

宇宙論・超新星

天文学概論 第13回

The Tadpole Galaxy — UGC 10214  HUBBLESITE.org

担当教員

高梨 直紘 (東京大学 生産技術研究所)
naohiro.takanashi@emp.u-tokyo.ac.jp

専門

- 観測的宇宙論 (宇宙膨張の測定)
- 科学コミュニケーション



宇宙とはなんぞや?

宇宙

元素

宇宙

人間

科学

科学とはなんぞや?



宇宙の視方

宇宙の視方とは、地球を中心とした視点から宇宙を眺めること。地球を中心とした宇宙の視点は、地球を中心とした宇宙の視点を意味する。地球を中心とした宇宙の視点は、地球を中心とした宇宙の視点を意味する。

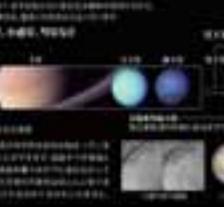


宇宙の視方とは、地球を中心とした視点から宇宙を眺めること。地球を中心とした宇宙の視点は、地球を中心とした宇宙の視点を意味する。地球を中心とした宇宙の視点は、地球を中心とした宇宙の視点を意味する。

宇宙の視方とは、地球を中心とした視点から宇宙を眺めること。地球を中心とした宇宙の視点は、地球を中心とした宇宙の視点を意味する。地球を中心とした宇宙の視点は、地球を中心とした宇宙の視点を意味する。

太陽系天体に生命を求めて

太陽系天体に生命を求めて。火星、木星の衛星、土星の衛星、天王星、海王星。火星、木星の衛星、土星の衛星、天王星、海王星。



もうひとつの地球を探して

もうひとつの地球を探して。地球外生命の探査。地球外生命の探査。地球外生命の探査。

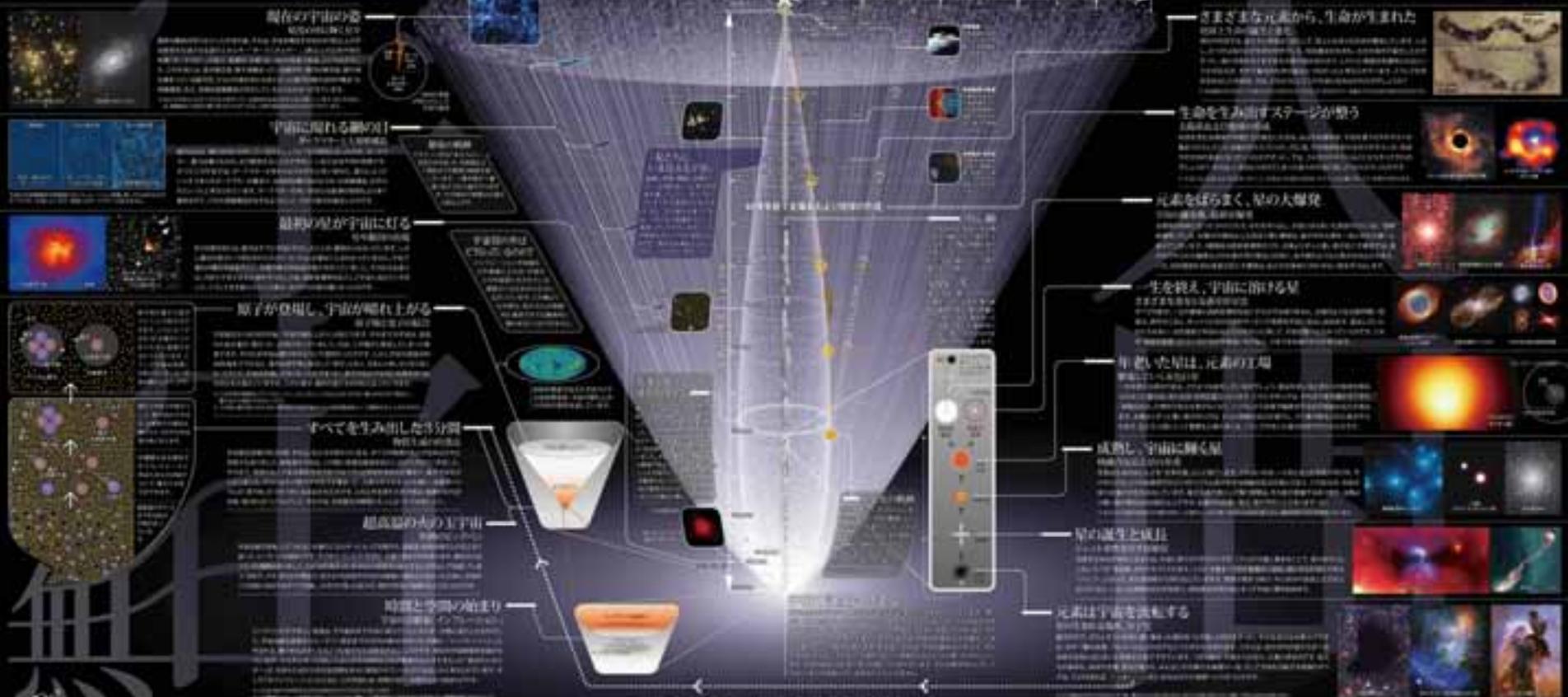


宇宙はどのように生まれたのか?

宇宙はどのように生まれたのか? 宇宙の誕生。宇宙の誕生。宇宙の誕生。

人間の材料はどこから来たのか?

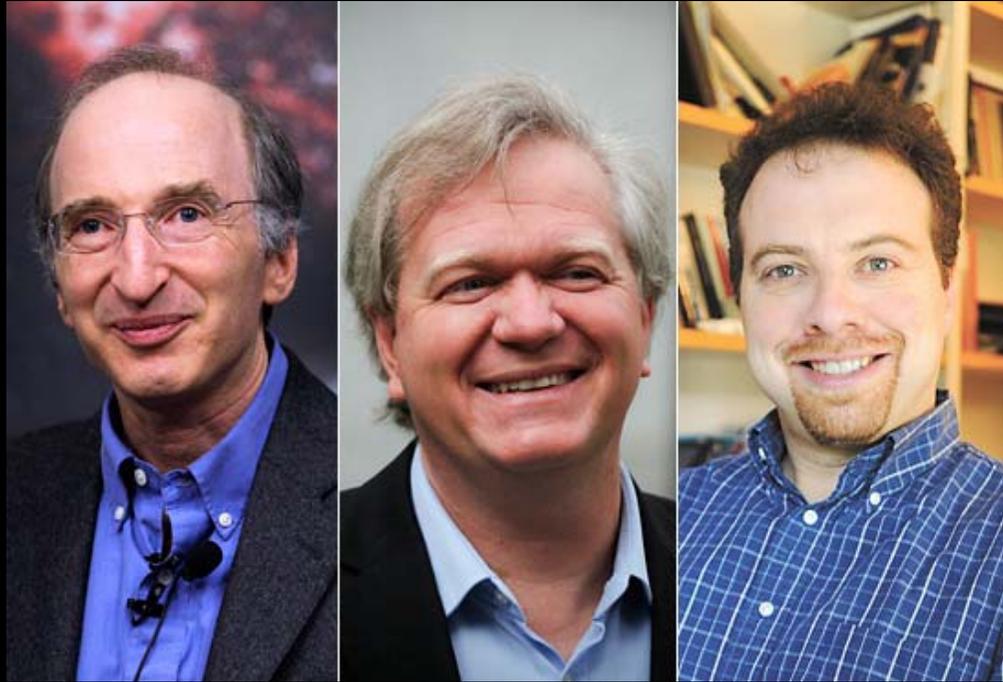
人間の材料はどこから来たのか? 人間の材料。人間の材料。人間の材料。



今日の授業の目的

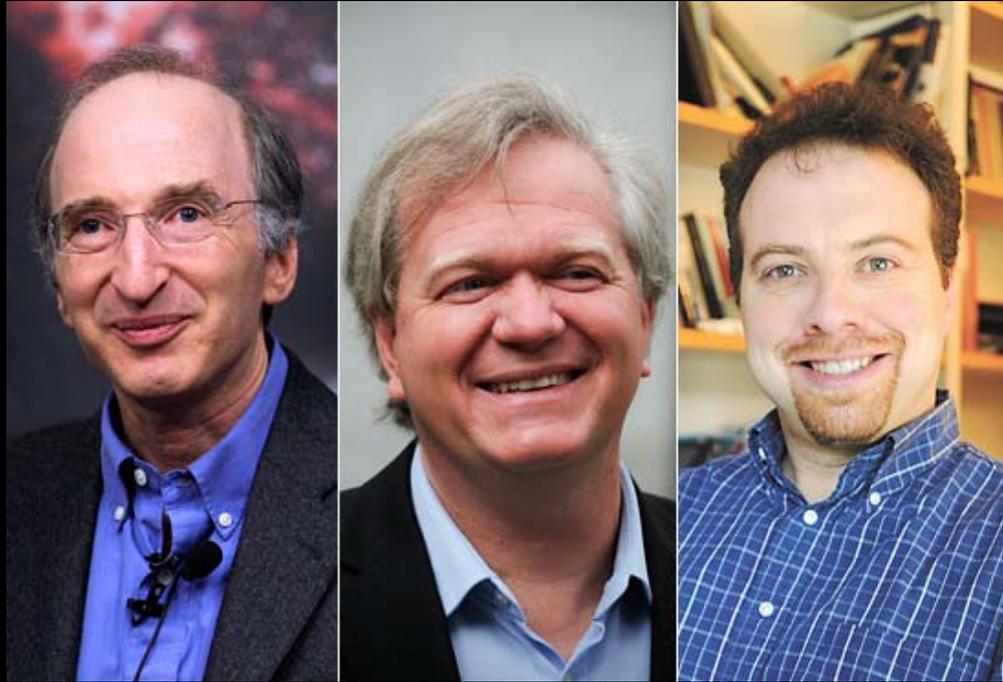
- 2011年度ノーベル物理学賞の紹介
- 宇宙における距離の測り方
- (時間があれば) 研究の実際

2011年度 ノーベル物理学賞



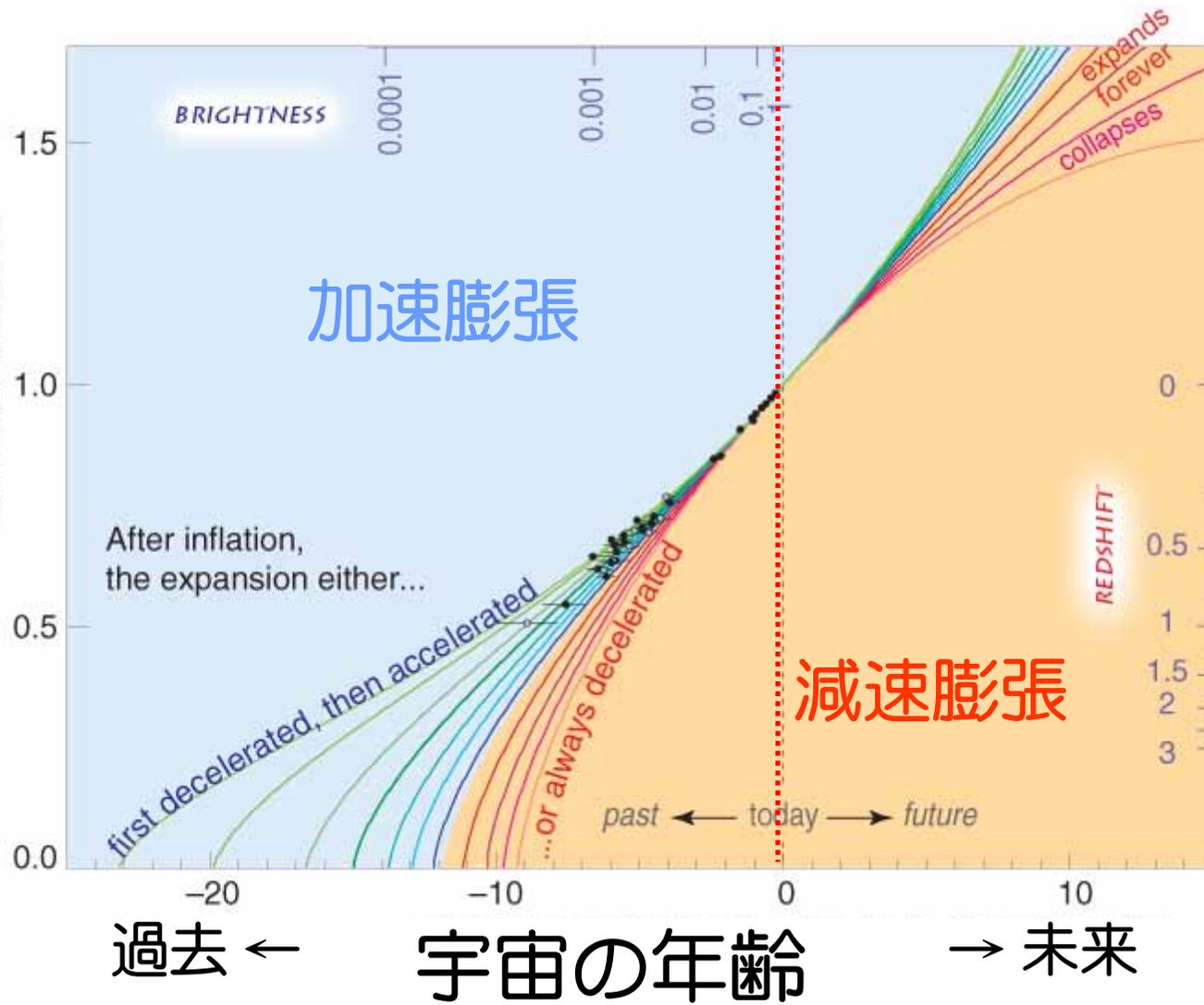
for the discovery of the accelerating expansion of the Universe through observations of distant supernovae

2011年度 ノーベル物理学賞



“遠方超新星を用いた加速膨張宇宙の発見”

宇宙のサイズ

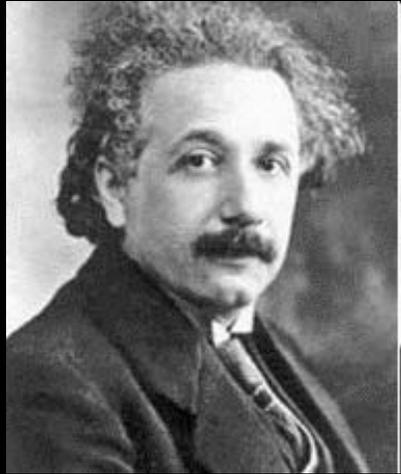


宇宙は膨らみつつある

137億年前に始まった宇宙
それからずっと膨らみ続けている



宇宙の運命を決める式



Albert Einstein
(1879-1955)

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

時空の歪み

宇宙項

物質の分布

アインシュタイン方程式

3通りの運命



A. Friedmann
(1888-1925)

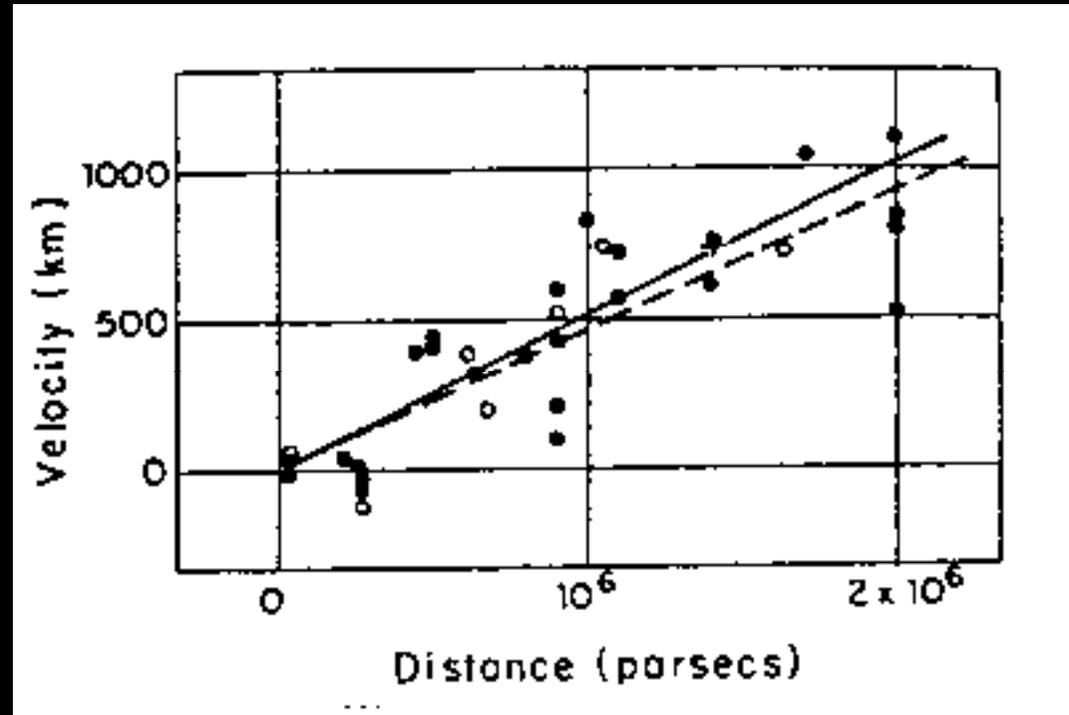
$$H^2(t) = \left(\frac{\dot{a}(t)}{a(t)} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho(t) - \frac{K}{a^2(t)} + \frac{\Lambda}{3}$$

- ① 永遠に膨らみ続ける
- ② いつか止まって安定する
- ③ 縮んで閉じて終わる

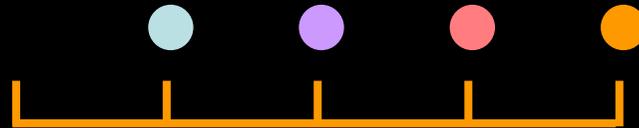
膨張宇宙の発見



Edwin Hubble
(1889-1953)



$t = 0$



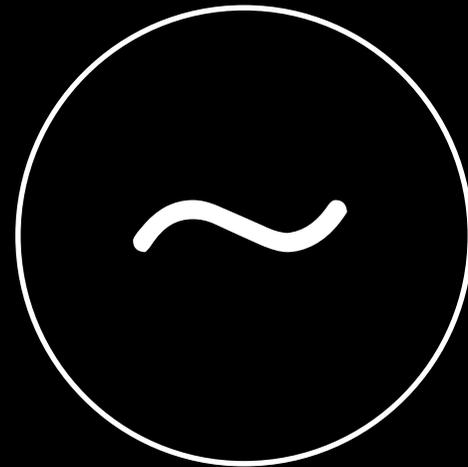
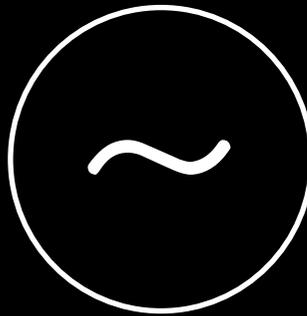
$t = t_1$



後退速度の意味

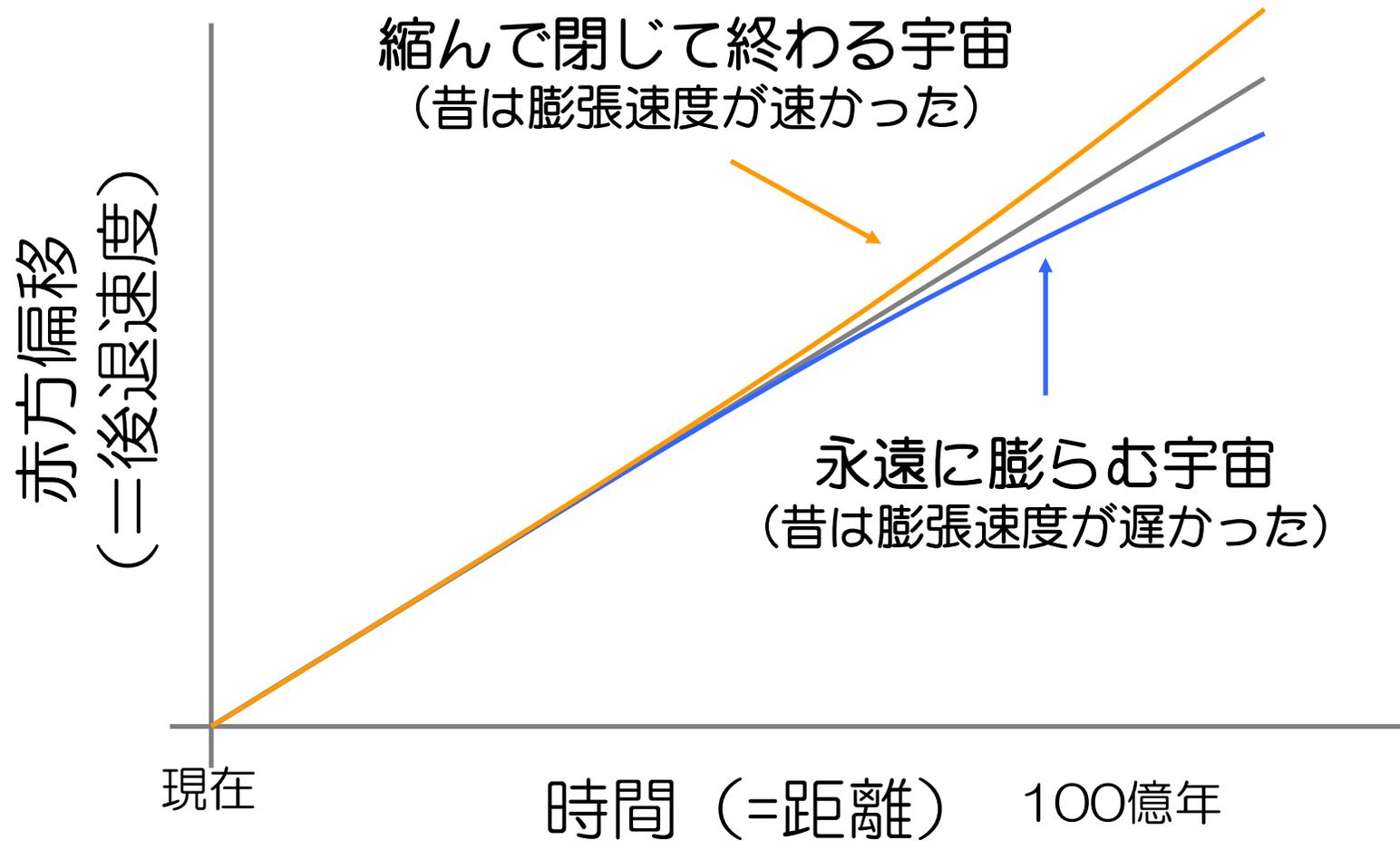
宇宙の大きさに応じて波長が伸びる

後退速度 = 波長の伸び具合 = 宇宙のサイズ
(赤方偏移)



過去のある時点の宇宙に放たれた光の波長が
現在何倍に伸ばされているかで膨張率がわかる

本当の答えは？

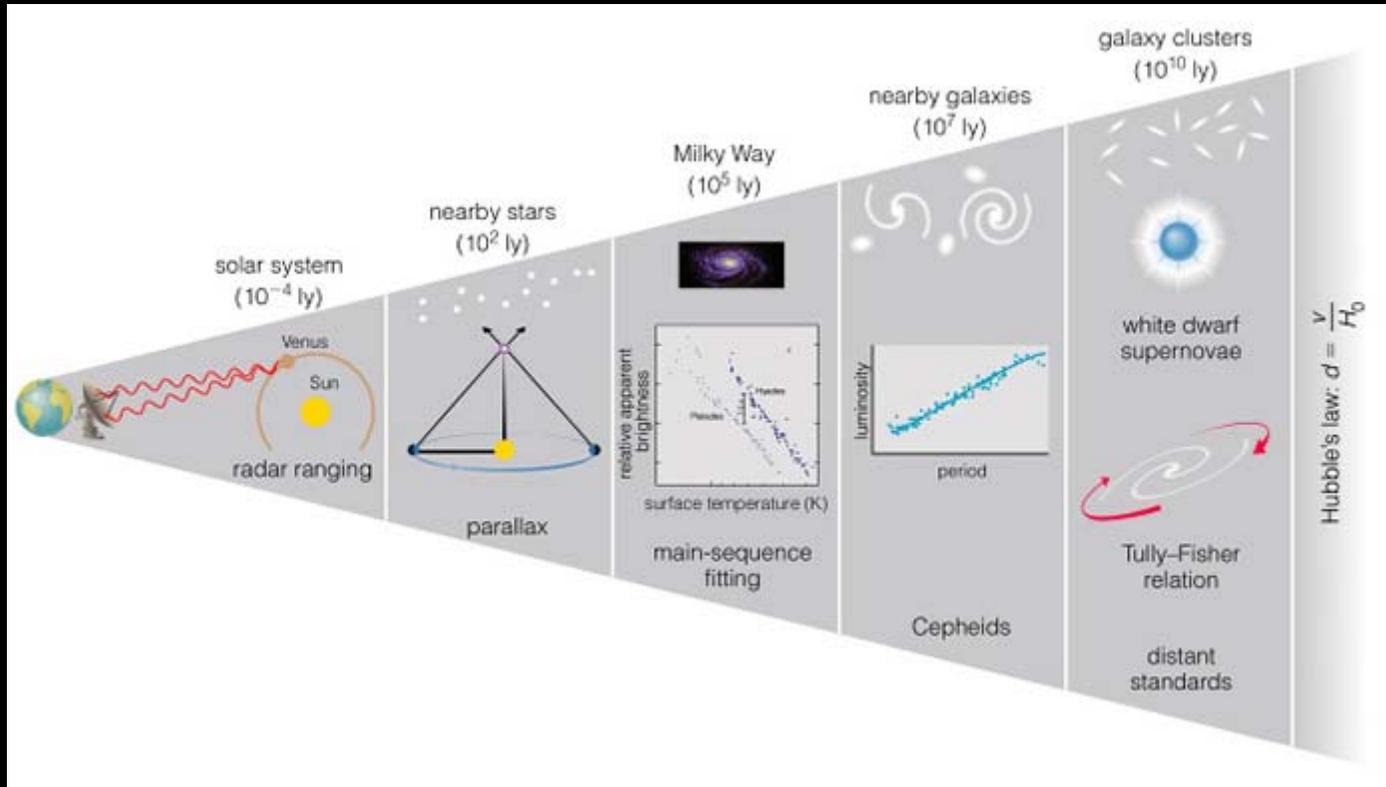


距離は？



距離測定の方法論

距離のハシゴ

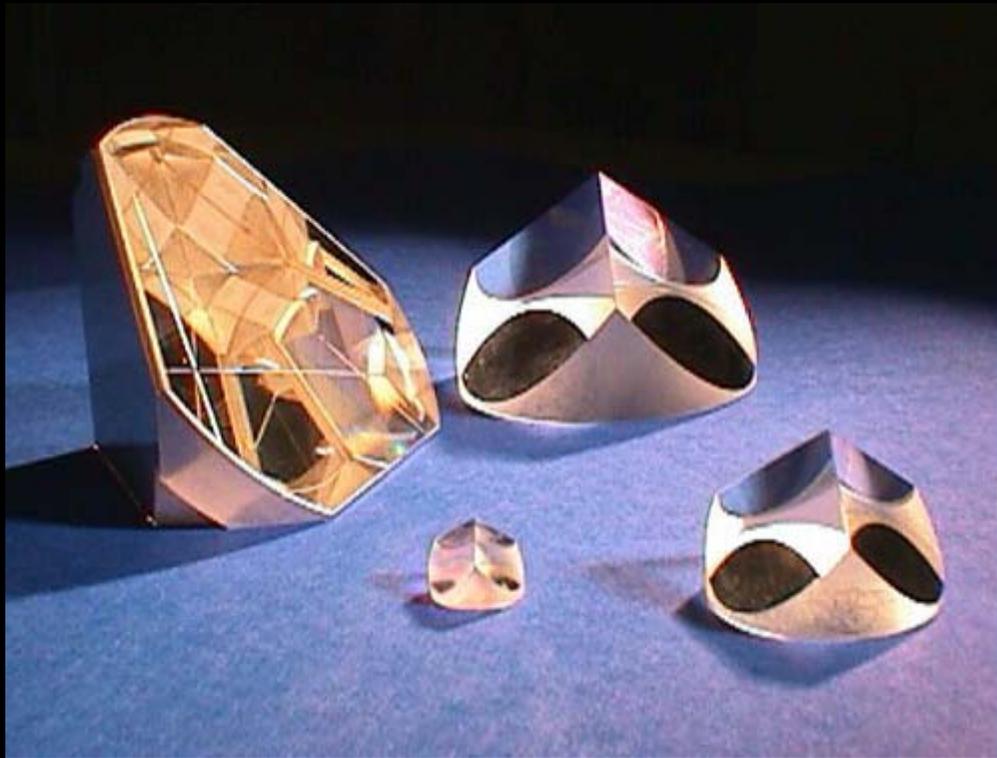


測定方法をつなぎ合わせていく

月までの距離



距離の測定



反射プリズム

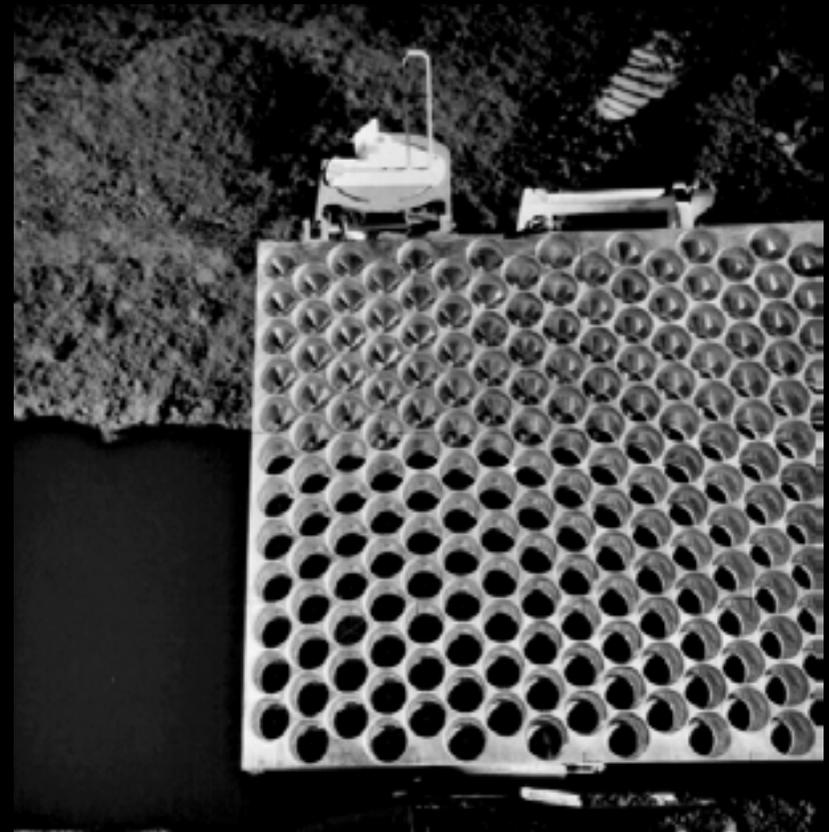
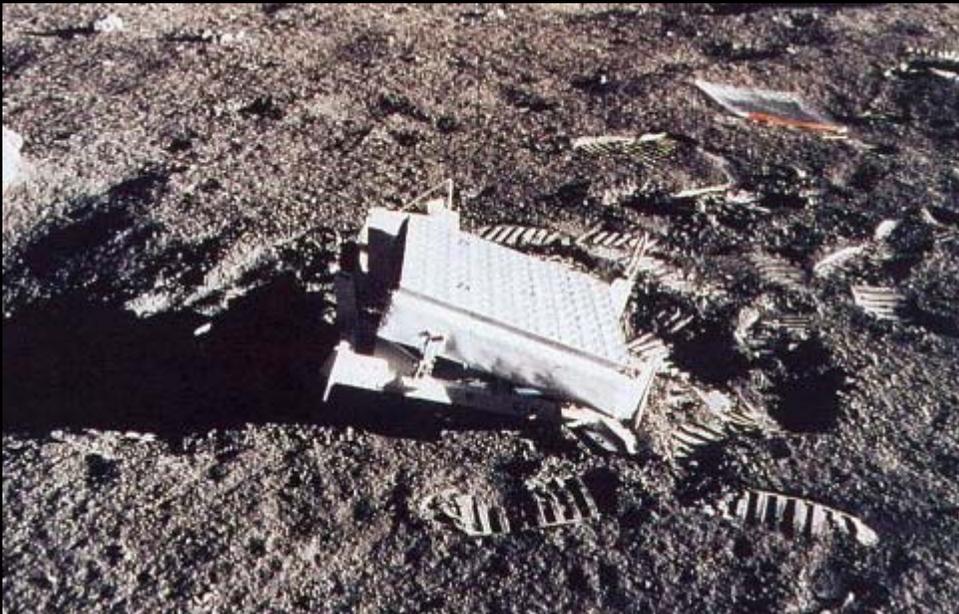
どの方向から光が
入っても入射方向に
反射するプリズム

設置されたプリズム



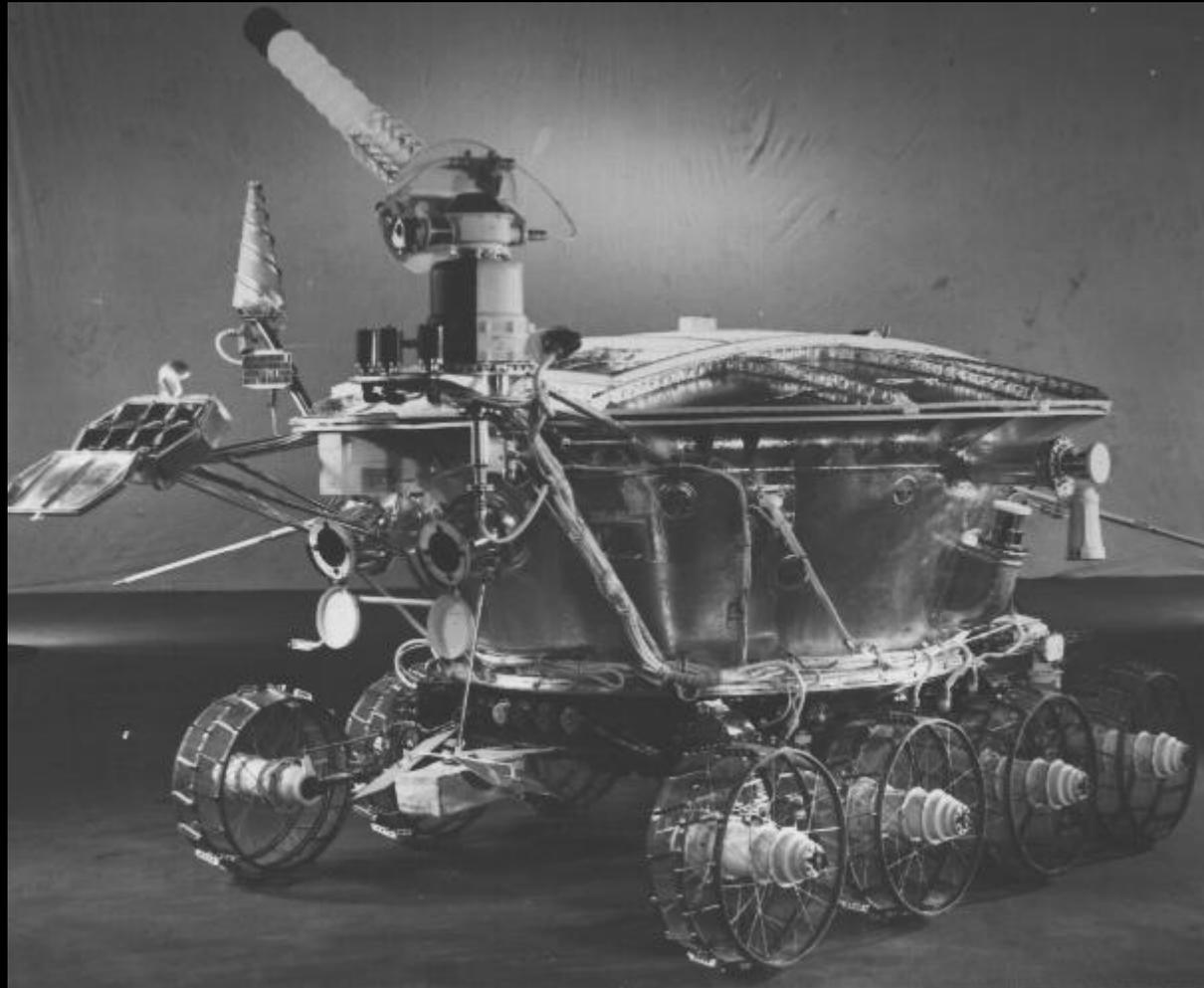
アポロ11号

アポロ14号

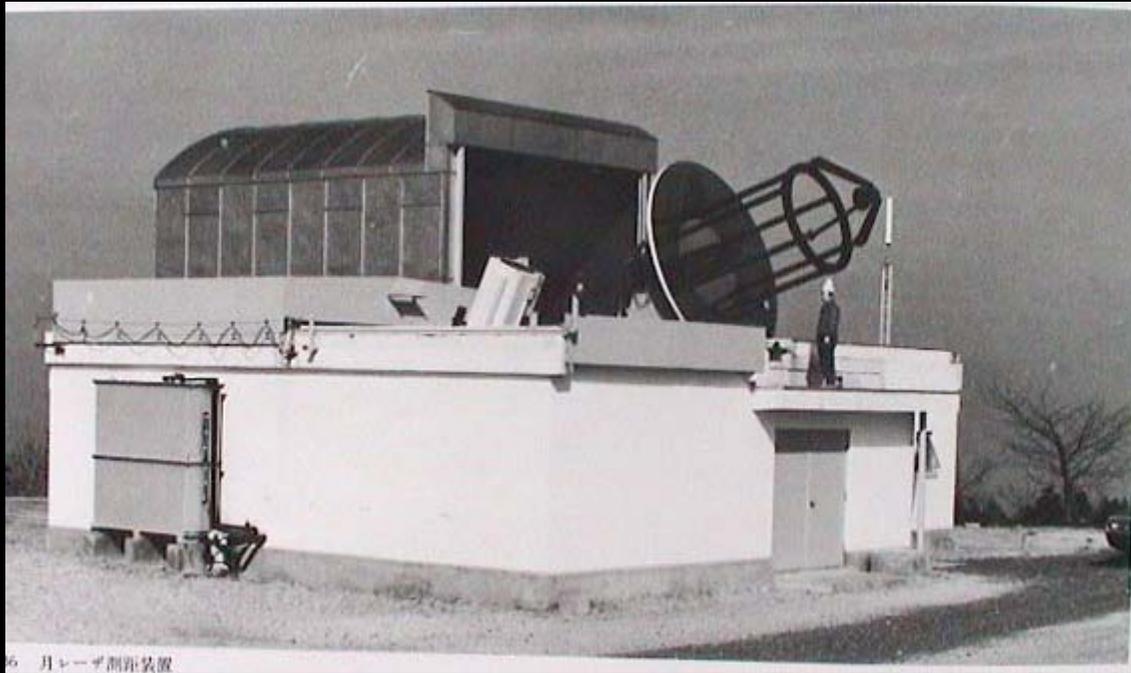


アポロ15号

ソ連の月探査機



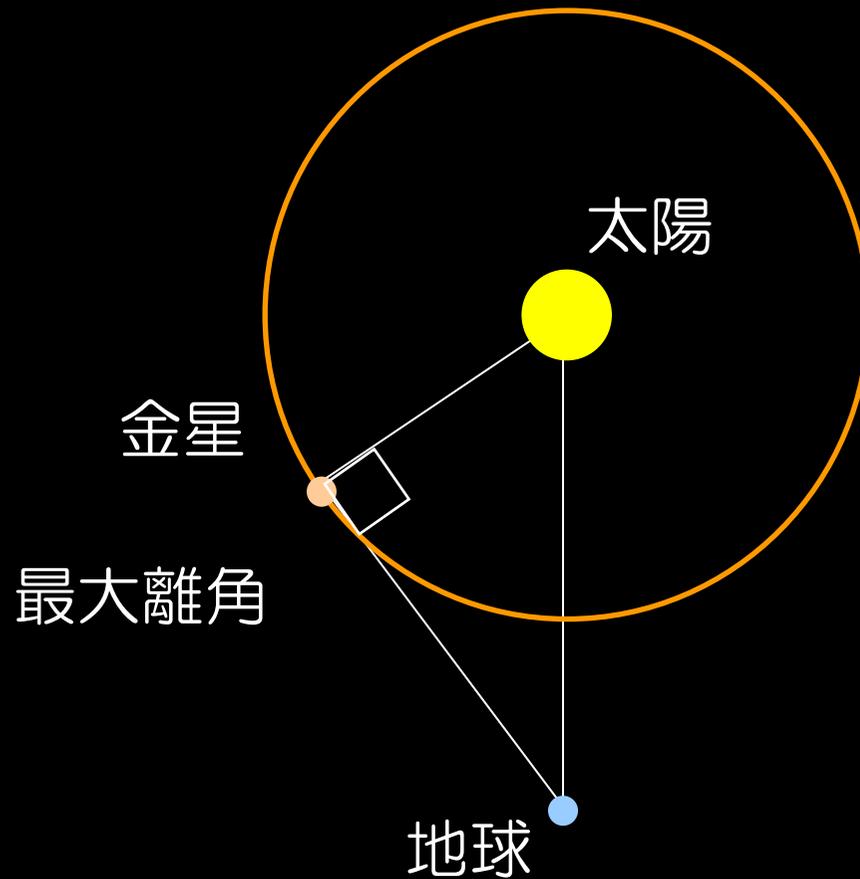
国立天文台 堂平観測所



6 月レーザ測距装置



太陽までの距離







Jodrell Bank Mk1 Telescope (UK)

ケプラーの法則

第1法則：

惑星は、太陽をひとつの焦点とする楕円軌道上を動く。

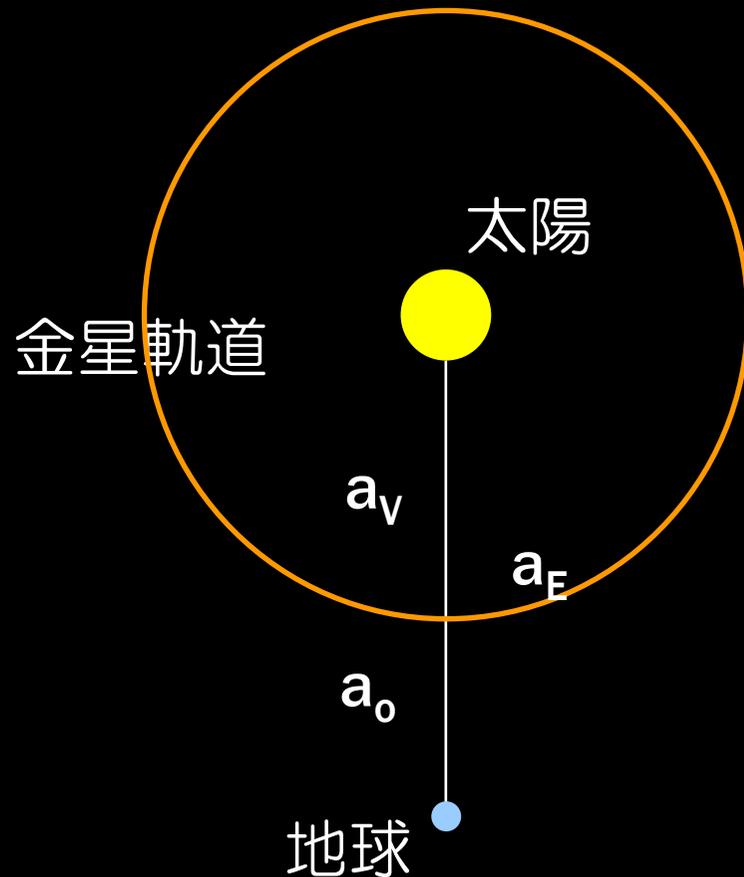
第2法則：

惑星と太陽とを結ぶ線分が単位時間に描く面積は、一定である(面積速度一定)。

第3法則：

惑星の公転周期の2乗は、軌道の半長径の3乗に比例する。

太陽までの距離



金星と太陽の距離 : a_v

地球と太陽の距離 : a_E

地球と金星の距離 : a_o

金星の公転周期 : T_v

地球の公転周期 : T_E

$$(a_v)^3 = (kT_v)^2$$

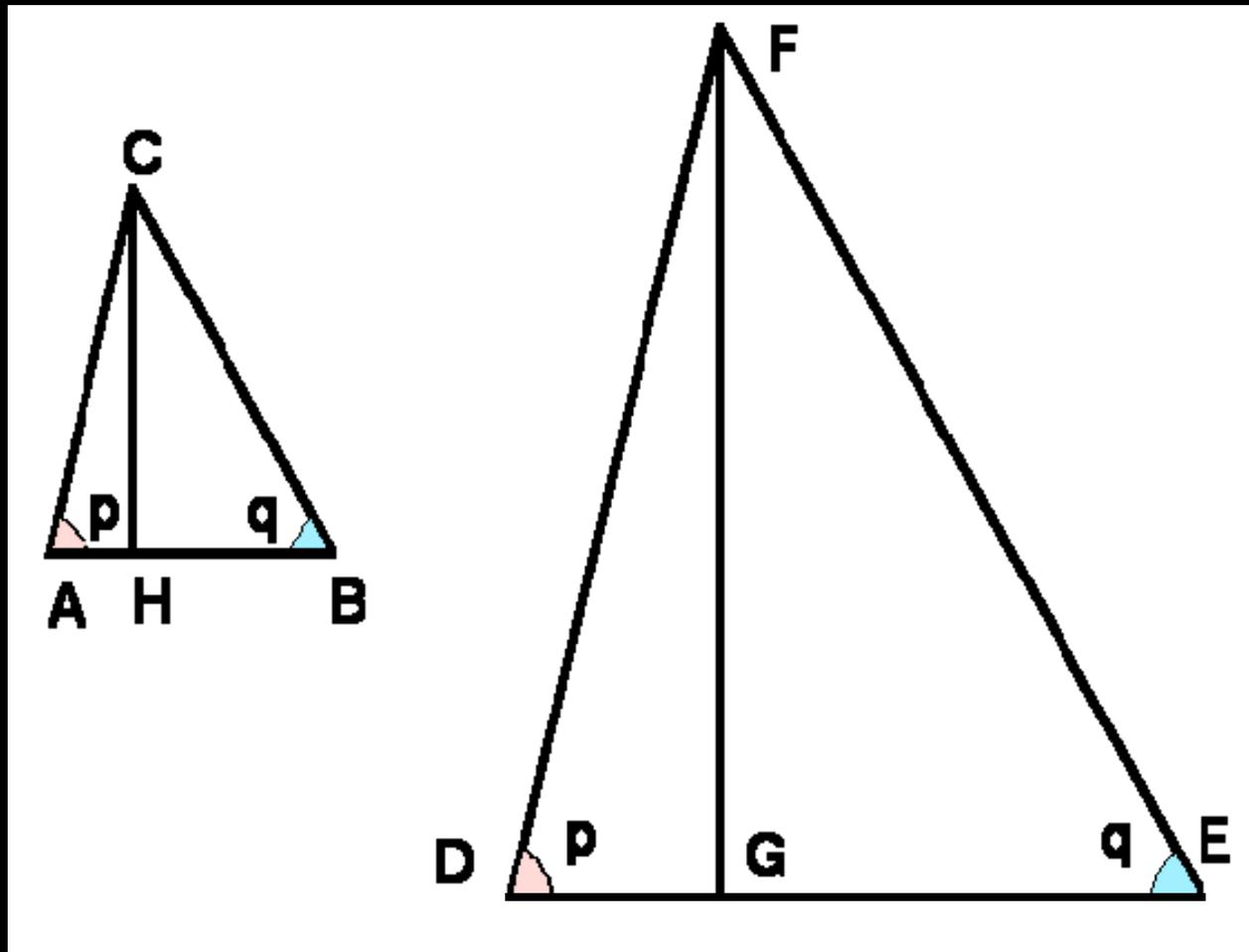
$$(a_E)^3 = (kT_E)^2$$

地球と太陽の距離(1天文単位) = 149,597,892 km

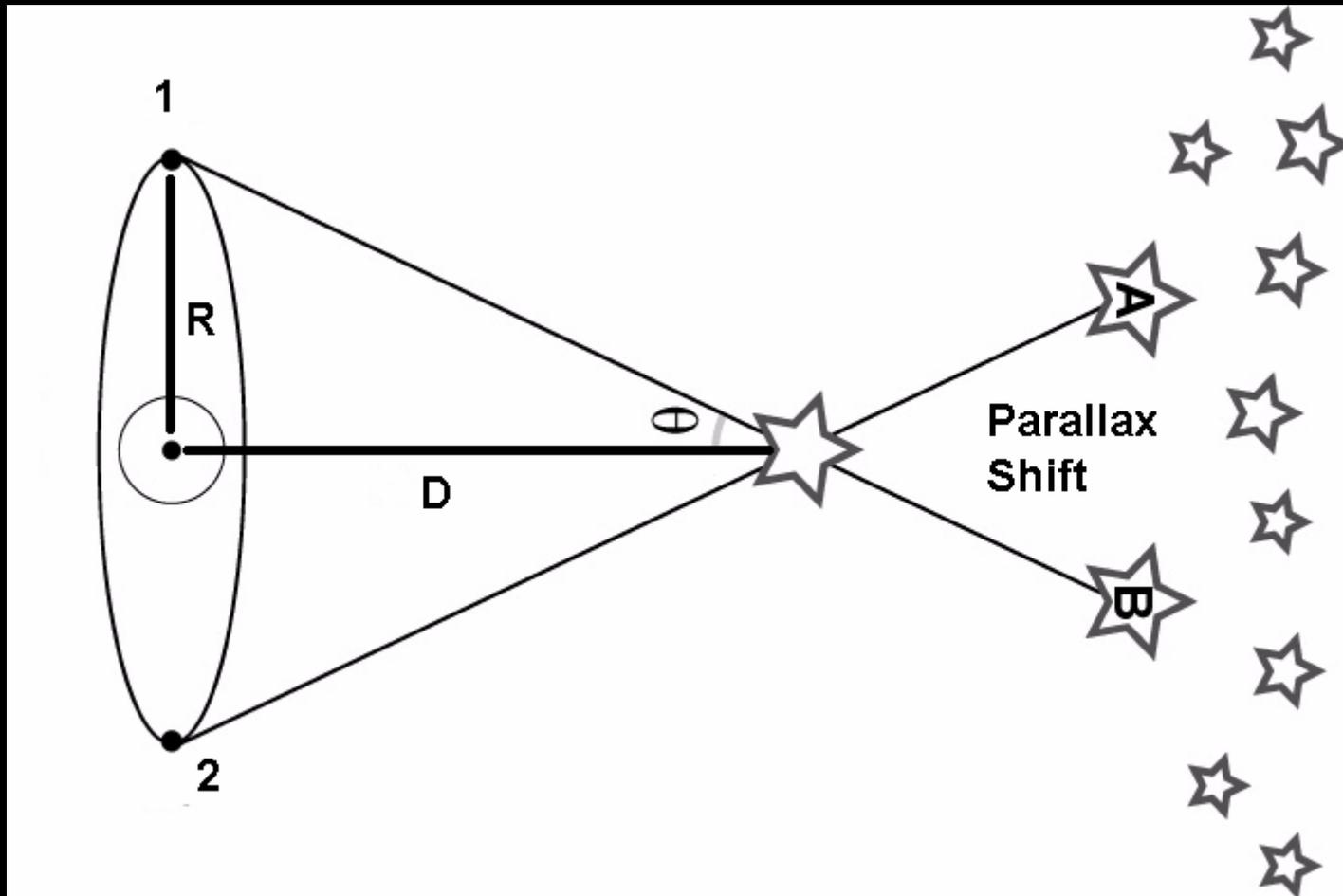
近傍の星までの距離



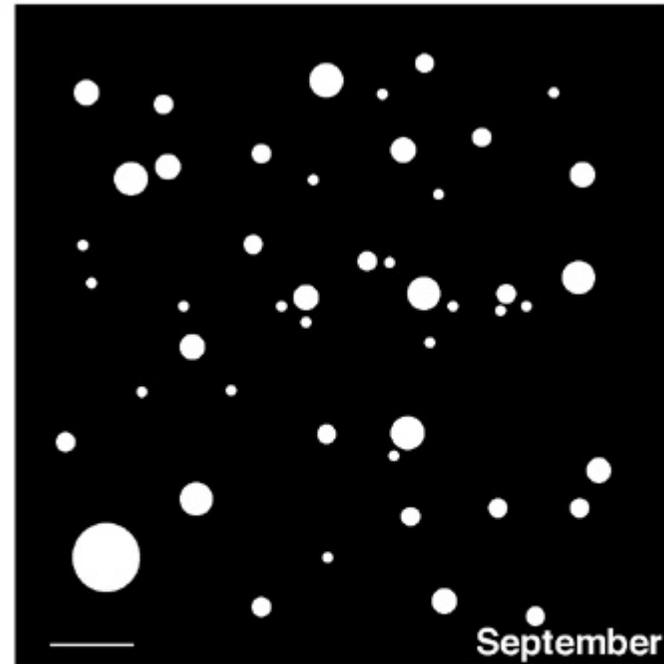
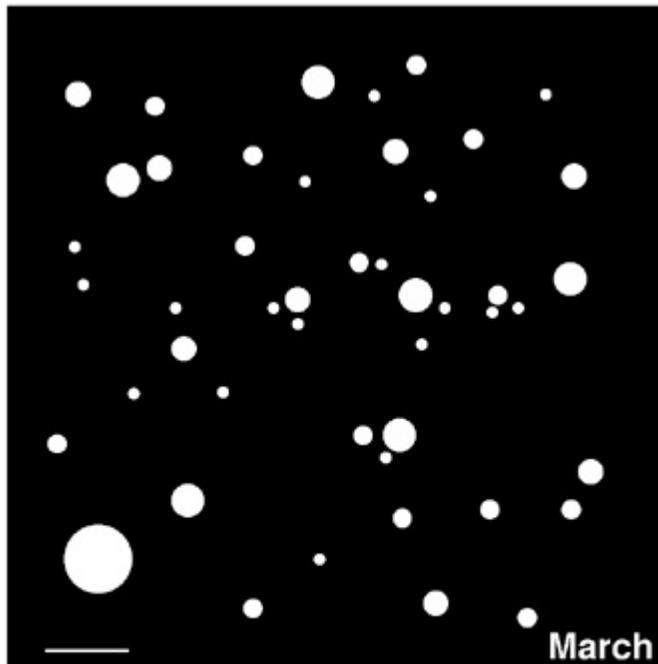
三角測量の原理



年周視差による測定



年周視差による測定



背景の星に対して手前の星は移動して見える
シリウス~0.4秒角

年周視差による測定



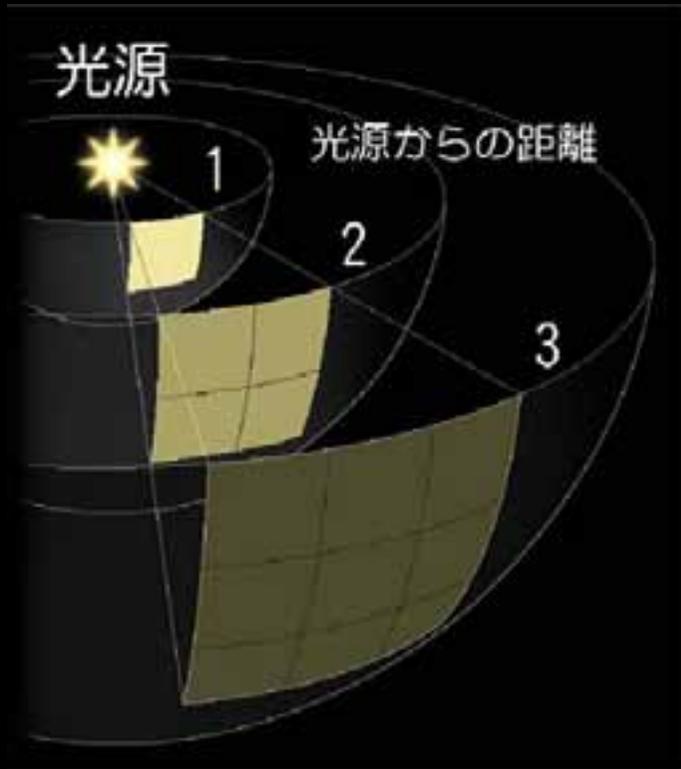
Hipparcos (ESA)

誤差 1ミリ秒角で12万天体
(ヒッパルコス星表)

誤差 30ミリ秒角で100万天体
(ティコ星表)

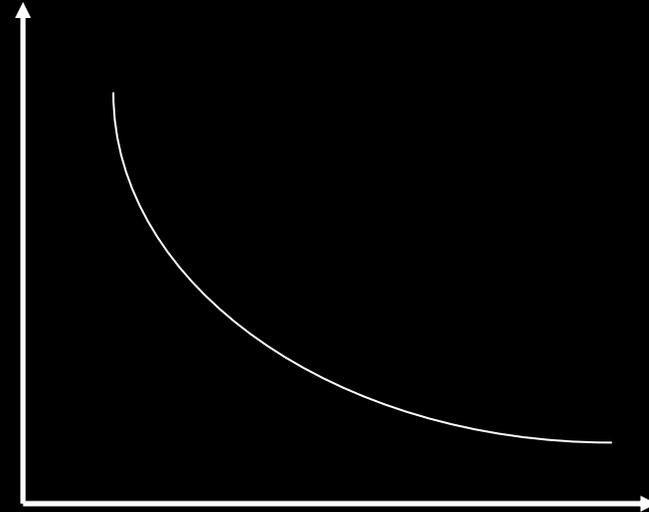
1ミリ秒角：
東京から大阪に置いた
2mmのものを見込む角度

光度-距離関係の利用



明るさは距離の
二乗に反比例する

明るさ

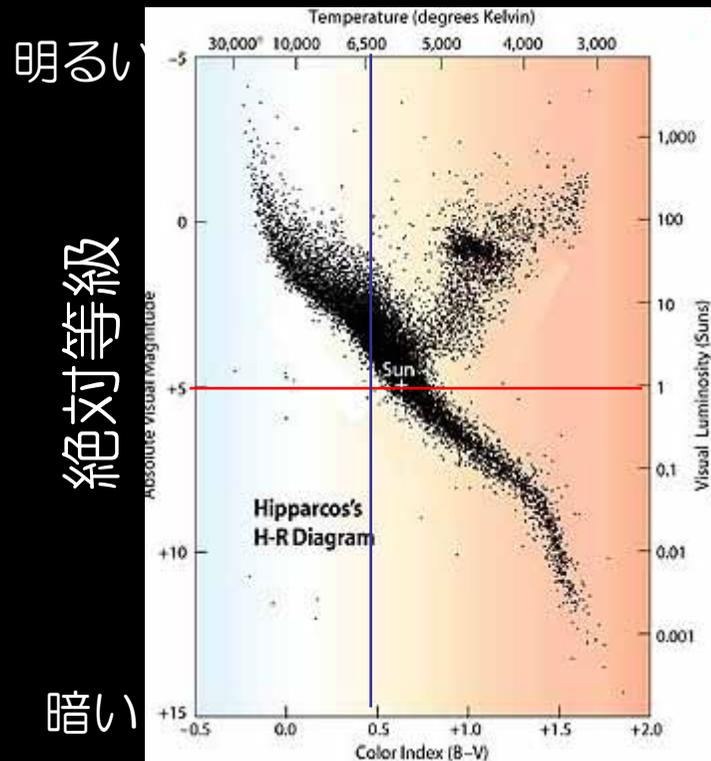


距離

なんらかの方法で真の明るさを知る

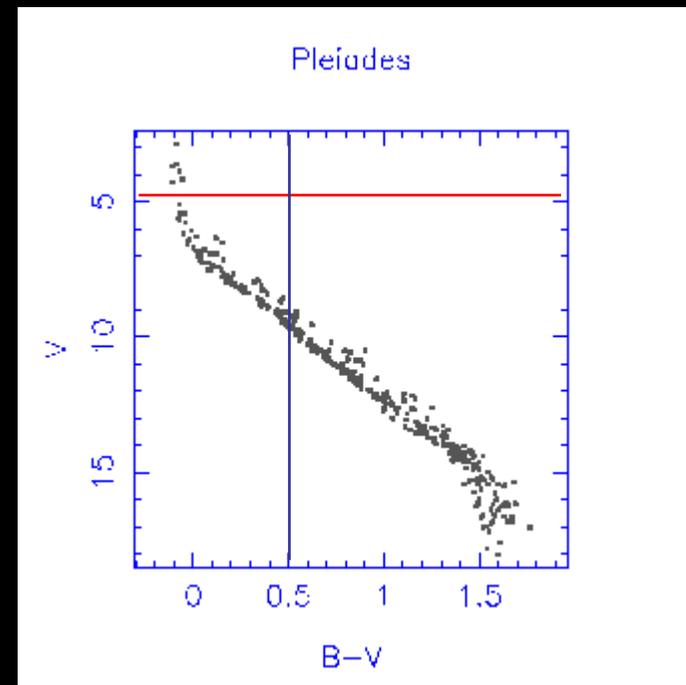
HR図の利用

主系列星の色と明るさの関係



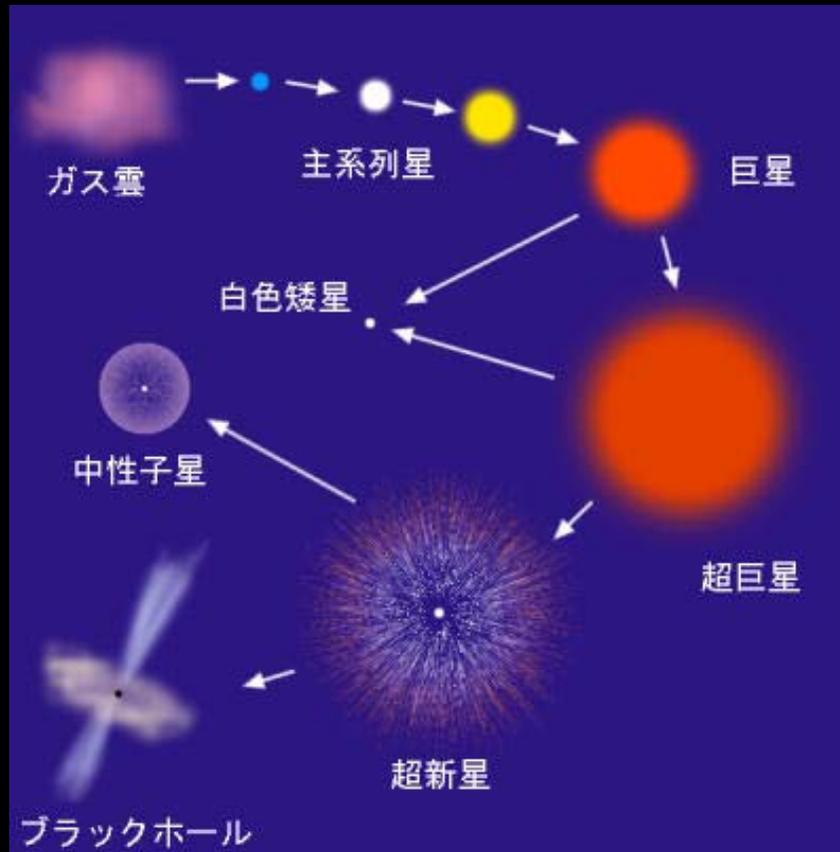
色指標： 距離と独立
明るさ： 距離に依存

見かけ等級



脈動変光星の利用

脈動変光周期と明るさの関係

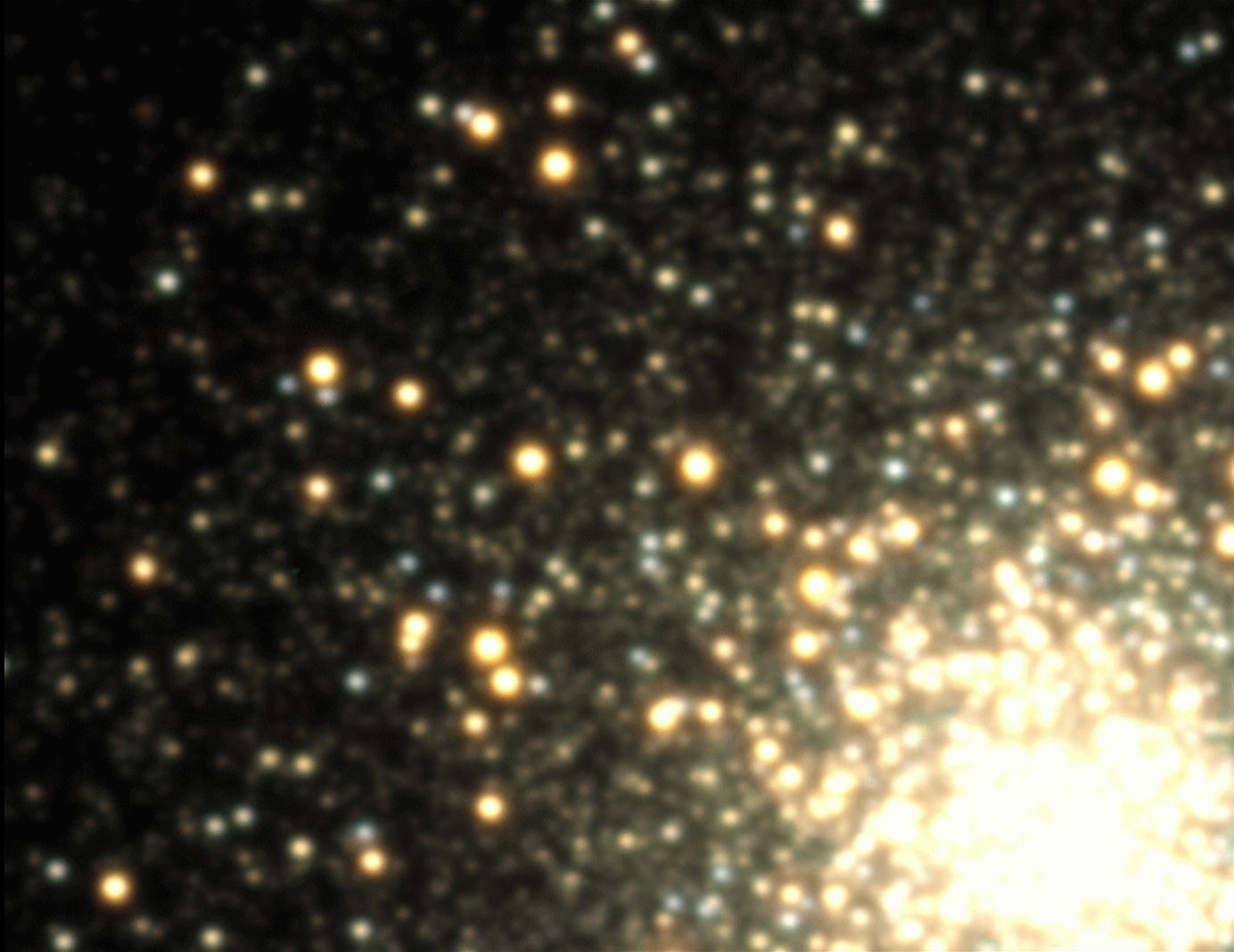


脈動変光星：
不安定な状態にある恒星

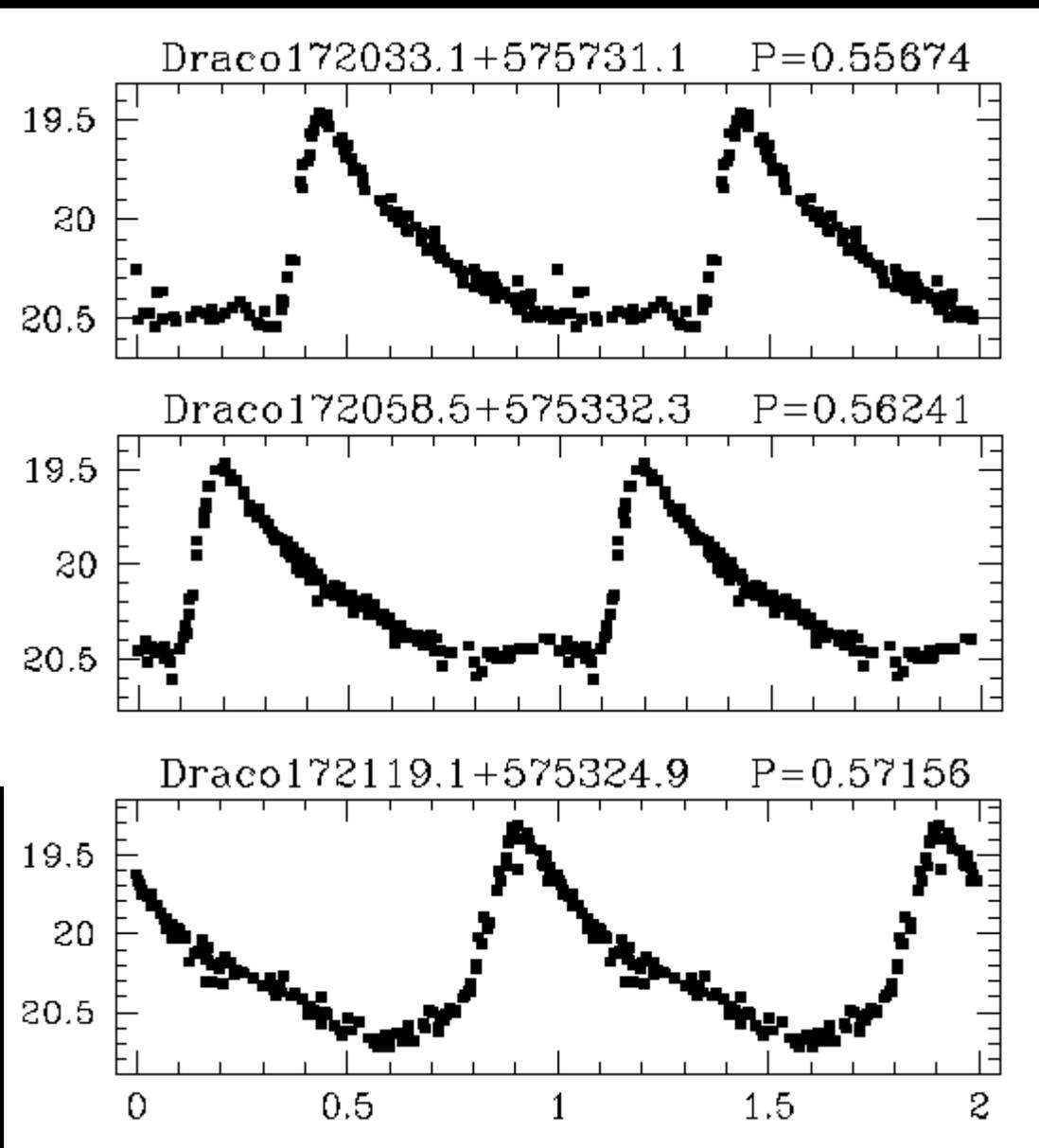
こと座RR型変光星
球状星団に多い
種族IIの天体

セファイド型変光星
銀河の腕に多い
種族Iの天体

球状星团 M3

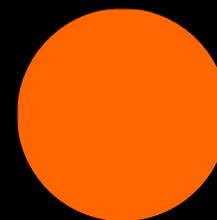


見かけ等級



時間 (日)

外層がイオン化して不透明



外層が膨張しつつ温度低下



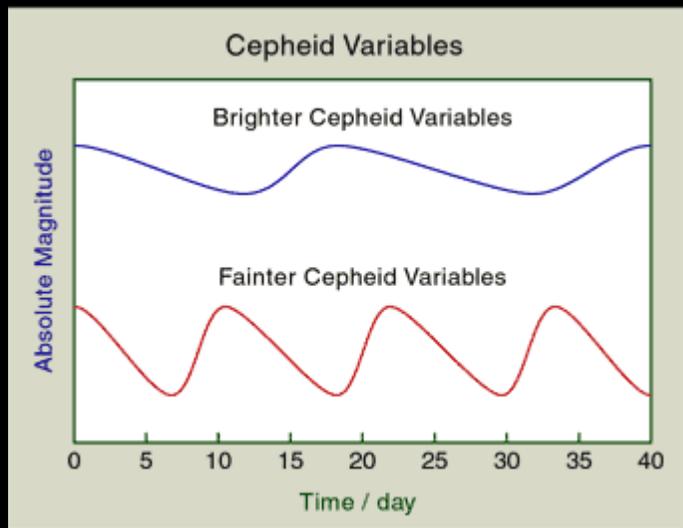
外層が中性化して透明に



急激に温度低下して収縮

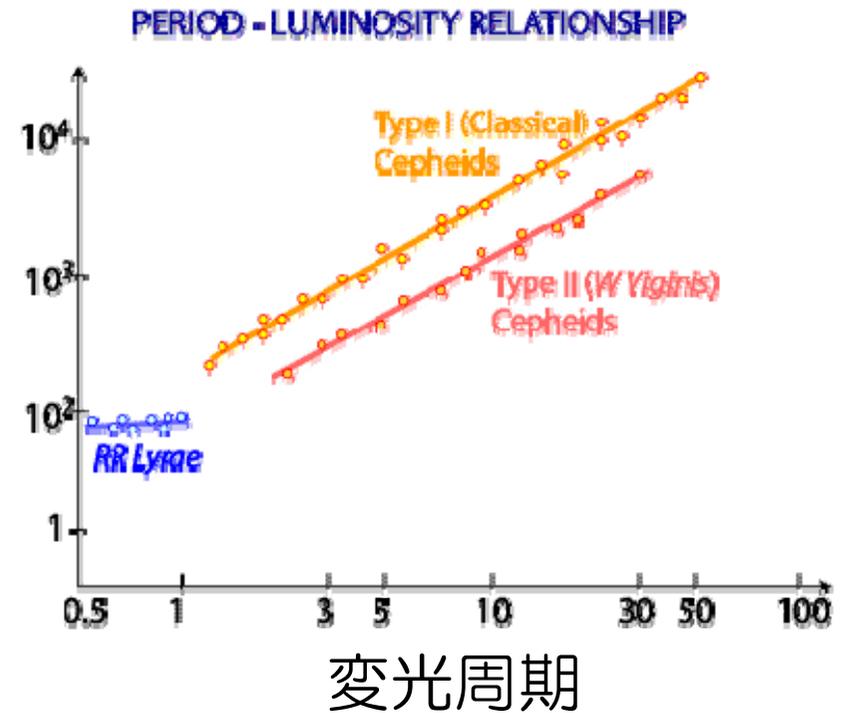
周期-光度関係

明るさ



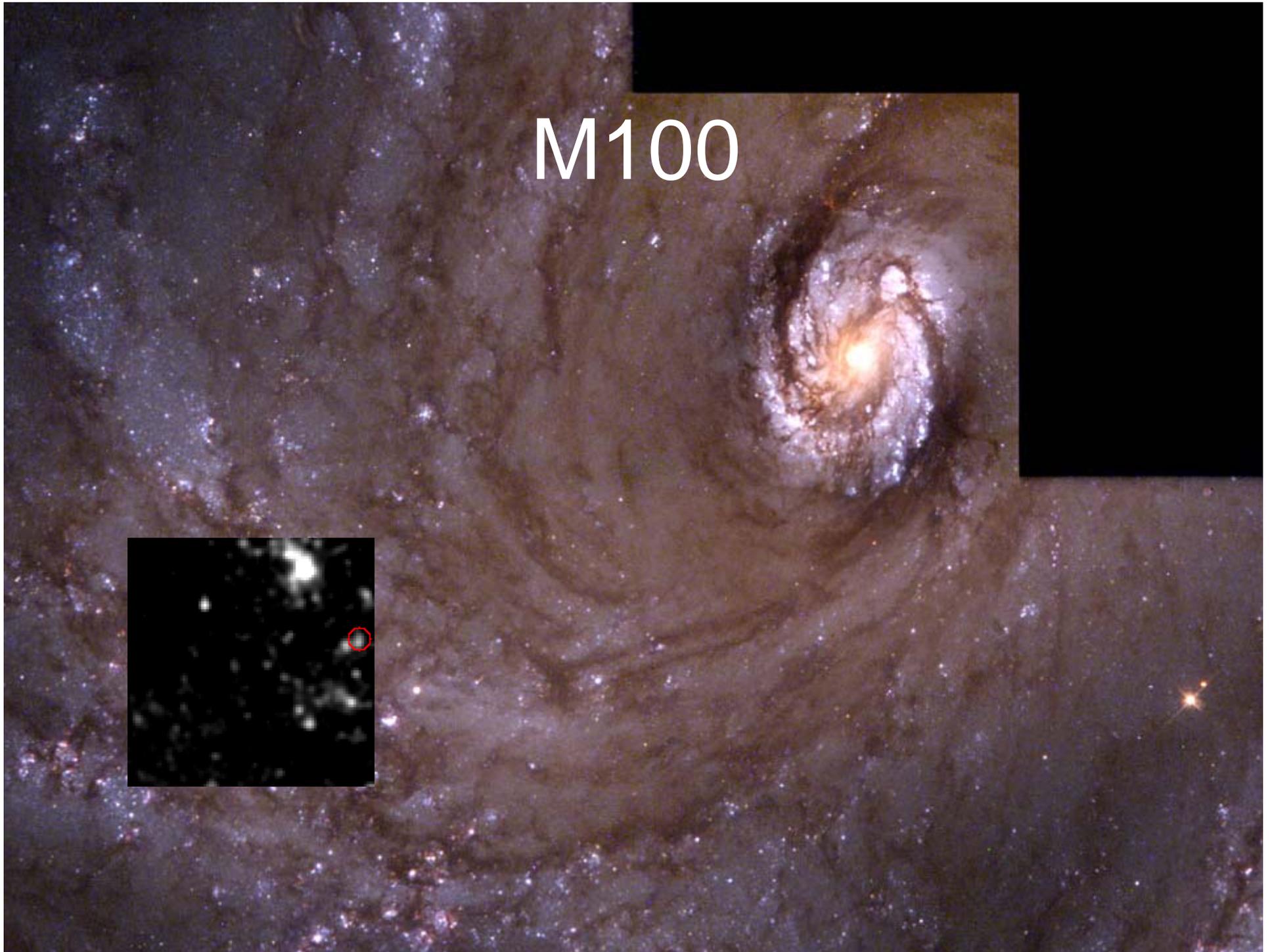
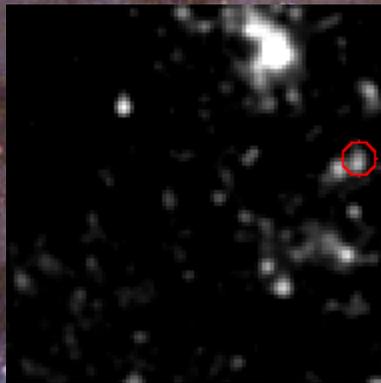
時間

明るさ



近傍の銀河まで距離を測定できる

M100

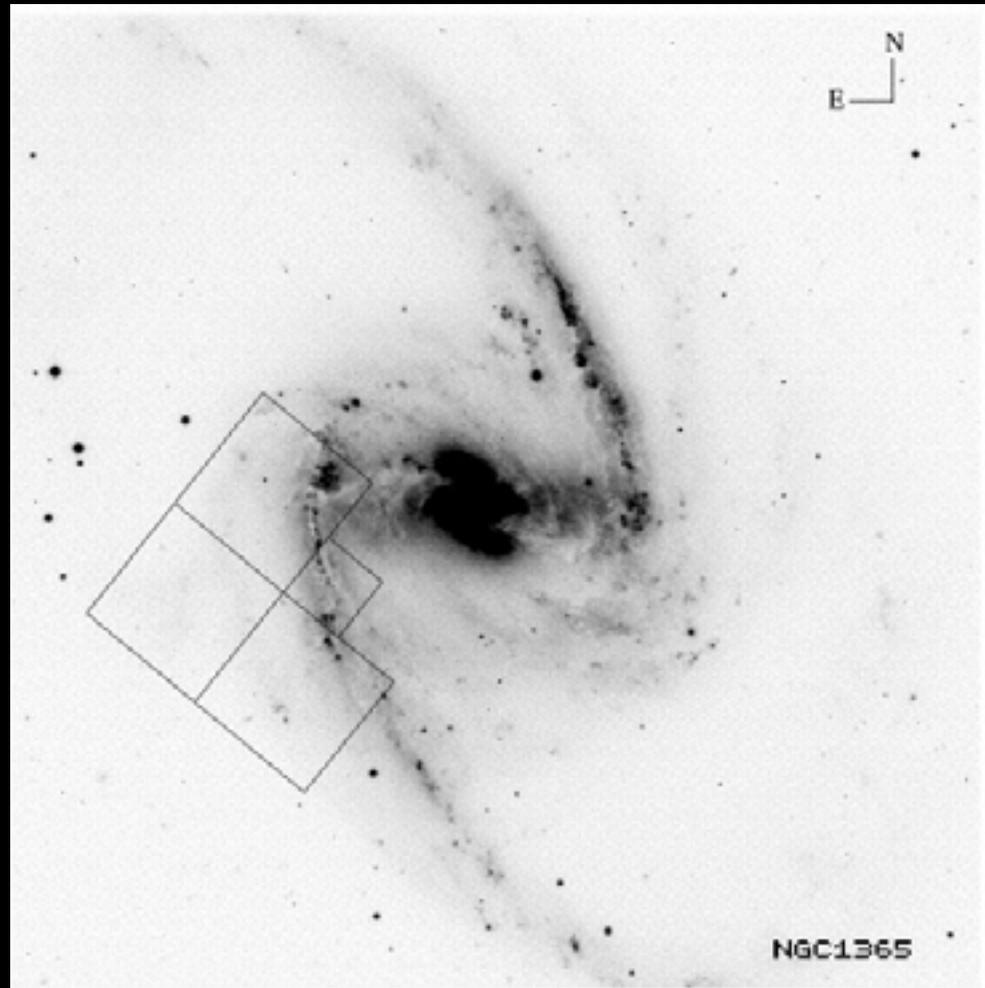


Hubble Key Project

18個の銀河までの距離
を正確に測定

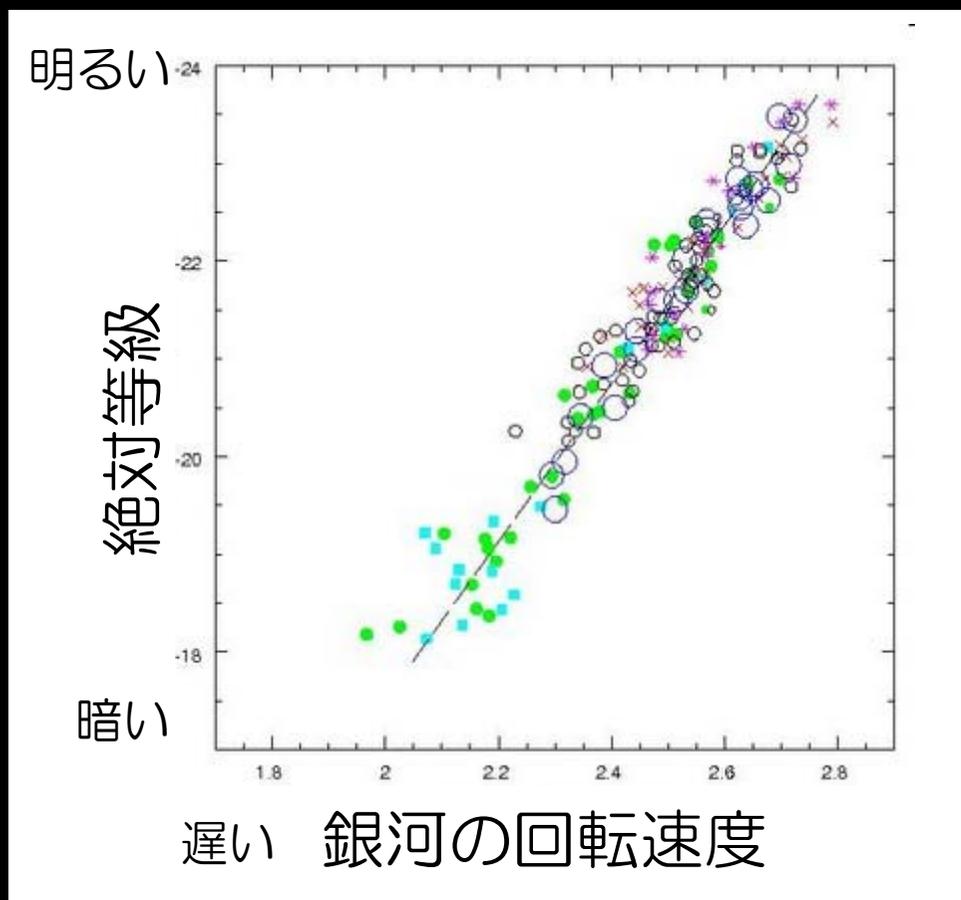


がんばって1億光年まで



Tully-Fisher Relation

銀河の回転速度と明るさの関係

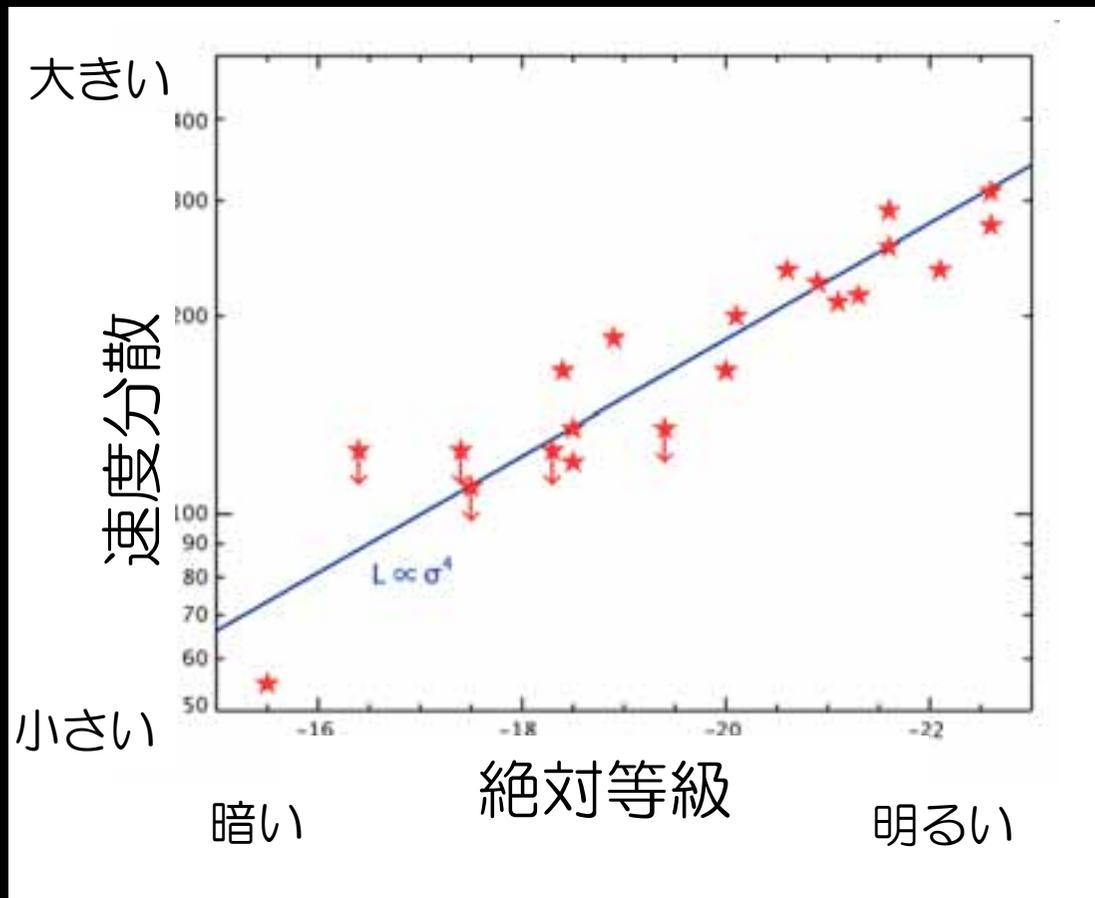


$$(\text{質量}) \propto (\text{回転速度})^2$$

$$(\text{光度}) \propto (\text{質量})^a$$

Faber-Jackson Relation

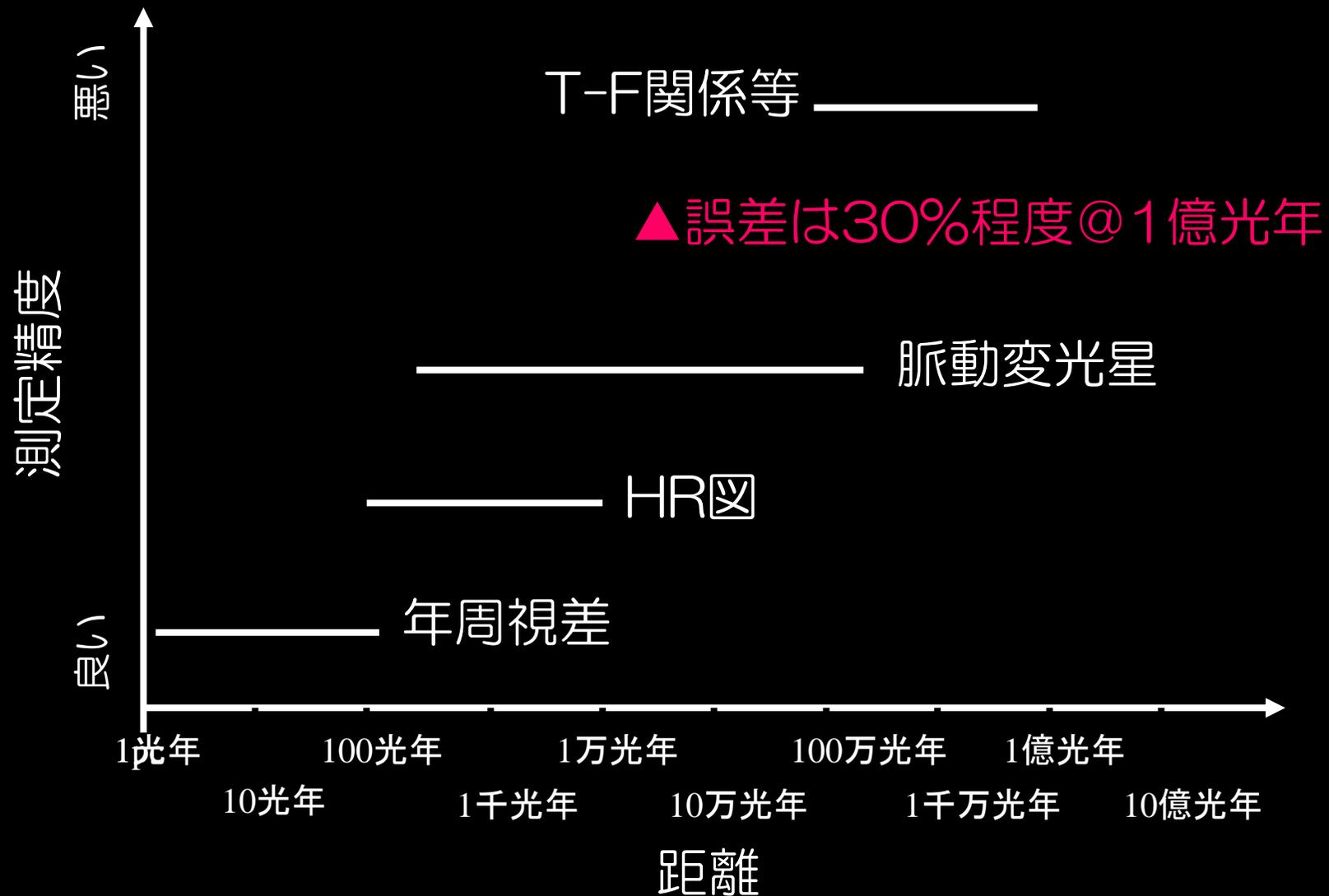
銀河の速度分散と明るさの関係



$$(\text{質量}) \propto (\text{速度分散})^2$$

$$(\text{光度}) \propto (\text{質量})^a$$

距離の決定精度



Ia型超新星による距離測定

Ia型超新星の特徴

超明るい！

ひとつの銀河と同じくらいの明るさで輝く

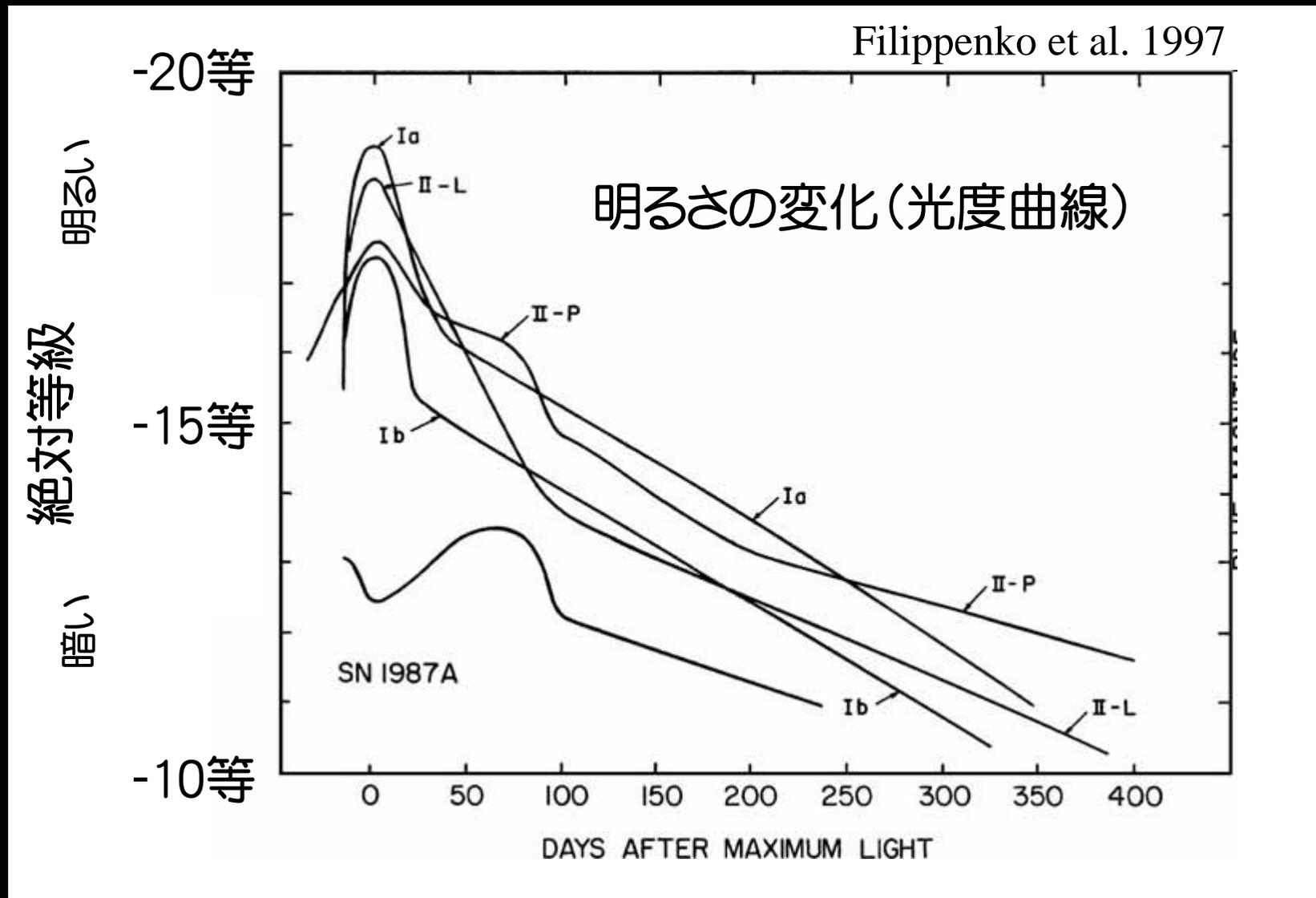
そっくり！

どの銀河に出現しても、性質が似ているように見える

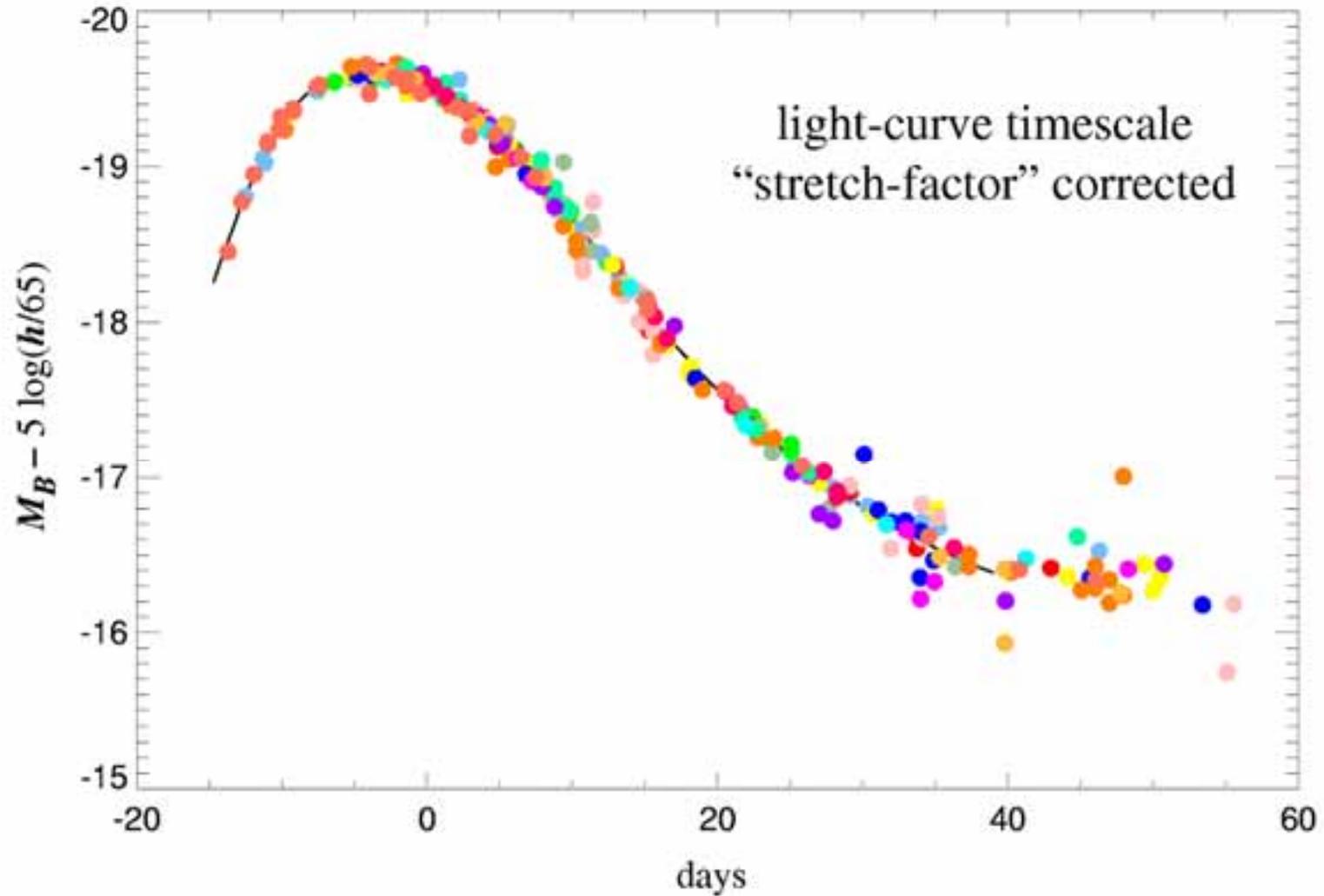
今も昔も一緒！

100億年前の超新星も最近の超新星も同じ性質だと思おう

超新星の明るさ



(補正済) 光度曲線

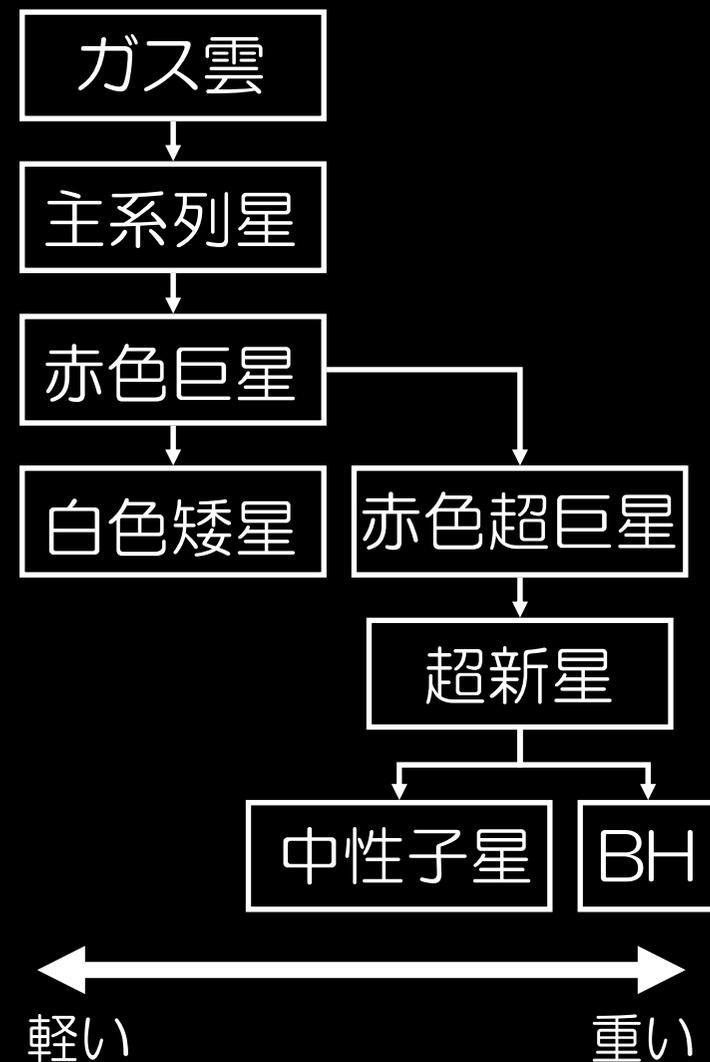
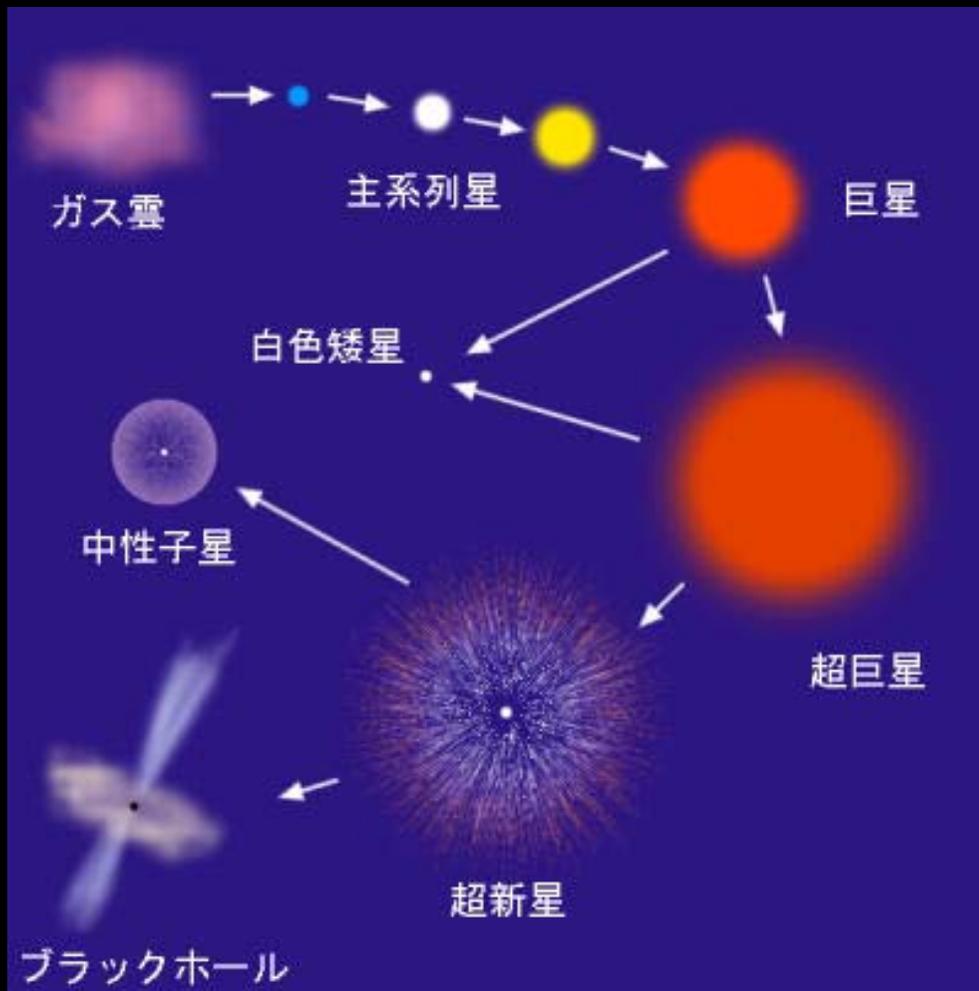


Kim, *et al.* (1997)

Ia型超新星の例



白色矮星とは



白色矮星：小さく重い、白い星

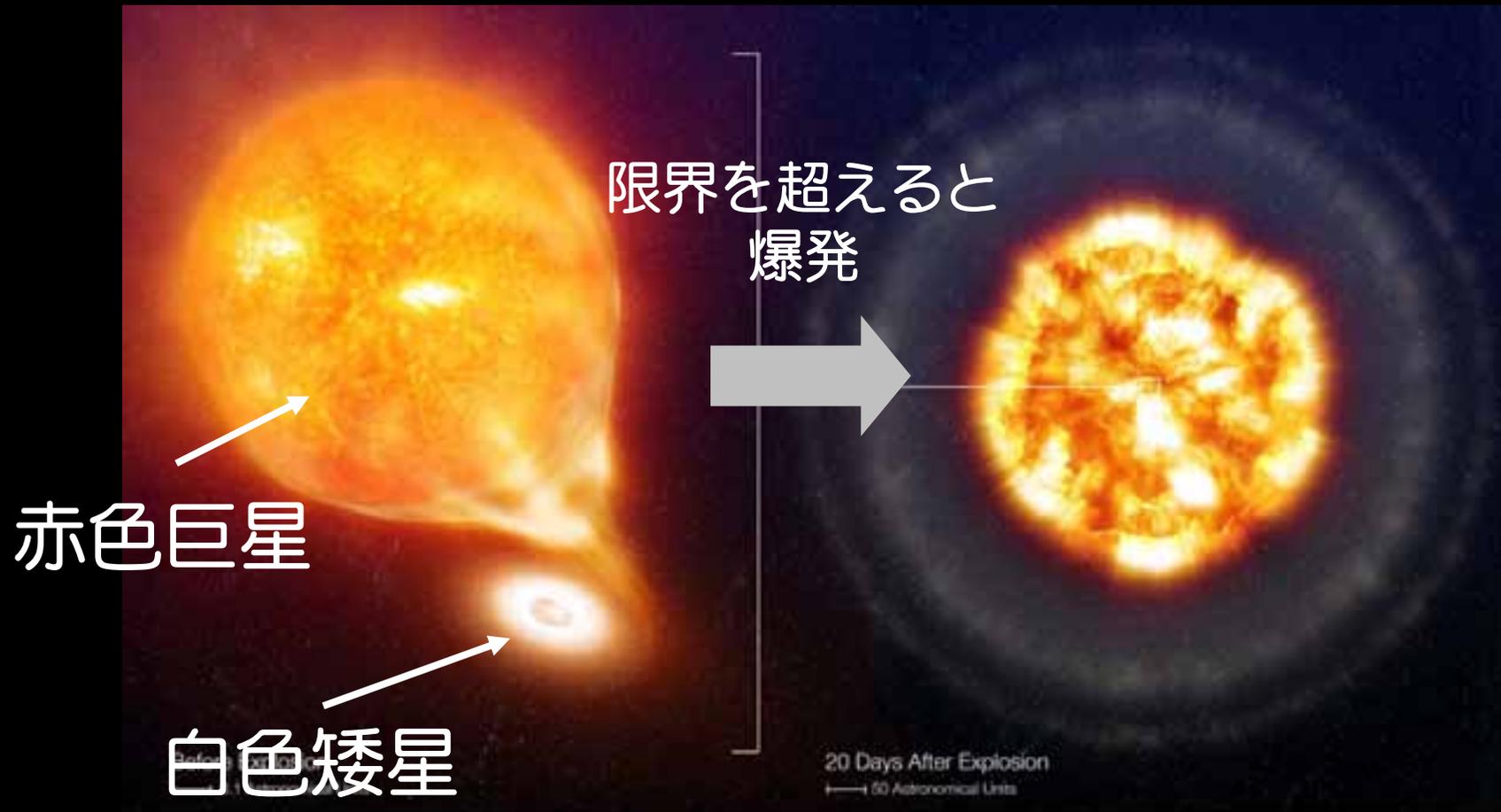
地球と同じサイズで太陽の重さ
角砂糖1個分で数トン！！



Abell 39

特殊な条件下でのみ爆発

特殊な条件：近接連星系



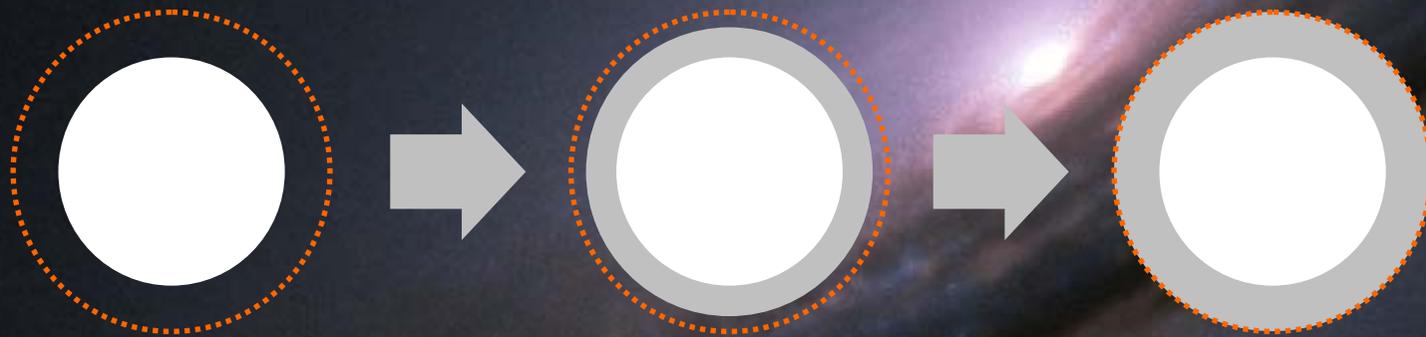
SN 2006X, before and after the Type Ia Supernova Explosion
(Artist Impression)

ESO Press Photo 31b/07 (12 July 2007)

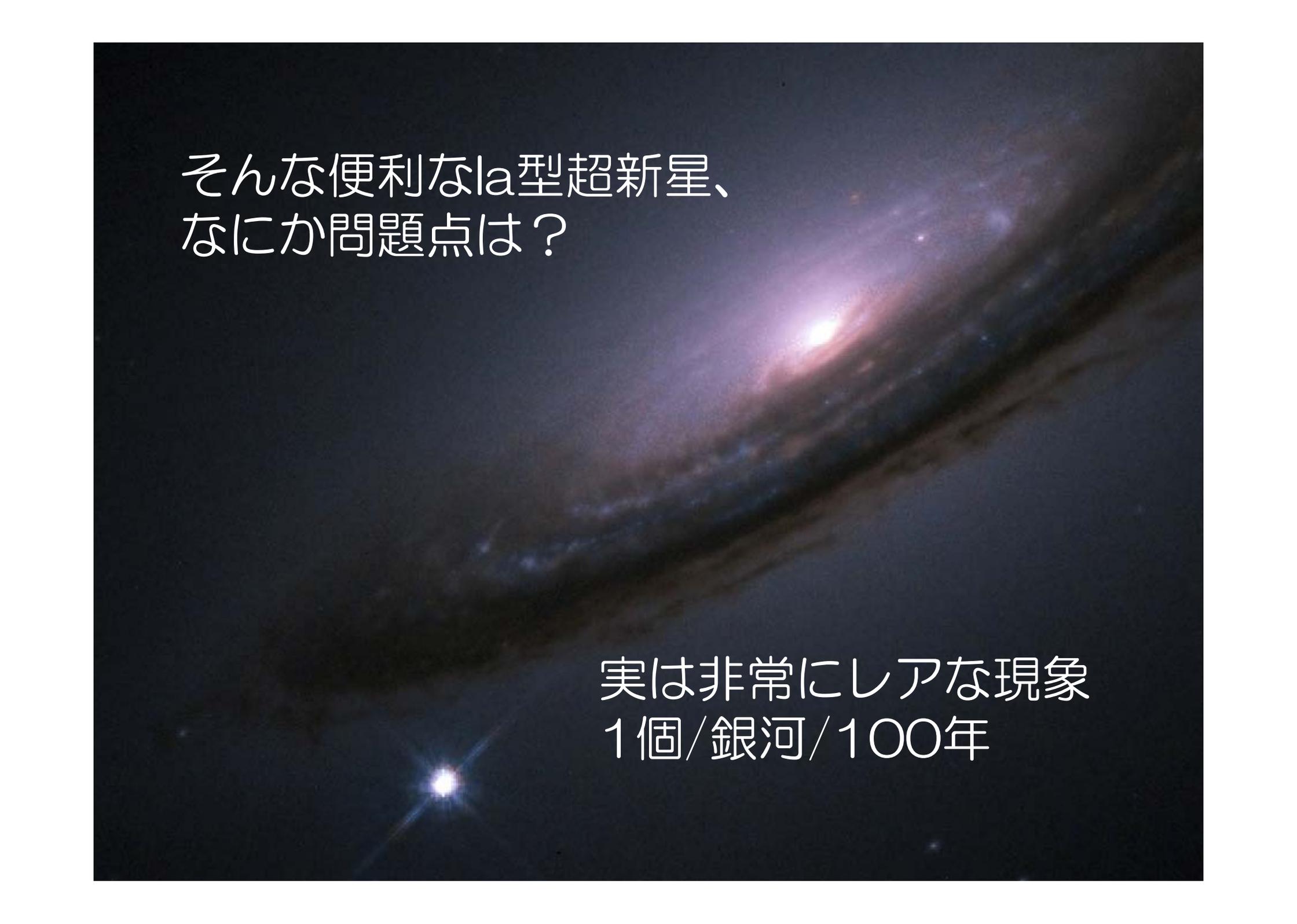
This image is copyright © ESO. It is released in connection with an ESO press release and may be used by the press on the condition that the source is clearly indicated in the caption.



Ia型超新星の爆発モデル



チャンドラセカール質量（1.43太陽質量）を
超えると重さに耐えられず、爆発する

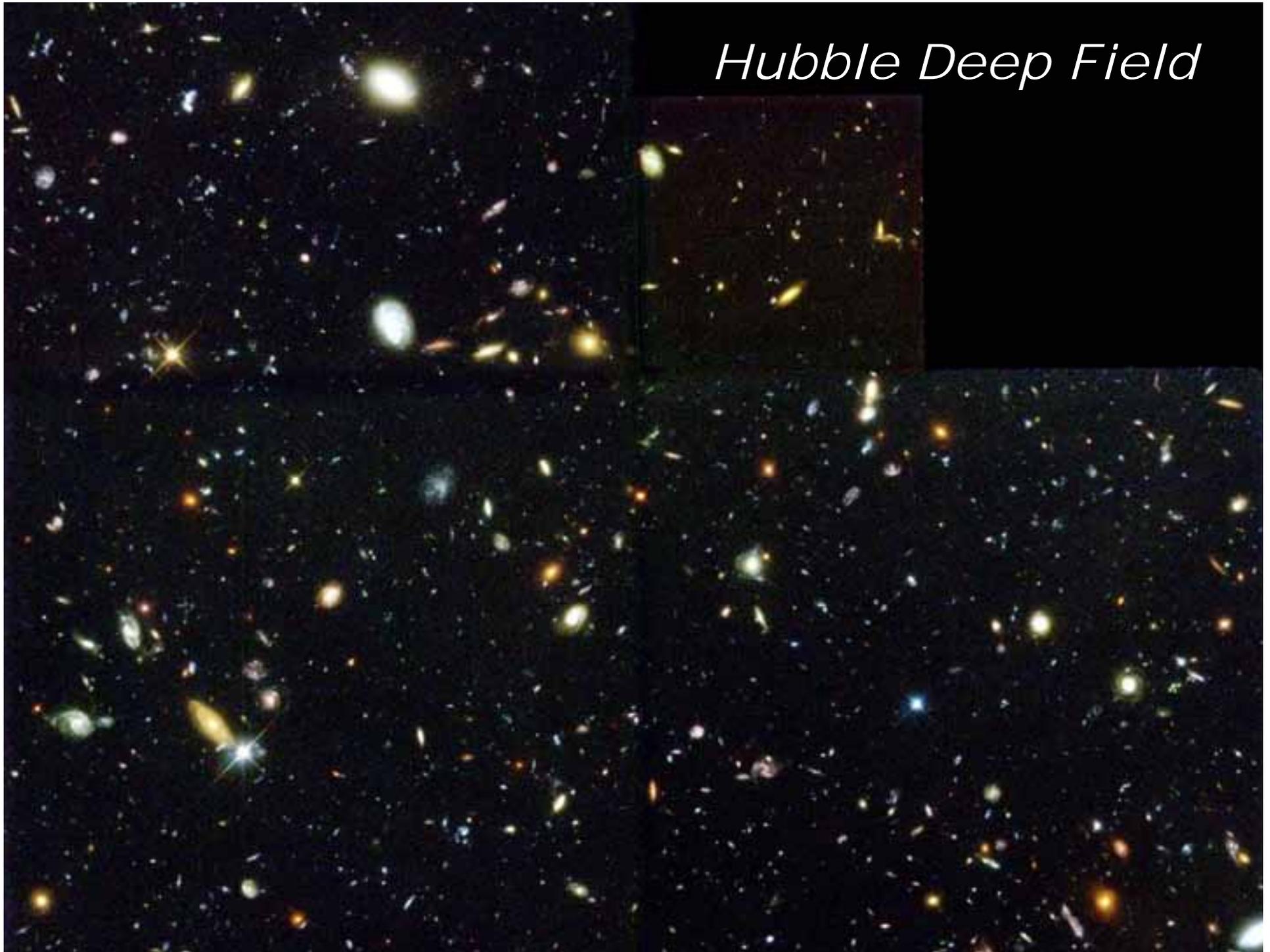
A photograph of a galaxy, likely the Andromeda Galaxy, showing a bright red supernova in the center. The galaxy's spiral arms are visible, and the foreground features a bright blue star with a lens flare effect.

そんな便利なIa型超新星、
なにか問題点は？

実は非常にレアな現象
1個/銀河/100年

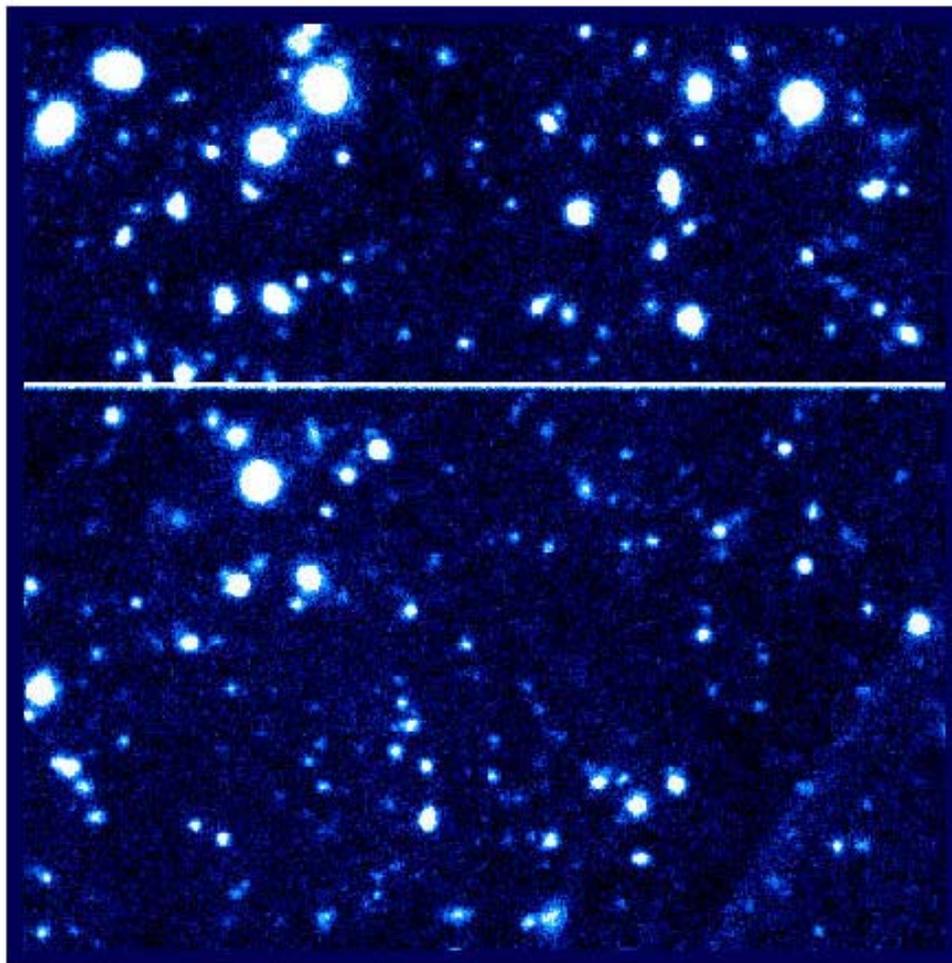


Hubble Deep Field

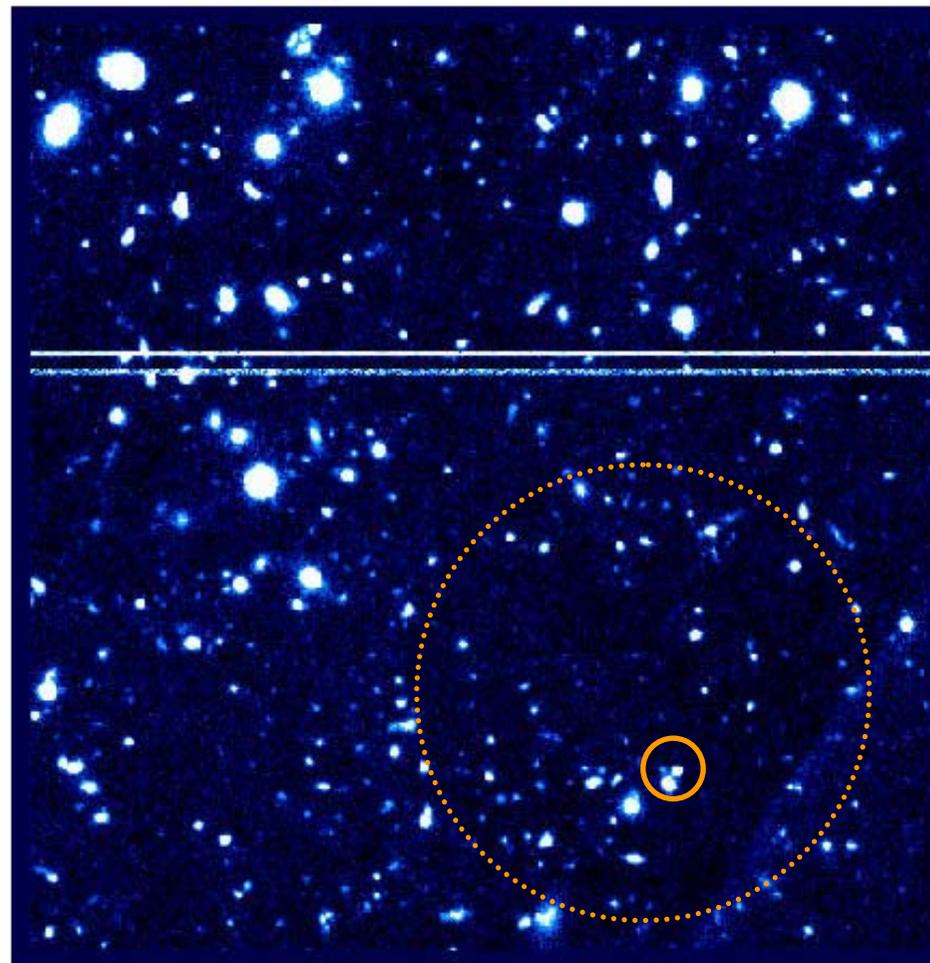


Ia型超新星の見つけ方

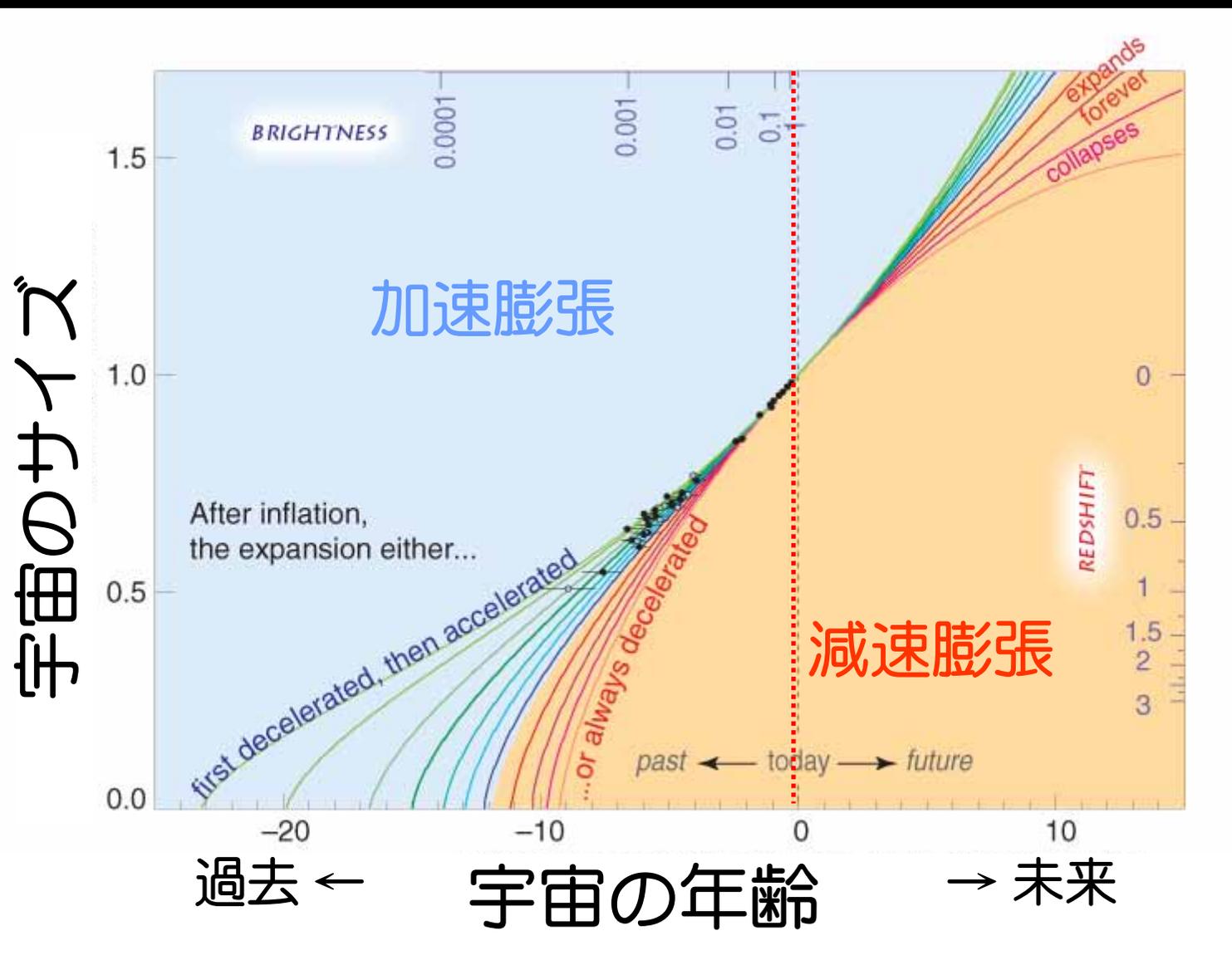
2003年5月に撮像



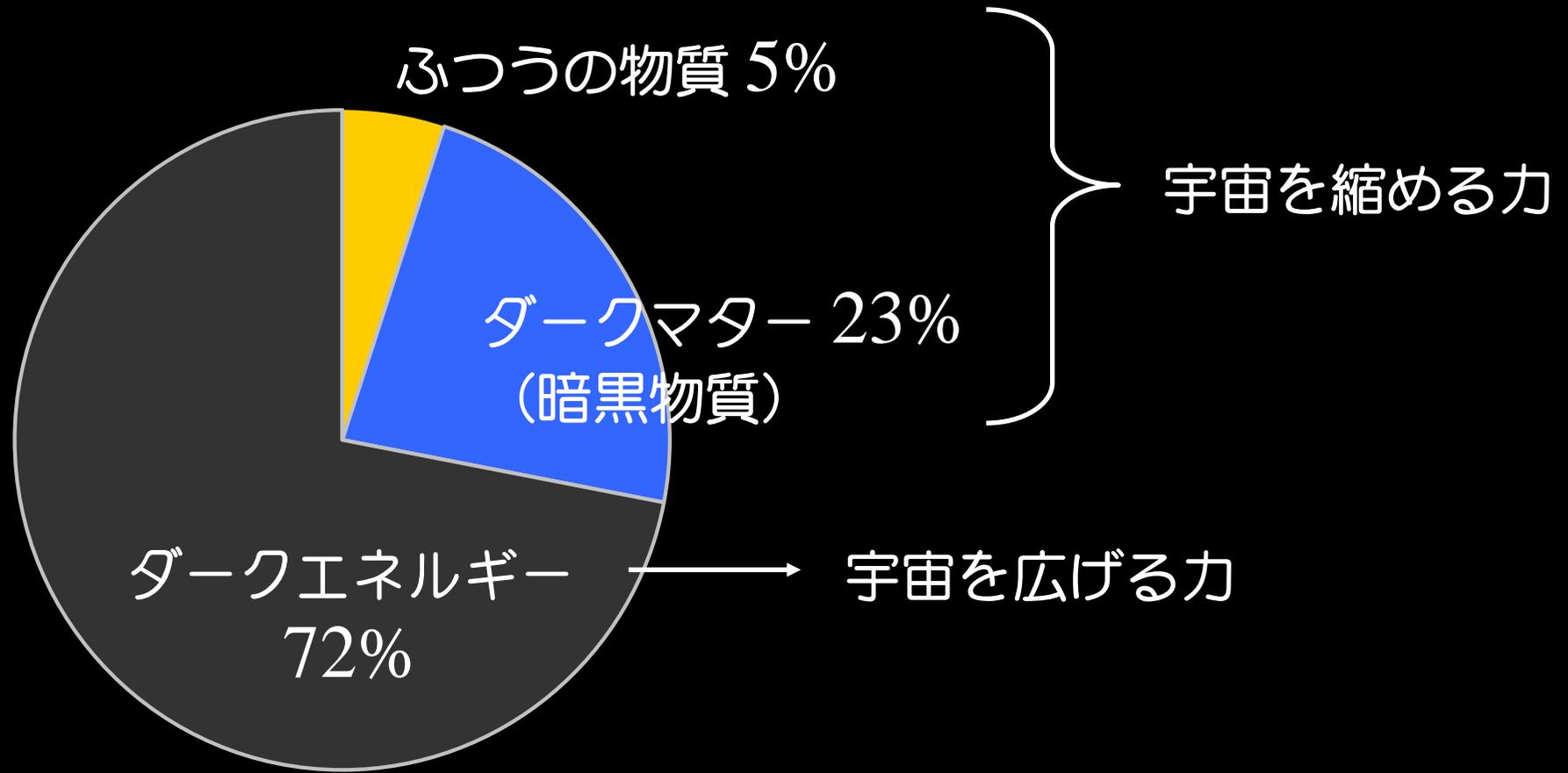
2003年6月に撮像



宇宙は加速膨張していた!



宇宙の成分表



私たちの宇宙の95%は、
未知の物質・エネルギーでできている！

ダークが支配する宇宙

ダークマター（暗黒物質）

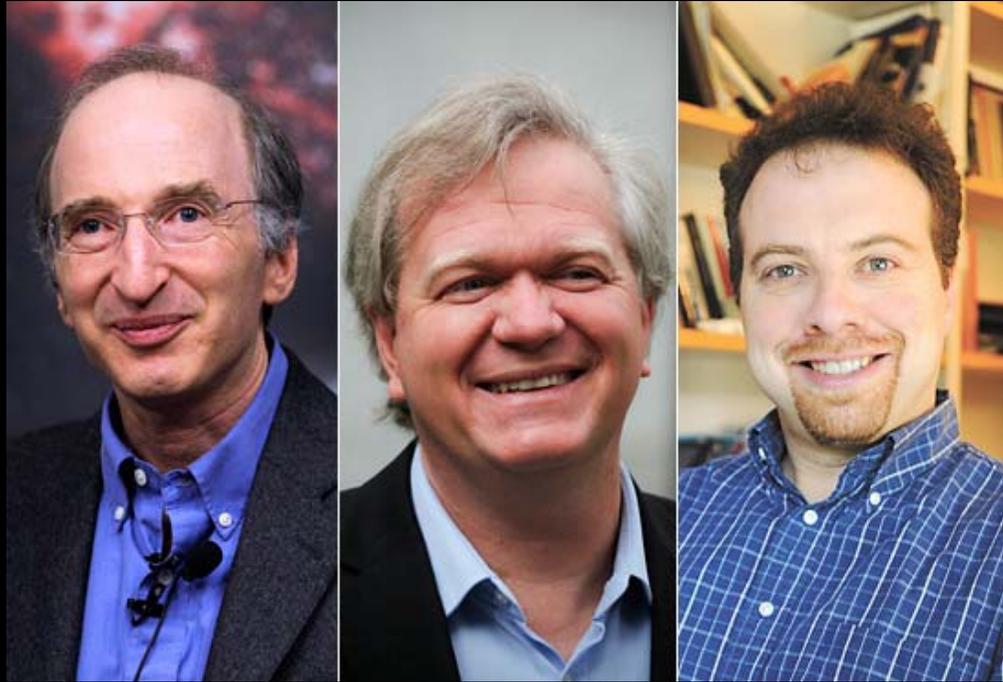
正体不明の物質、宇宙を縮める力
おそらく未知の素粒子？

ダークエネルギー（暗黒エネルギー）

正体不明のエネルギー、宇宙を広げる力
まったくもって不明、さっぱりわからない

新しい宇宙像の発見

今日の授業のまとめ



“遠方超新星を用いた加速膨張宇宙の発見”