

地球惑星科学II

第12回

2019年01月10日

連絡

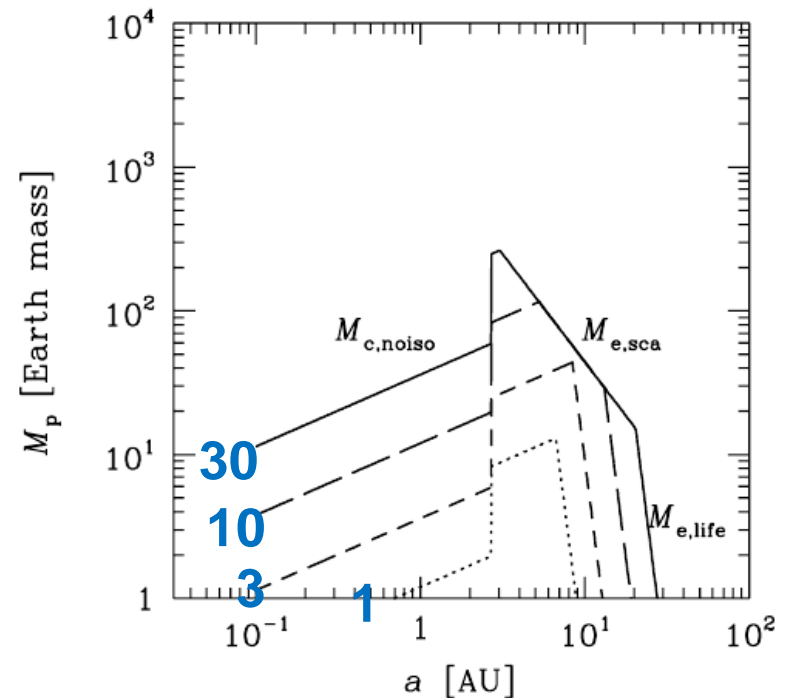
- 来週に授業アンケートを実施します
 - スマートフォン持ってきてください

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？

- 解答例

- 星間分子雲の密度が大きいと、複数の惑星が誕生し、例えば2つの恒星の重力にとらわれた惑星系が誕生する
- 恒星が低温で、塵・ガスの密度が大きい場合、中心付近で巨大な木星型惑星ができる
- 星間分子雲の密度が大きいと、大きな惑星ができる。しかし、密度の差は惑星ができる速さに関わってくるかも

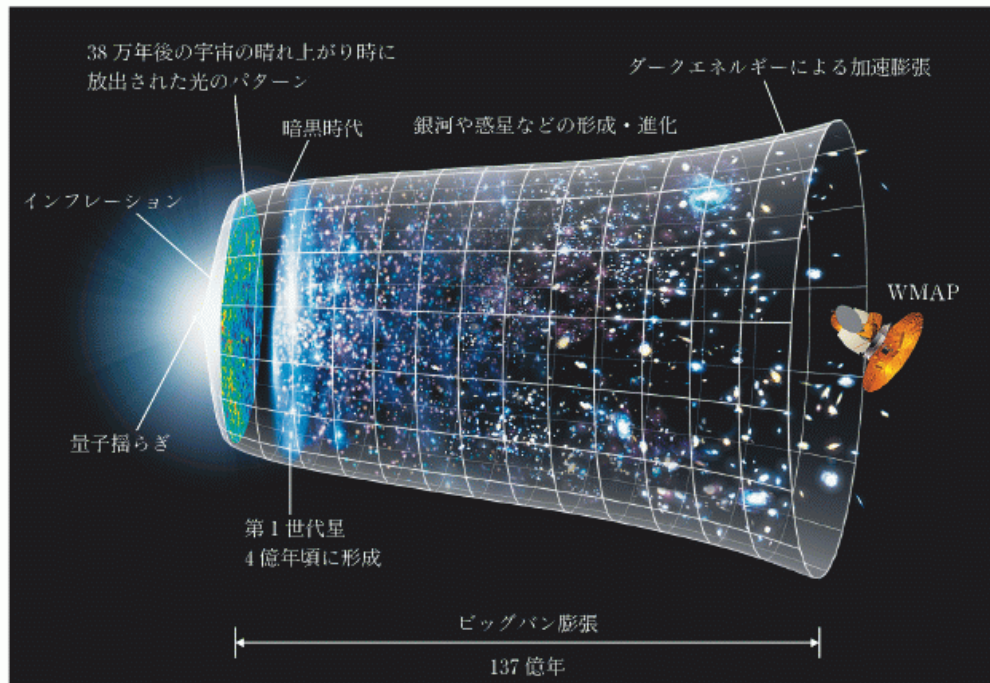


質問

- 恒星の大きさに上限はあるのですか？
- 超新星爆発で星間ガスが発生したとき、暗黒星雲はブラックホールや中性子星の近くにできるのでしょうか？
- 恒星の距離の測定に視差を使うと習ったが、太陽も移動しているので誤差が大きくなるのではないかと思った
- 先日、土星の輪が3億年後に消滅するとニュースにあったが、そのことと星間分子雲に関連はあるのか

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？



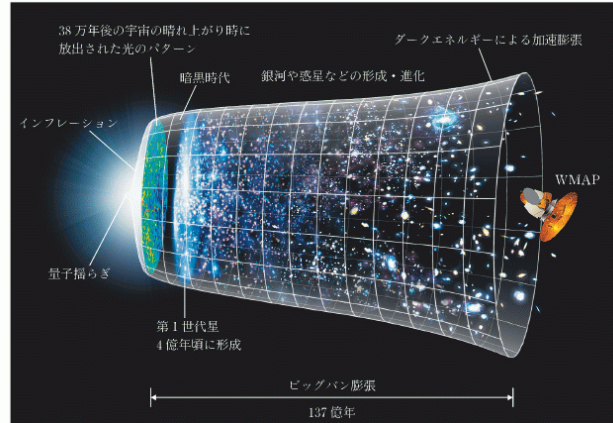
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 参照：地球惑星科学入門第2版30章、31章

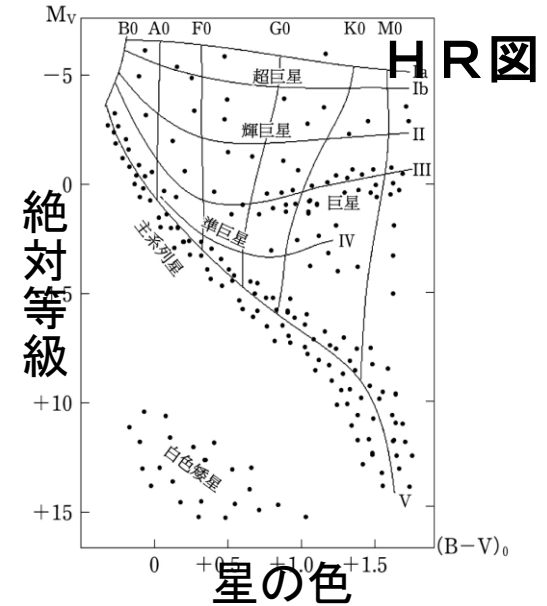
宇宙の距離梯子

- 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

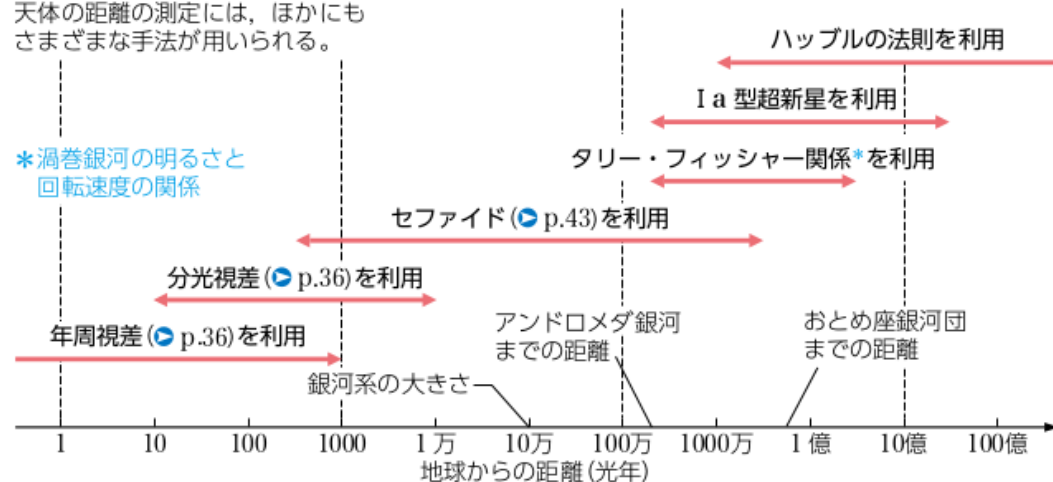


地球惑星科学入門第2版P.368

- 複数の方法を「つなぎあわせて」遠方天体の距離を決定

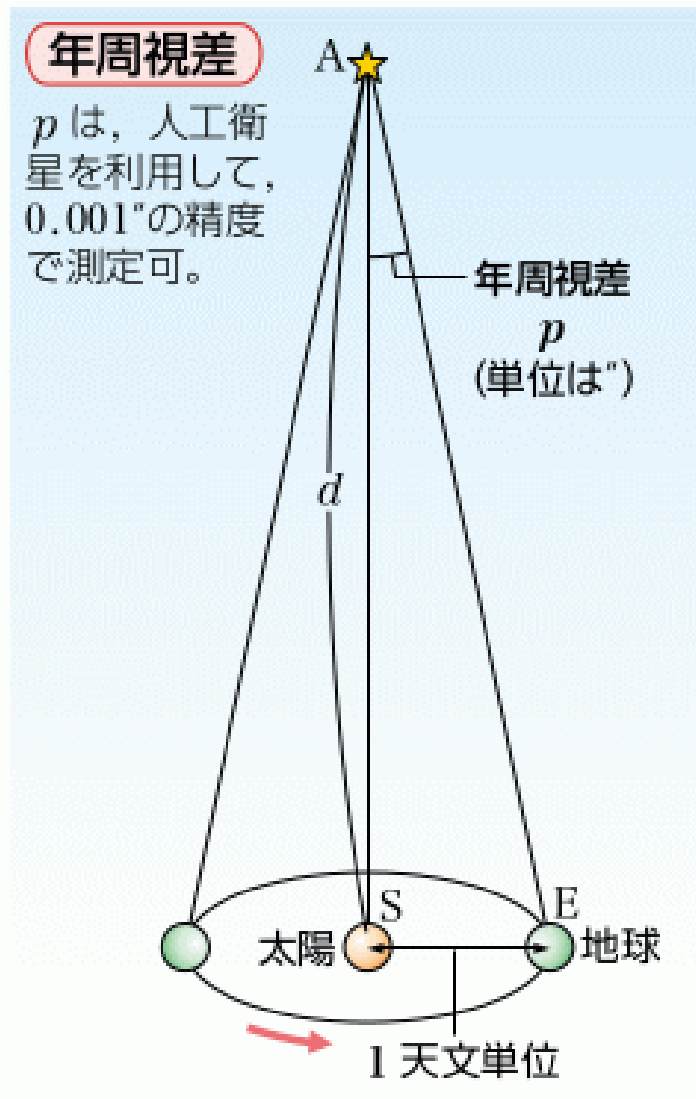
天体の距離の測定には、ほかにもさまざまな手法が用いられる。

*渦巻銀河の明るさと回転速度の関係



地学図表P.11

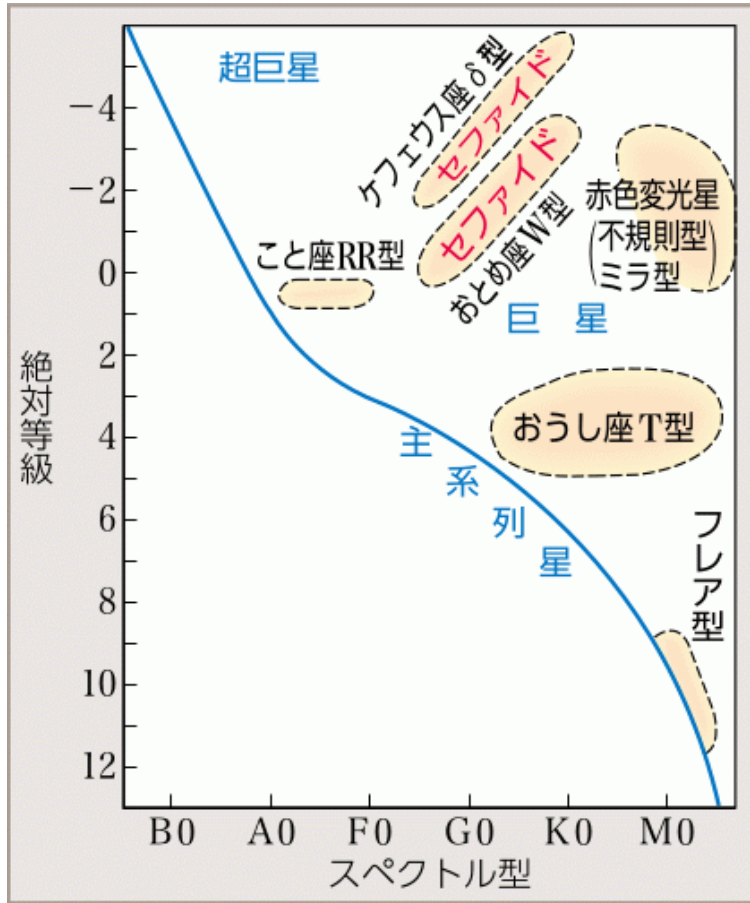
年周視差



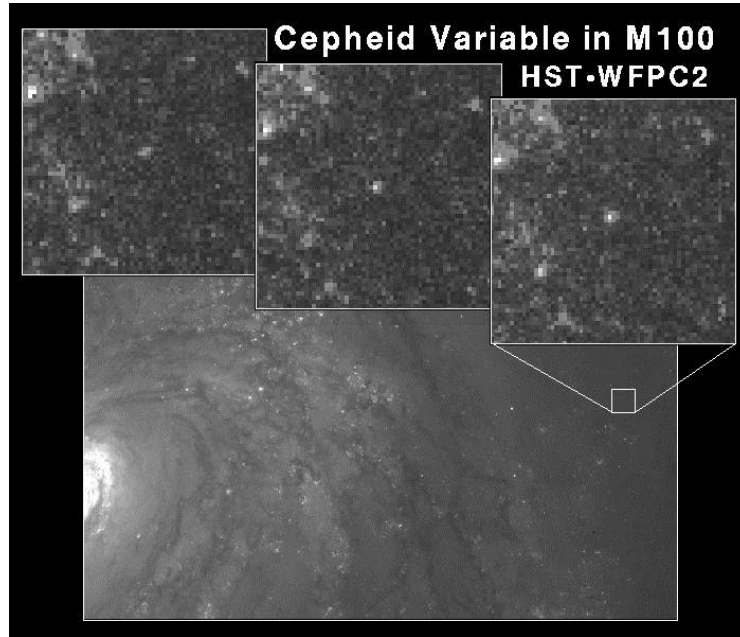
3000光年程度までの
距離を測定

地学図表P.38

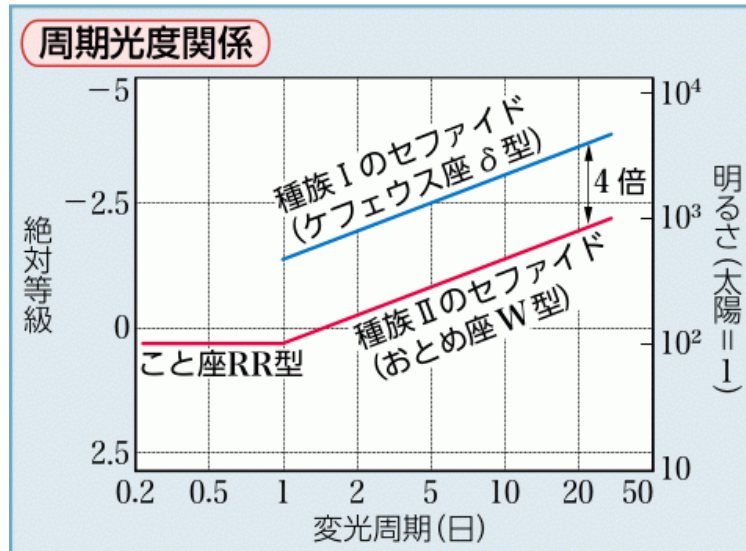
セファイド



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
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



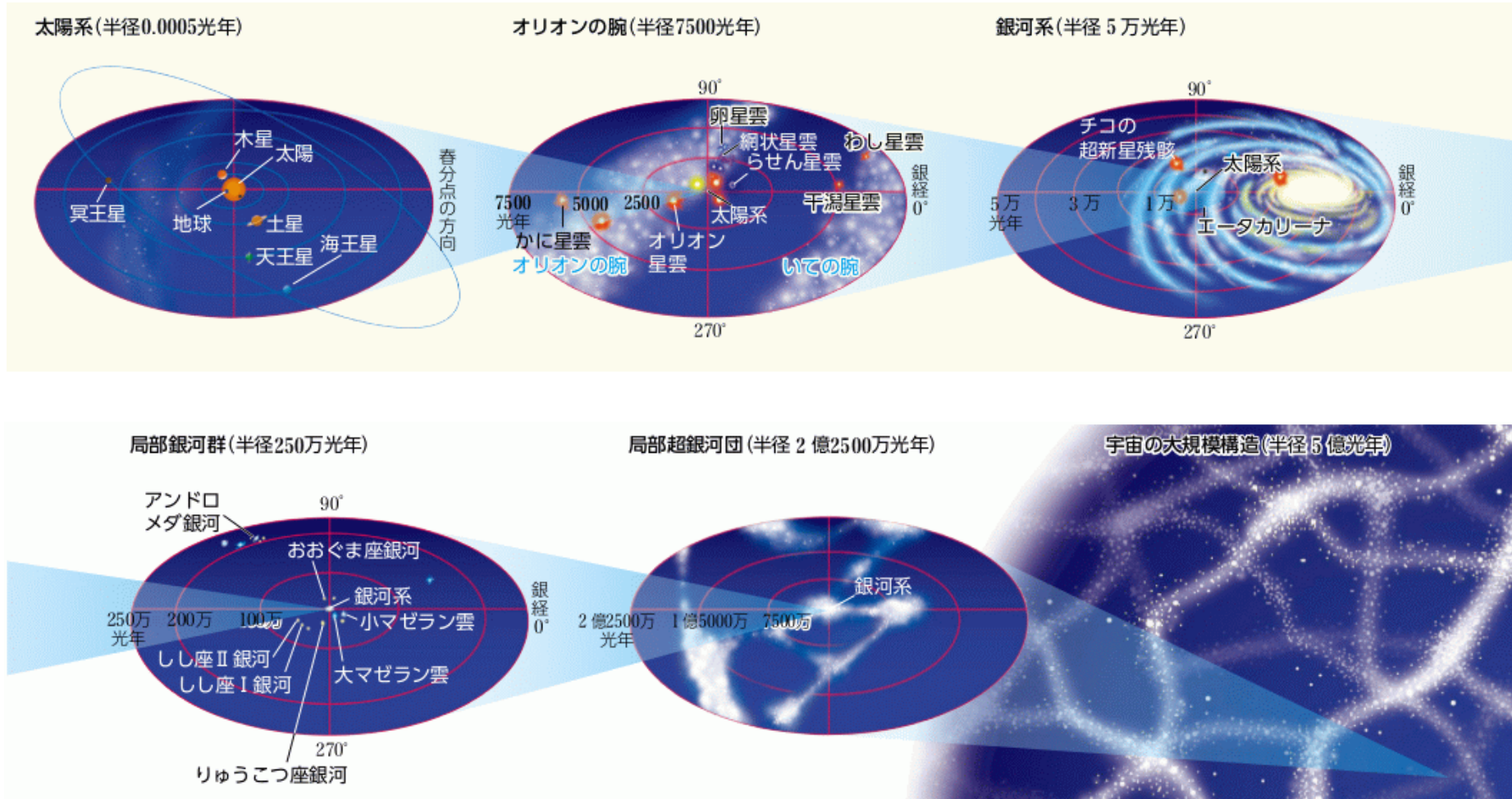
SNR 0509-67.5

<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

宇宙の階層構造

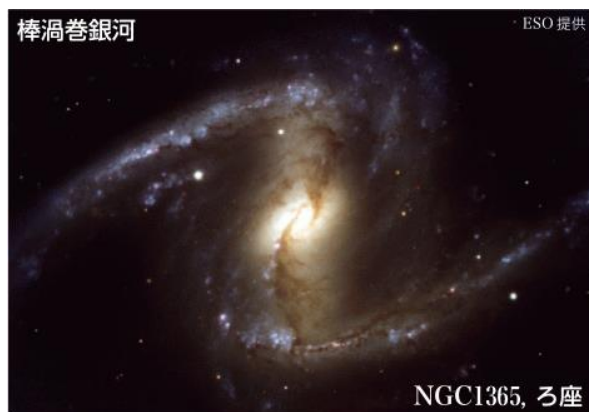


地学図表 P.12, 13

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

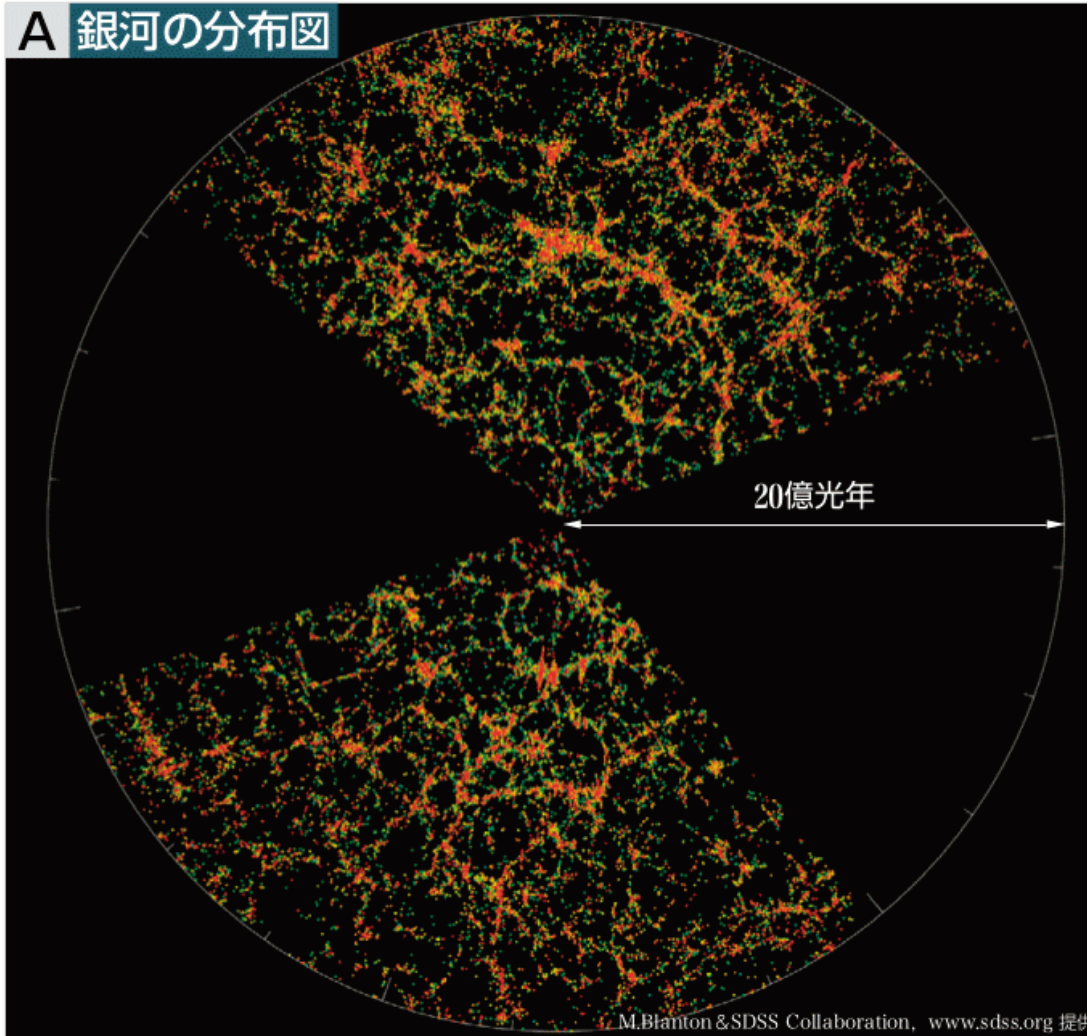
銀河数:
50～100
個程度



地学図表P.12

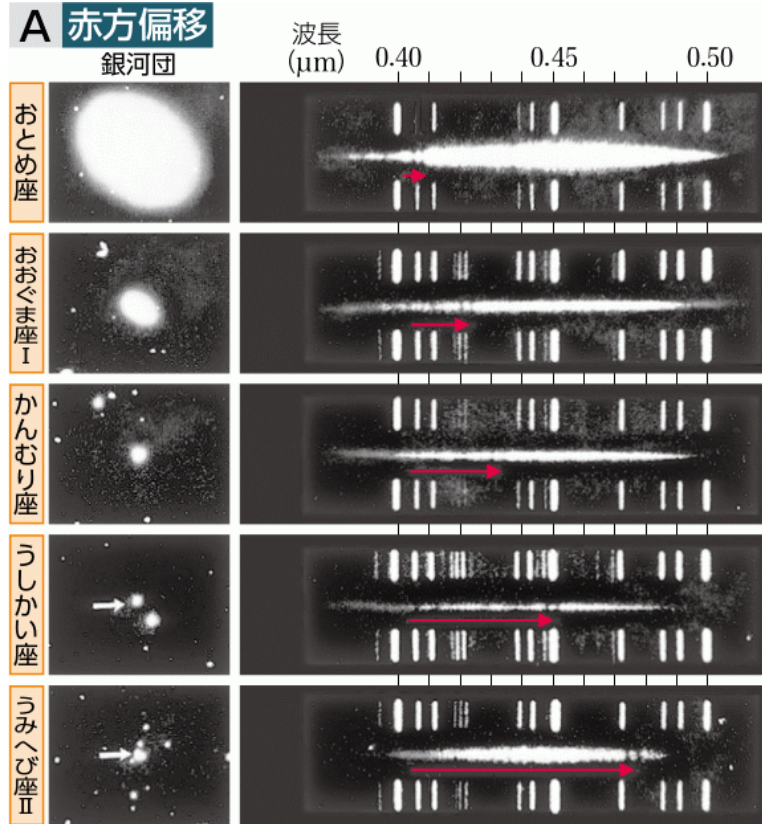
宇宙の大規模構造

A 銀河の分布図

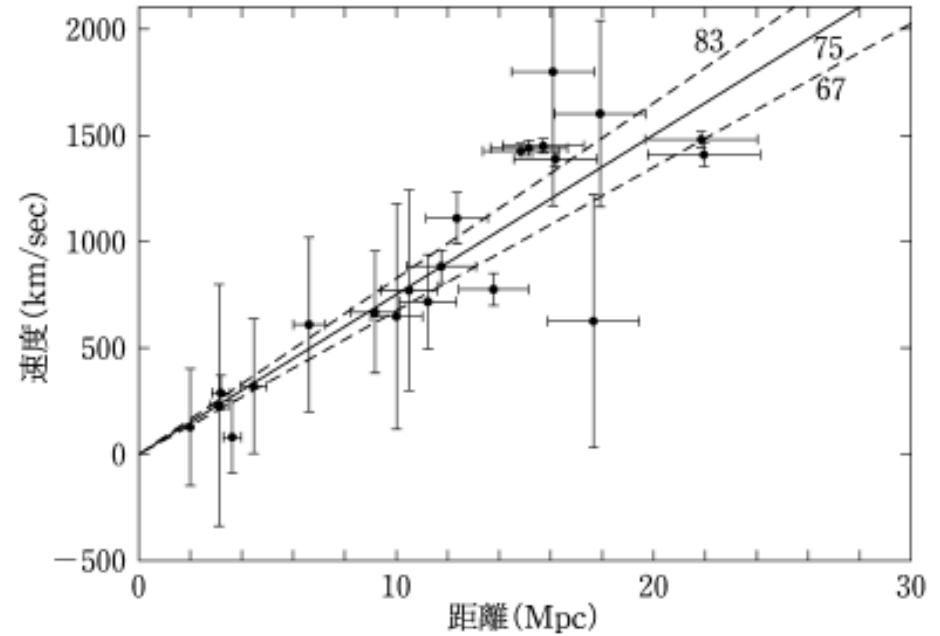


- グレートウォール
- ボイド

銀河の後退速度とハッブルの法則



地学図表P.10



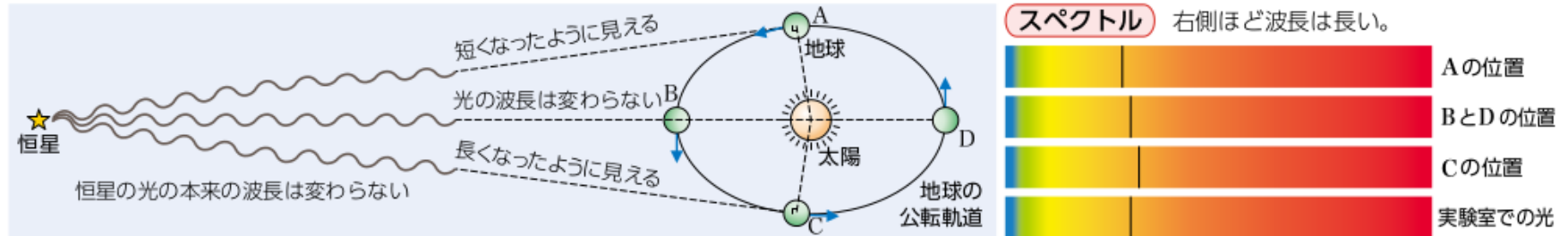
地球惑星科学入門第2版P.355



<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。

地学図表P.53

• 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



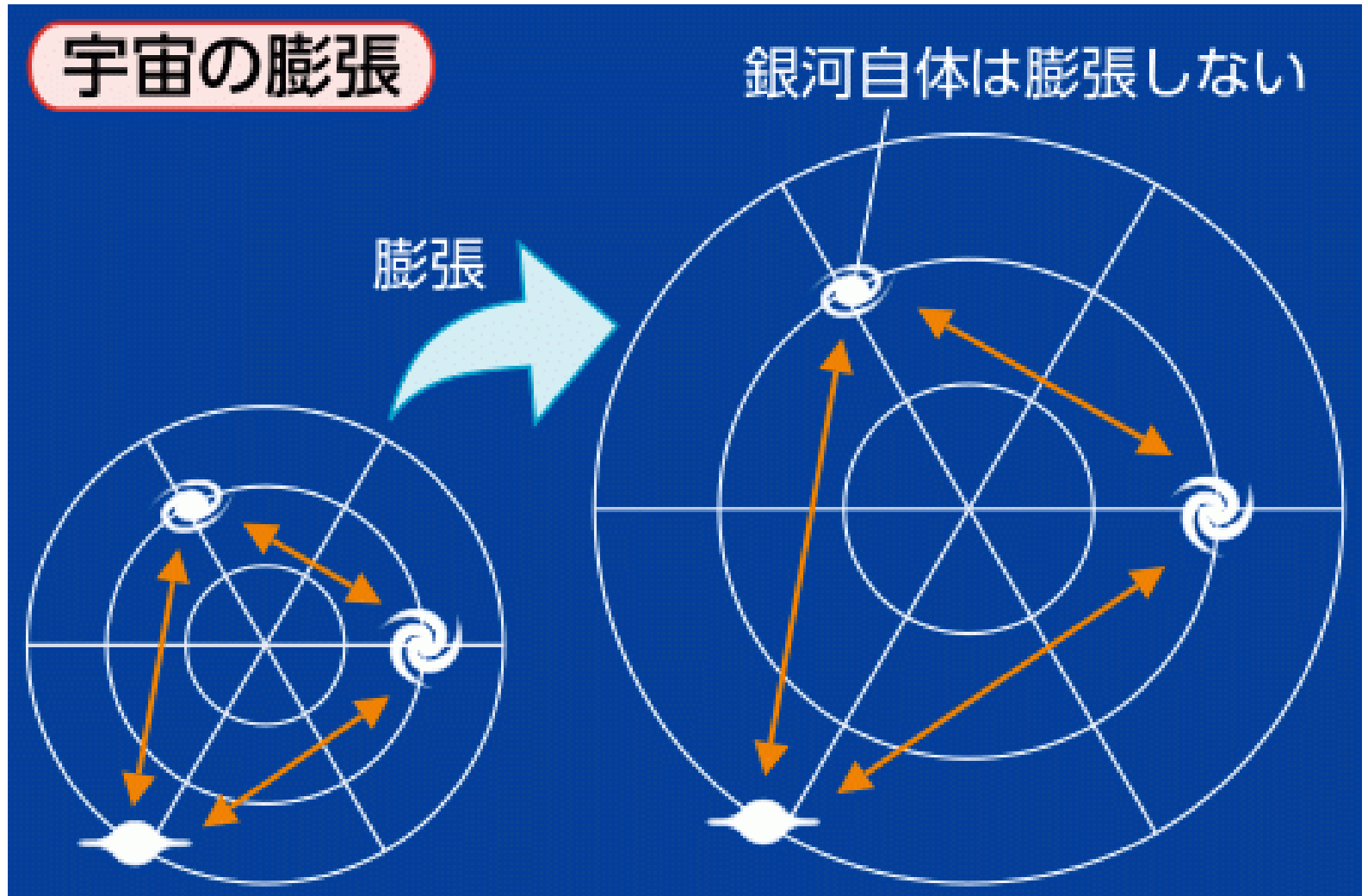
今日の計算問題

- 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

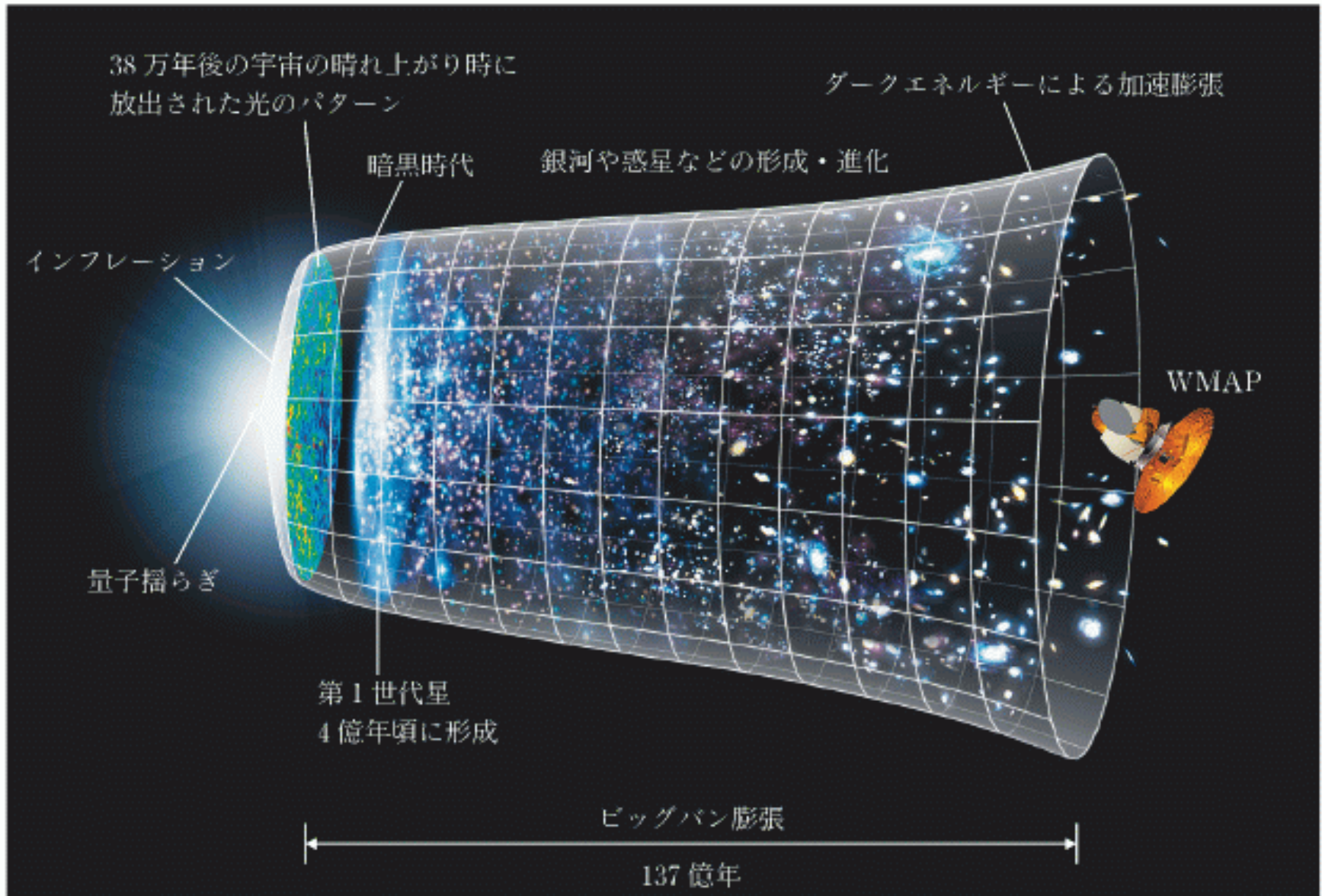
$$v = Hr,$$

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

宇宙の膨張

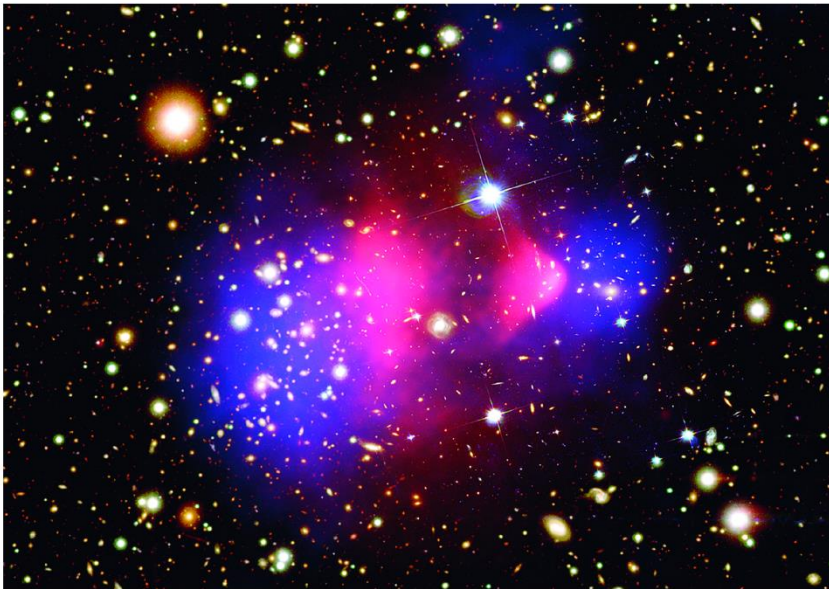


宇宙の進化

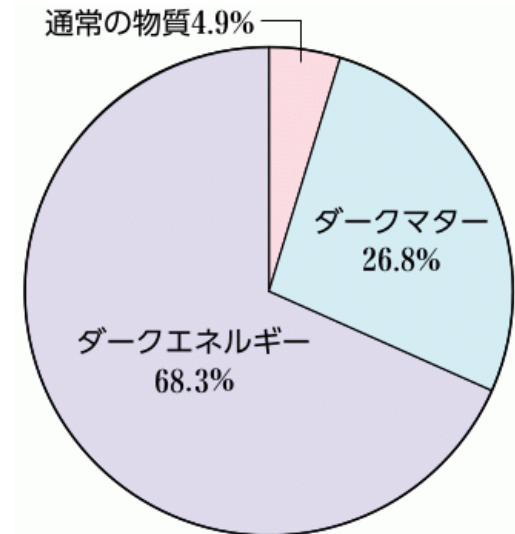
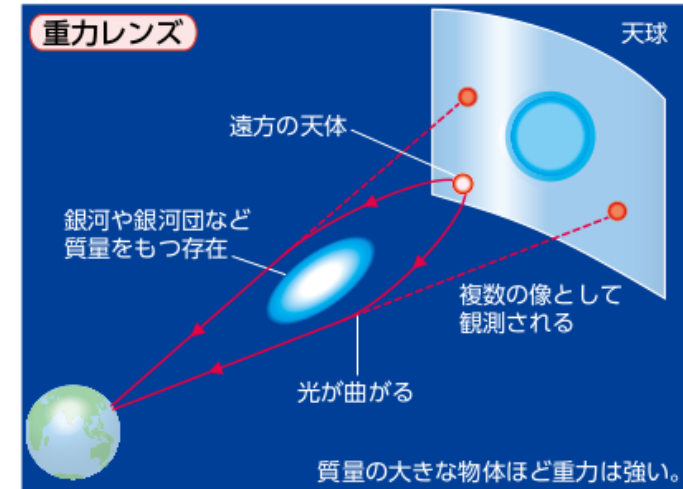


ダークマター

- 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

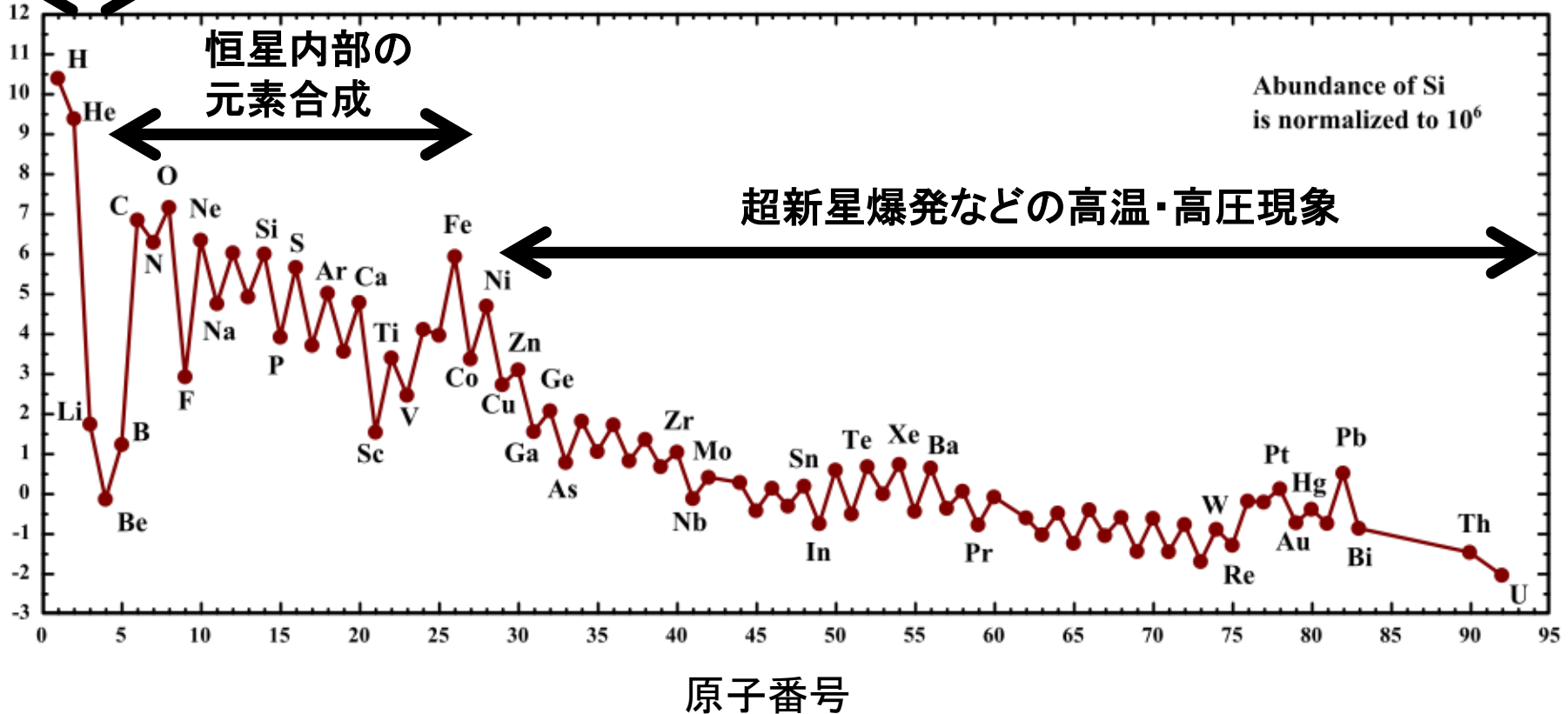


超新星爆発などの高温・高圧現象



Abundance of Si
is normalized to 10^6

存在比

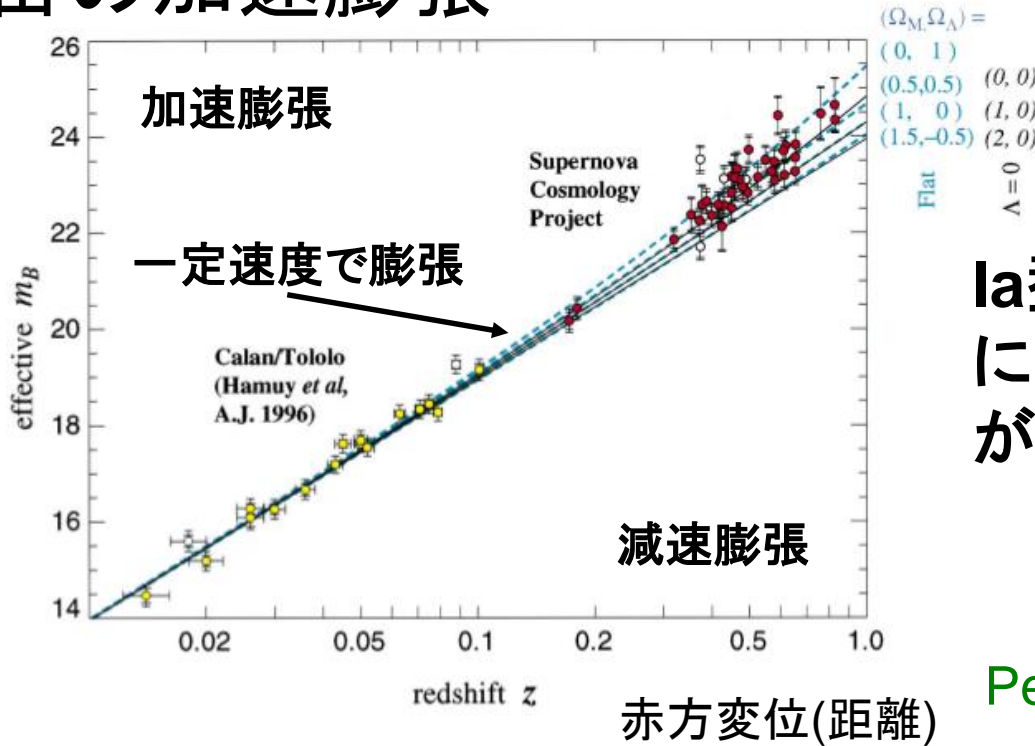


https://online.science.psu.edu/astro140_fawd001/node/11779

宇宙の「大きさ」の時間変化

- 宇宙の加速膨張

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

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