

地球惑星科学II

第11回

2020年01月16日

連絡

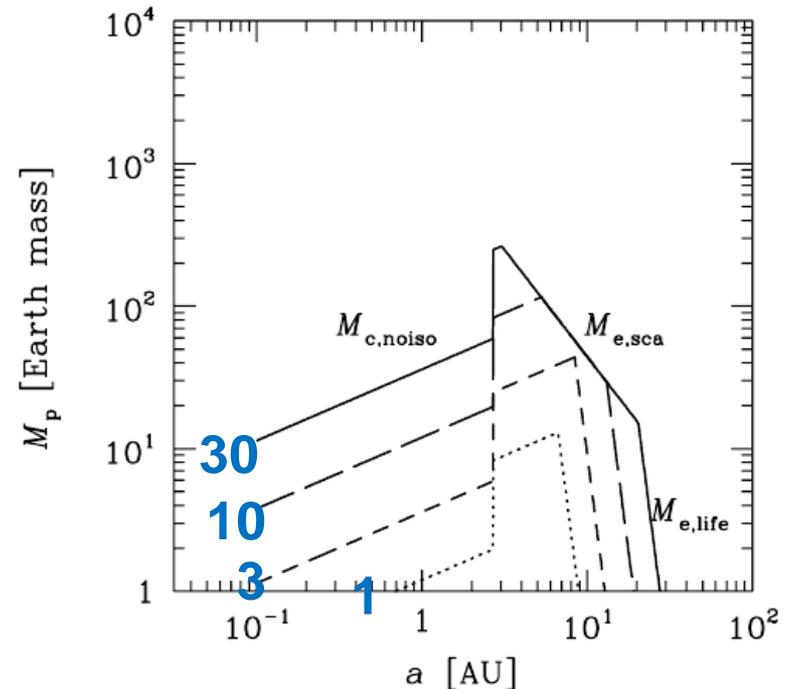
- 来週に授業アンケートを実施します
 - スマートフォン持ってきてください

学期末試験について

- **試験は再来週！** 単位が必要な人は必ず出席！
 - 1月30日(木)10:30～12:10頃
 - 地球惑星科学入門・**地学図表**・自作ノート持ち込み可
 - 出題形式: 計算問題と記述問題
 - その場での思考を問う問題も出題
 - **注意**
 - ノート・教科書をよく復習しておくこと。各種概念を頭の中に入れておくように
 - 解答では論理のつながりに注意
 - 成績は総合得点順で機械的に決定する
 - 授業で使った資料は公開
- <http://www.gfd-dennou.org/arch/momoko/index.htm.ja>

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
 - 密度が大きい場合、原始星の数が多くなって恒星も増える
 - 気体成分の割合で水素が多いほど、作られた恒星は水素の核融合に多くの時間を要するので寿命は長くなる
 - 回転が強ければ物質の衝突の頻度は大きくなる



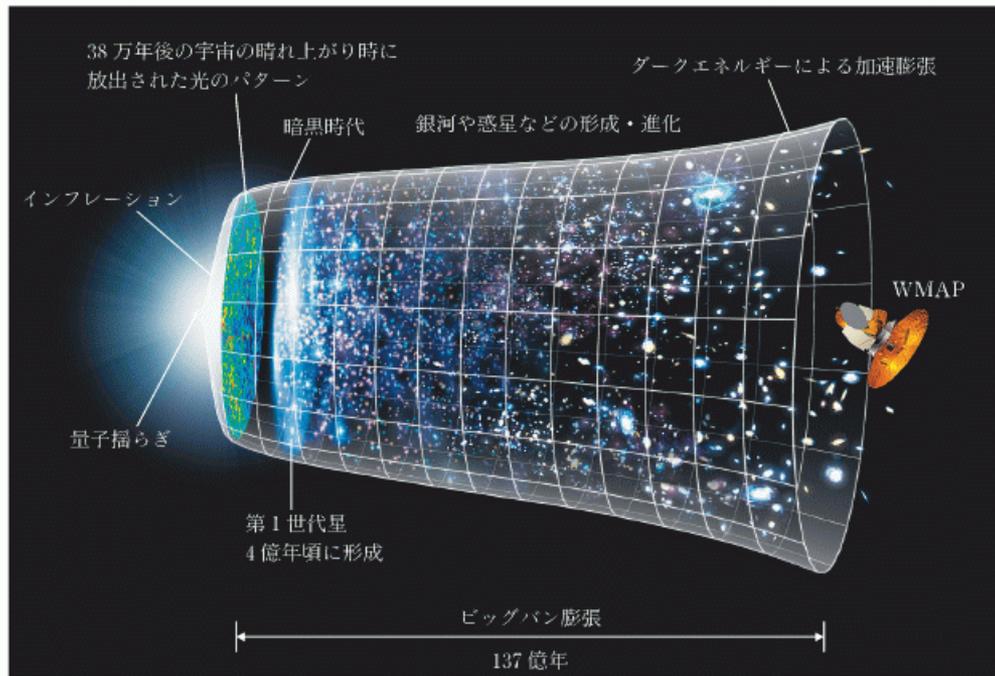
Ida and Lin (2004)

質問

- 惑星状星雲で離れたガスの成分と超新星爆発でふっとんだ成分の違いを知りたい
- 将来、太陽が赤色巨星→白色矮星になったとき、密度はとても高いが、太陽ほどの万有引力をもたないと思うので、天王星あたりはどこかに行ってしまうのか？

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？



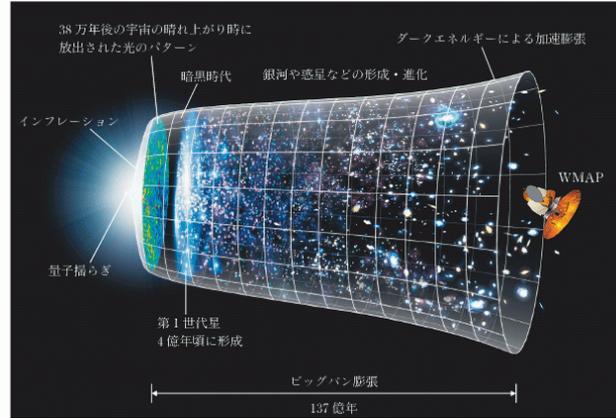
地球惑星科学入門第2版口絵3

- 参照：地球惑星科学入門第2版30章、31章

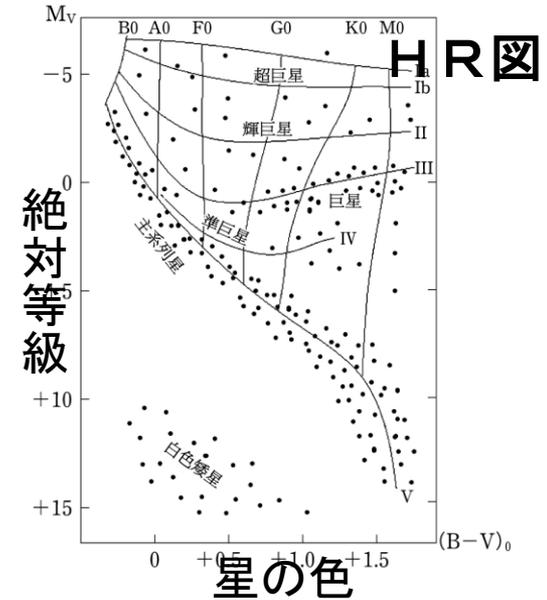
宇宙の距離梯子

- 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

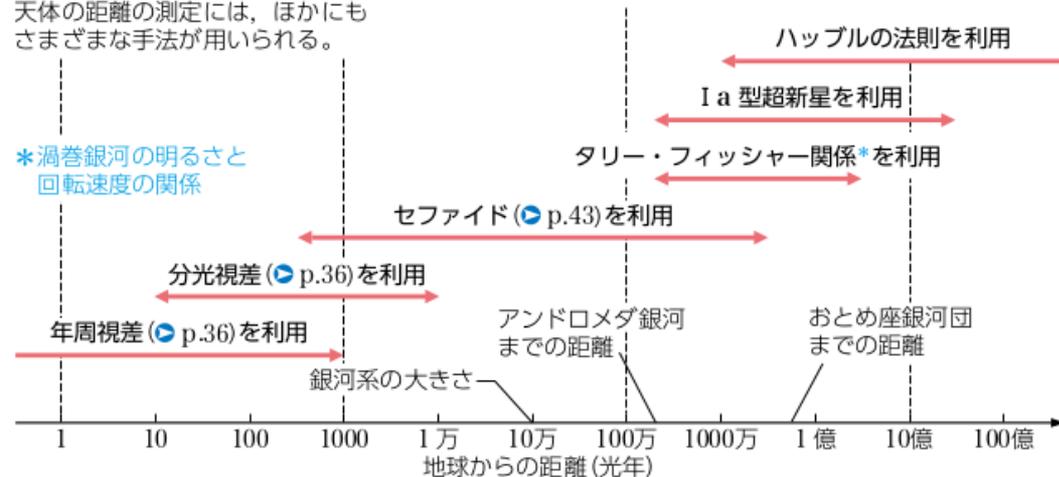


地球惑星科学入門第2版P.368

- 複数の方法を「つなぎあわせて」遠方天体の距離を決定

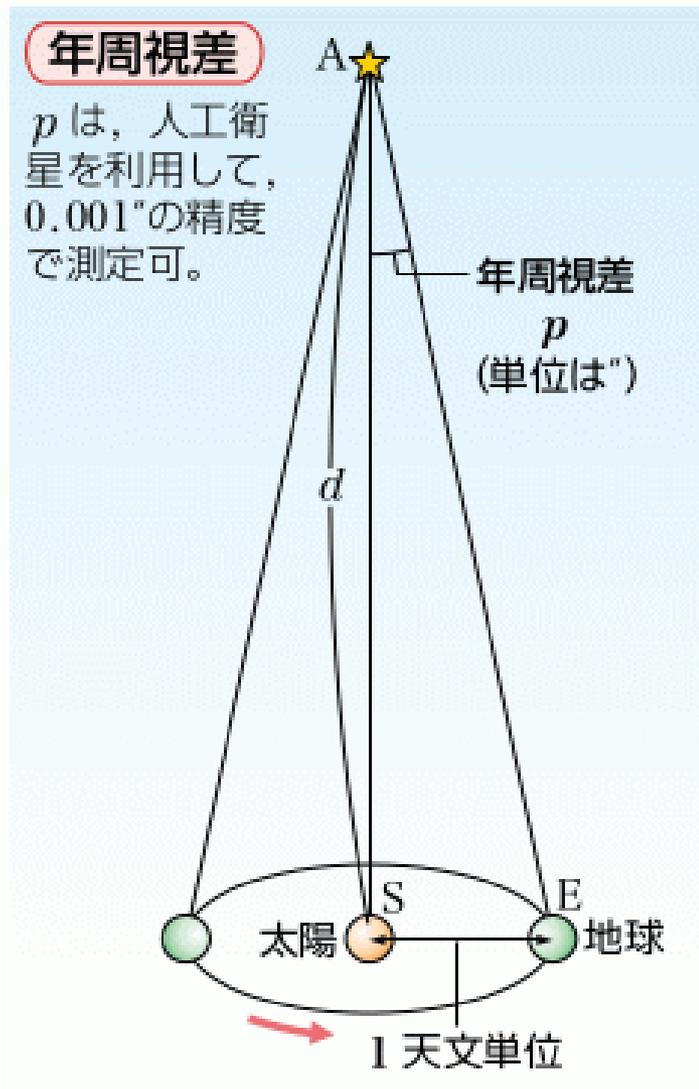
天体の距離の測定には、ほかにもさまざまな手法が用いられる。

*渦巻銀河の明るさと回転速度の関係



地学図表P.11

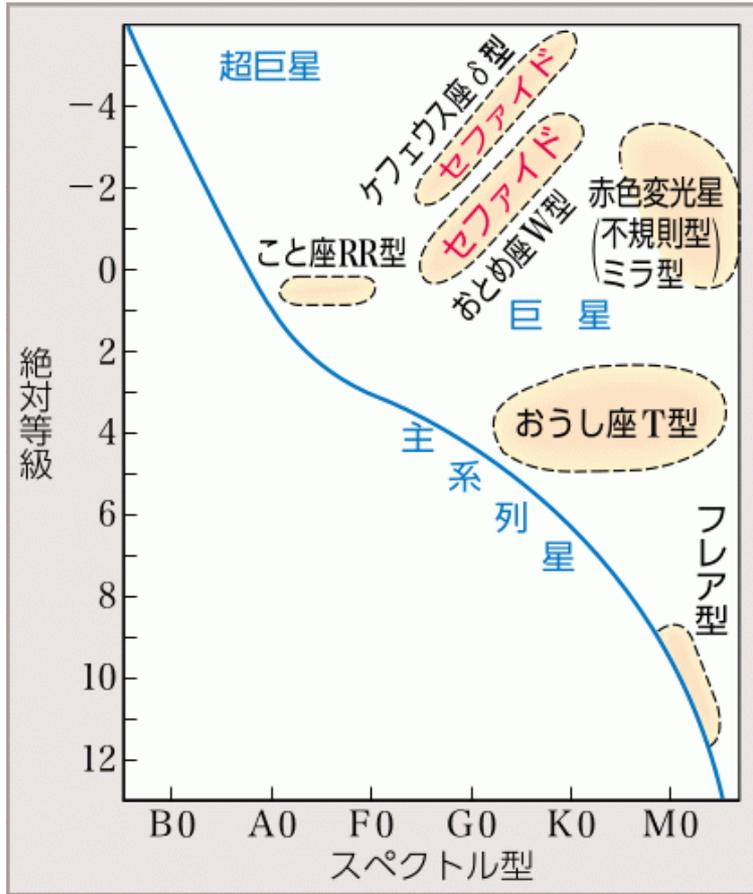
年周視差



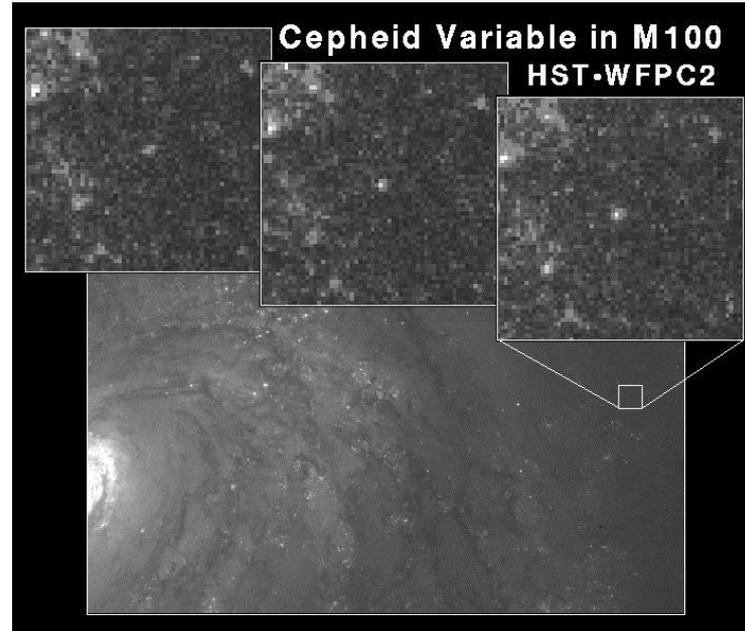
3000光年程度までの
距離を測定

地学図表P.38

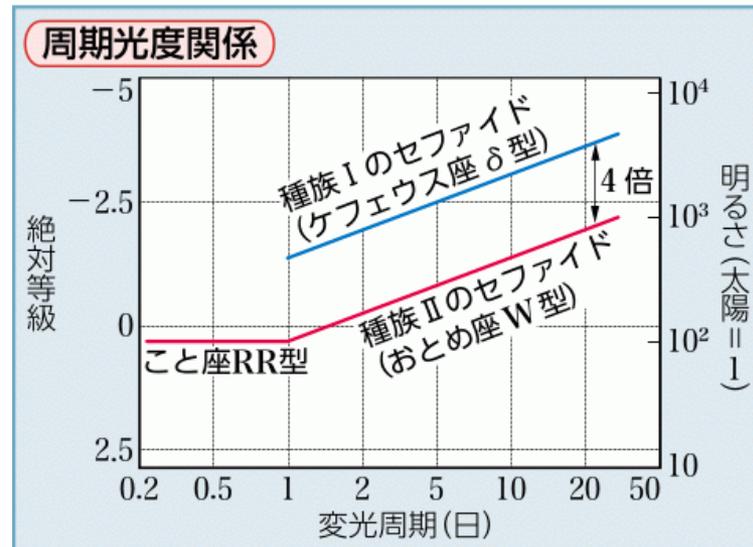
セファイド



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

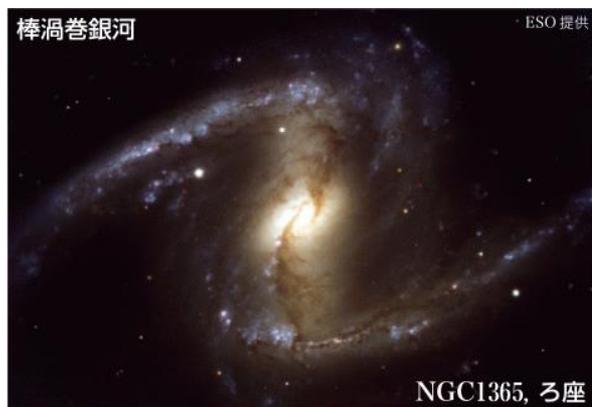
<http://chandra.harvard.edu/photo/2010/snr0509/>

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

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

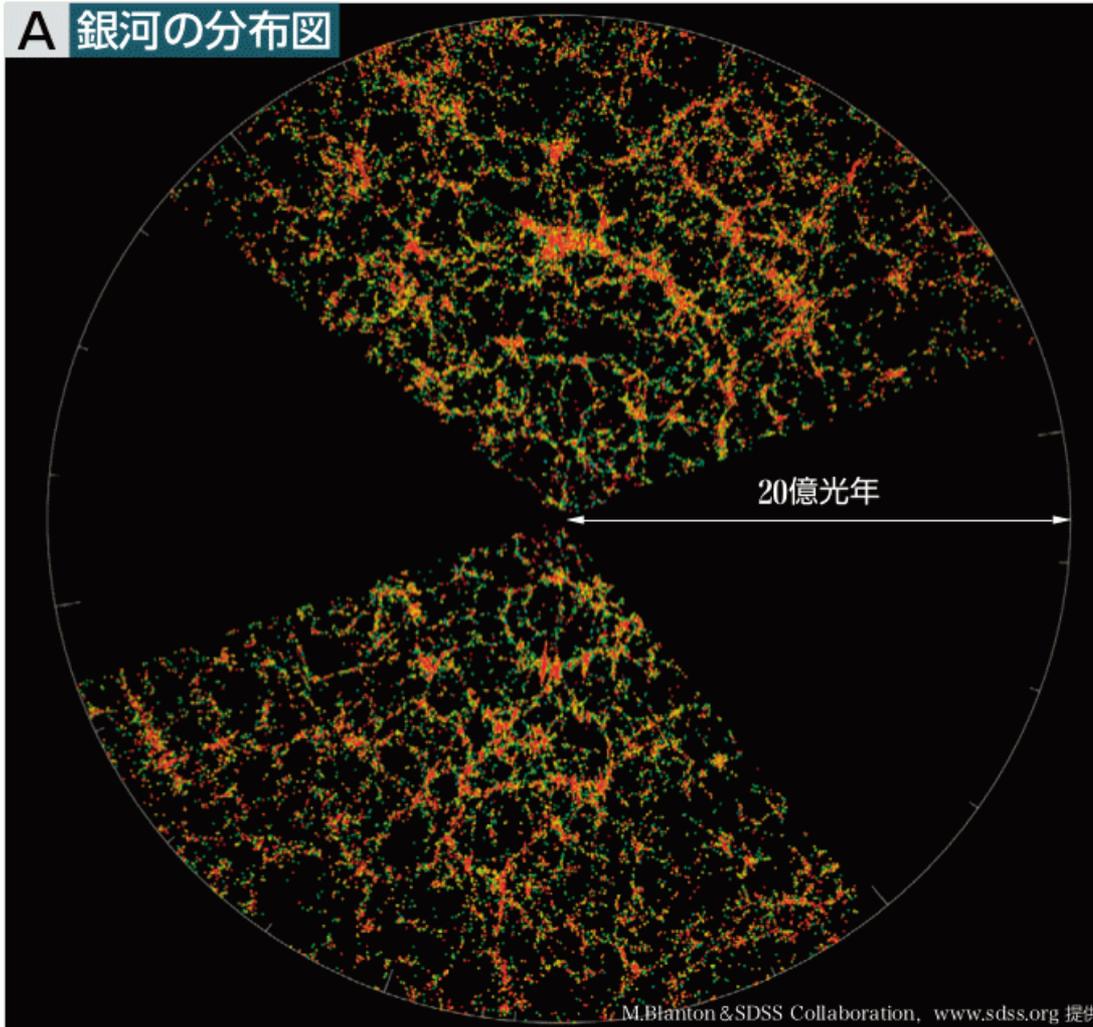
銀河数:
50～100
個程度



地学図表P.12

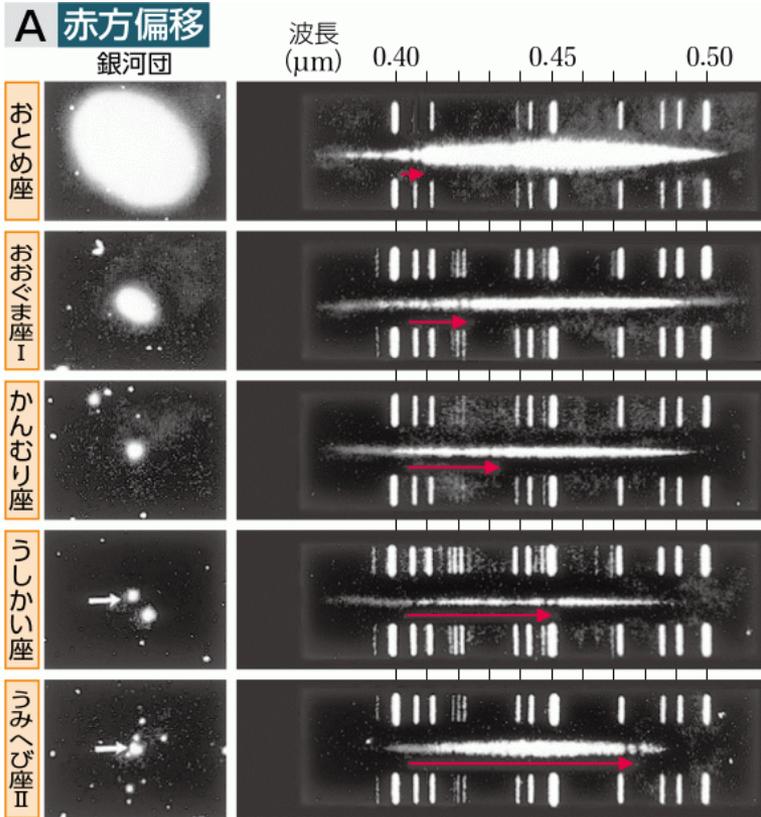
宇宙の大規模構造

A 銀河の分布図

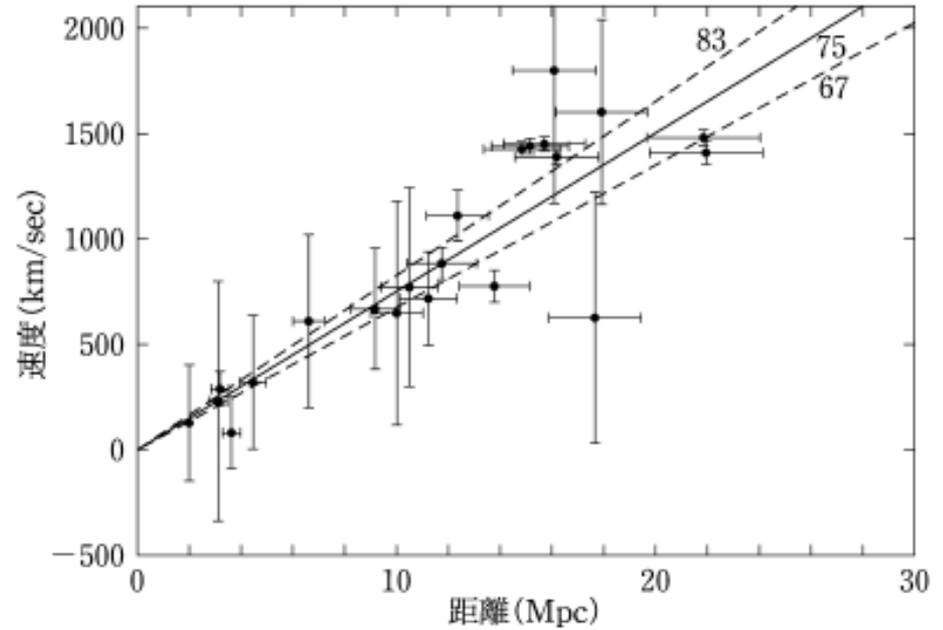


- グレートウォール
- ボイド

銀河の後退速度とハッブルの法則



地学図表P.10



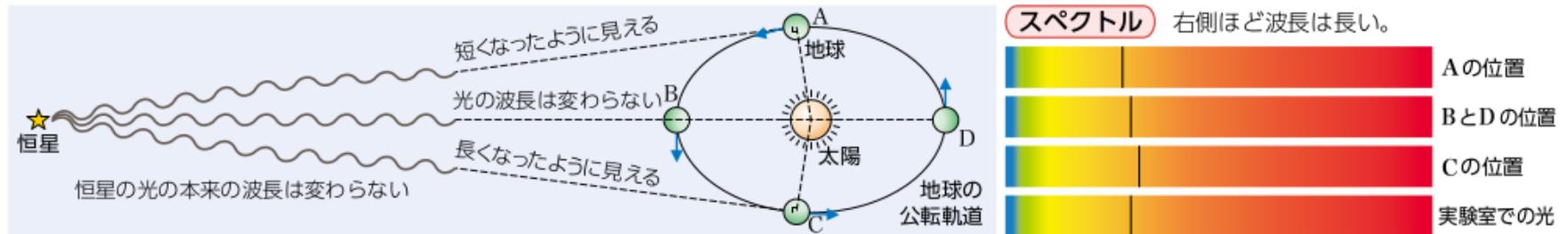
地球惑星科学入門第2版P.355



<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



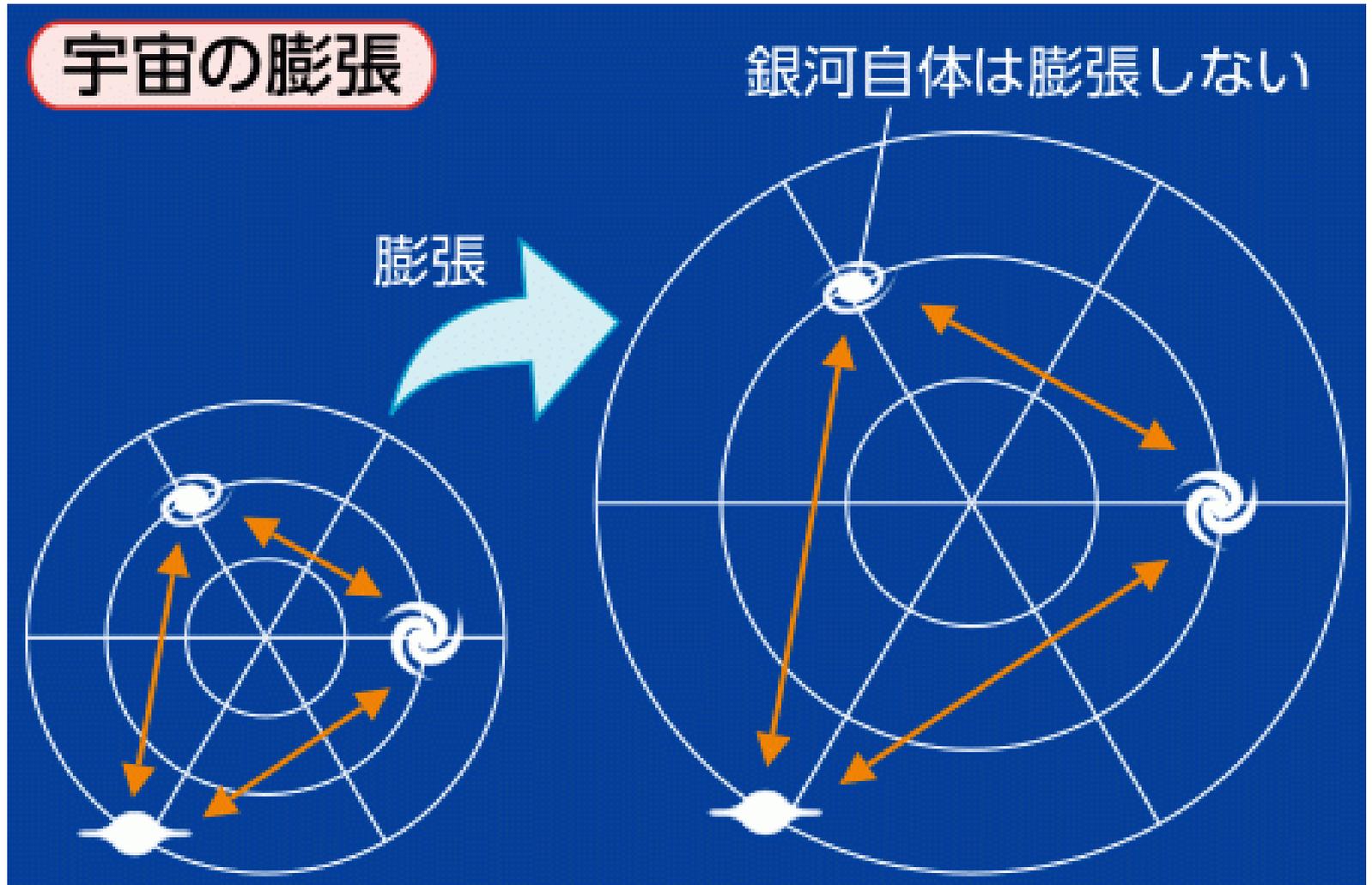
今日の計算問題

- 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

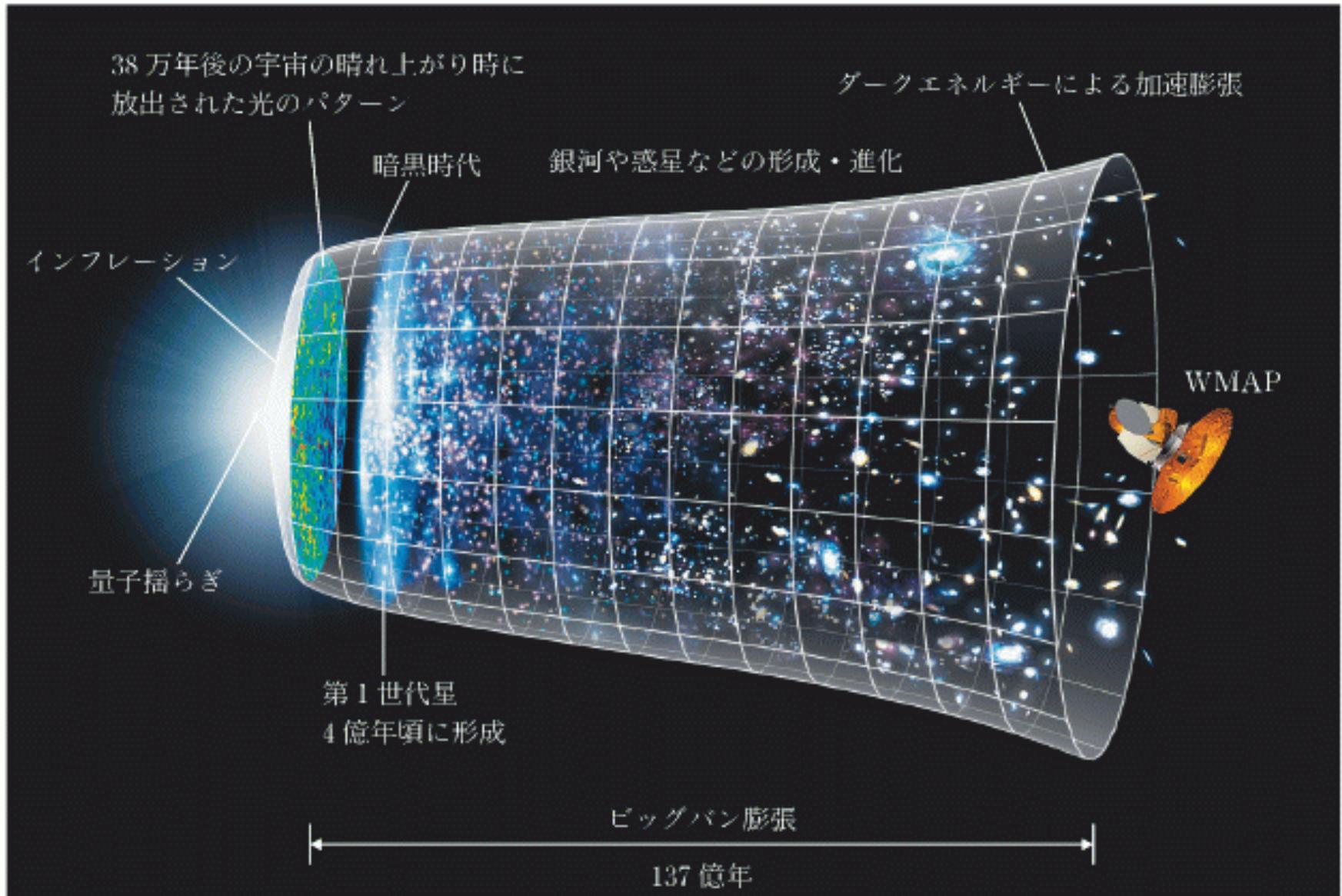
$$v = Hr,$$

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

宇宙の膨張

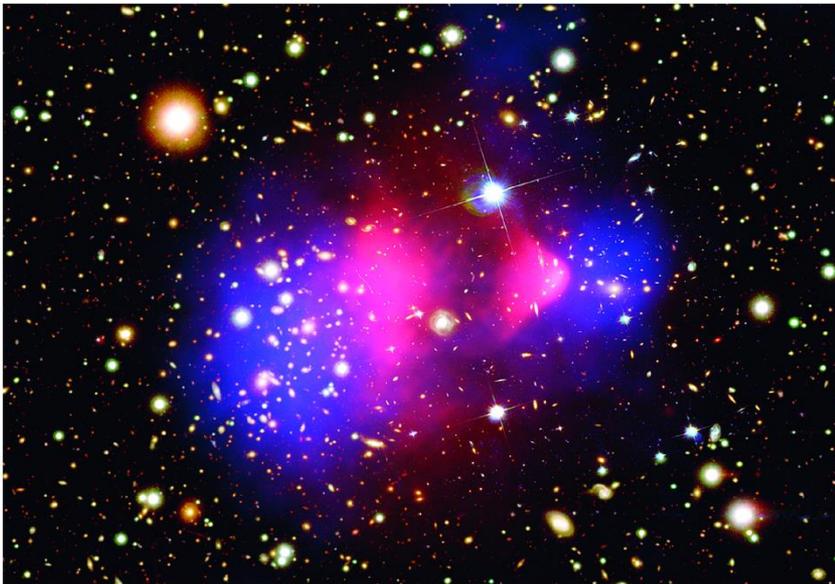


宇宙の進化

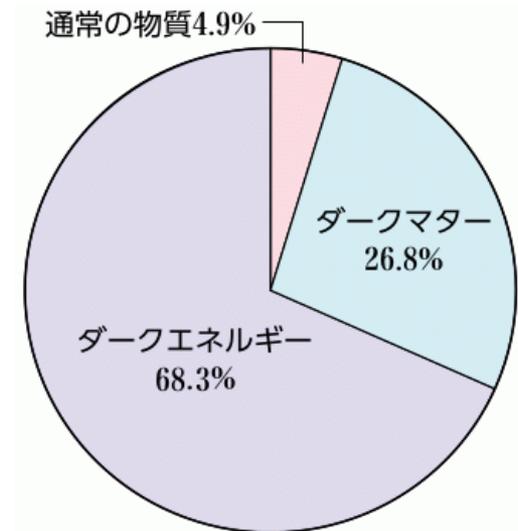
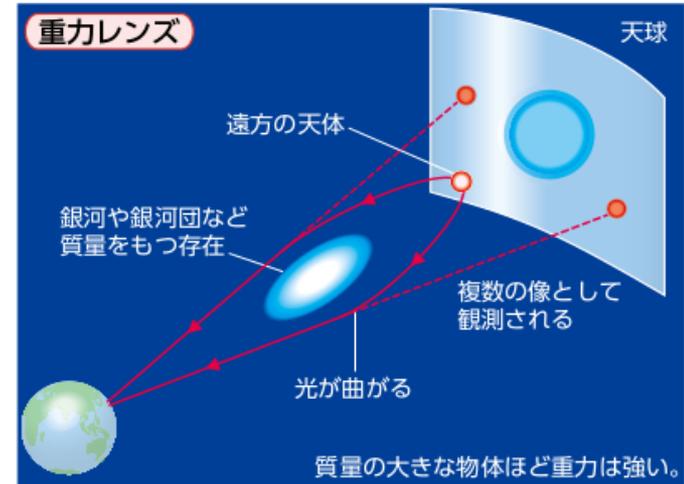


ダークマター

- 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



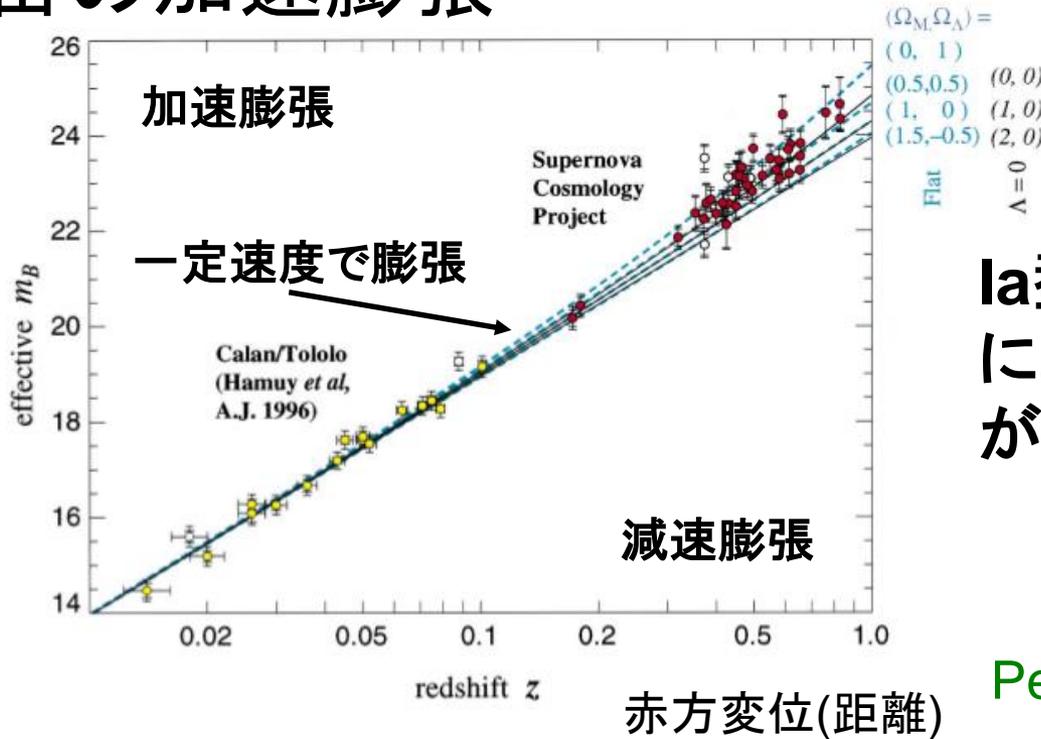
くじら座の銀河団 赤い部分は高温のガス
青い部分がダークマター



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

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