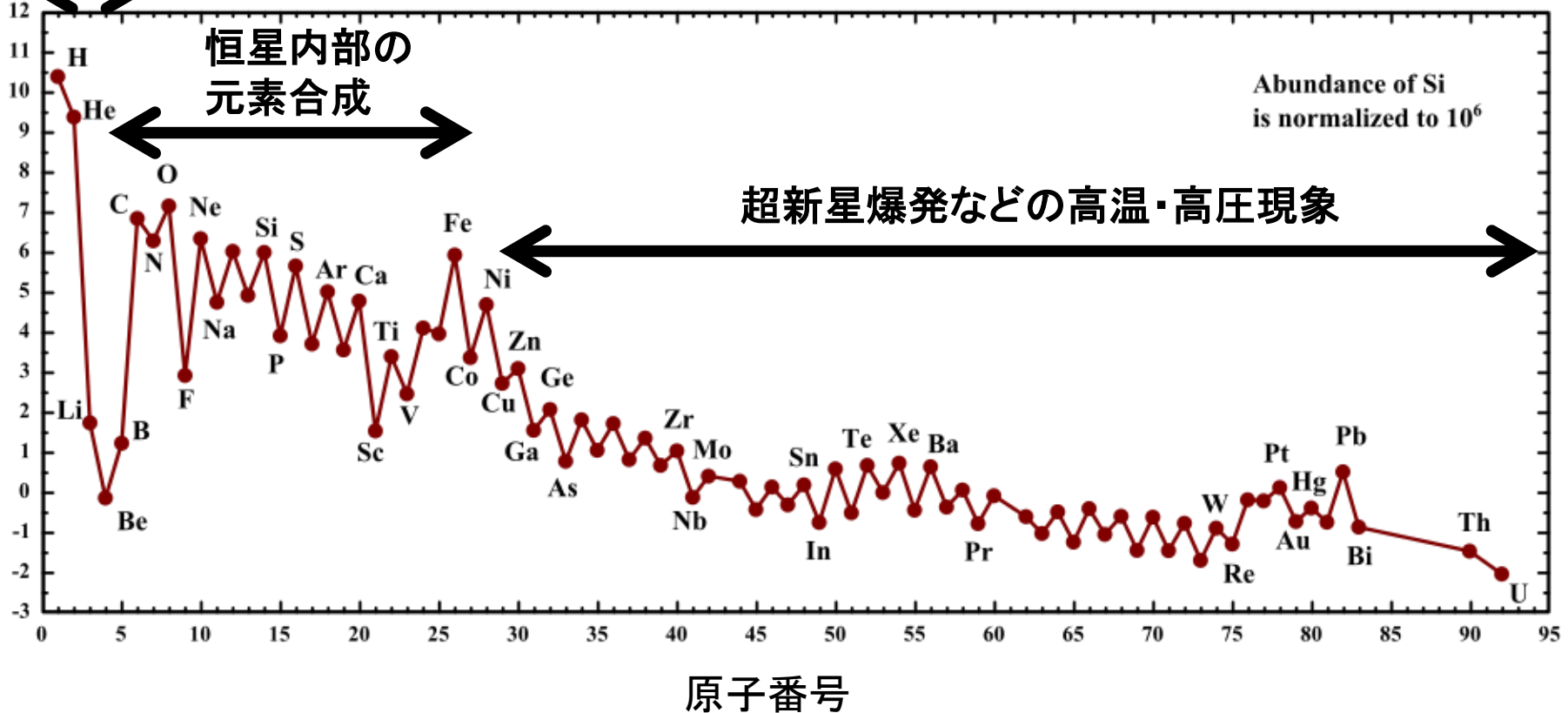
恒星内部の  
元素合成



超新星爆発などの高温・高圧現象



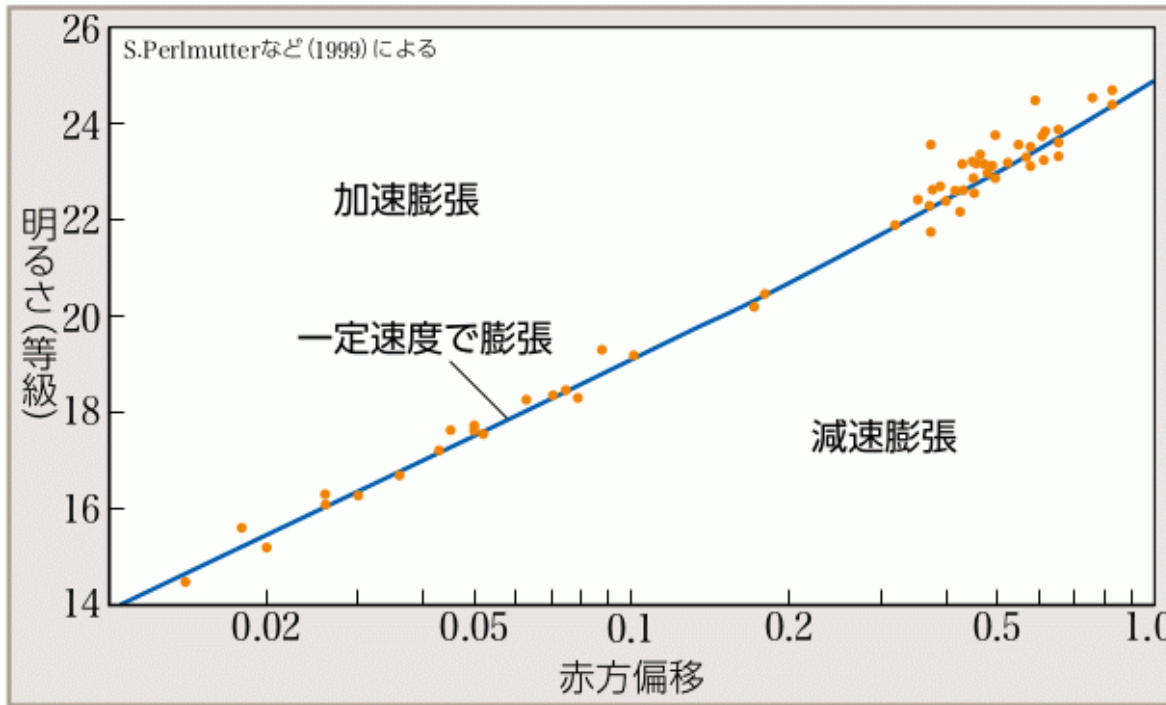
存在比



[https://online.science.psu.edu/astro140\\_fawd001/node/11779](https://online.science.psu.edu/astro140_fawd001/node/11779)

# 宇宙の「大きさ」の時間変化

- 宇宙の加速膨張



la型超新星の観測により宇宙膨張速度が正確に決定

地学図表P.11

- もとになる式: アインシュタイン方程式

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