

星の明るさと色

天文学とは...

- 「見る」学問
 - 星を手元に持ってこれない
 - 光を徹底的に調べる！
- 光の調べ方
 - 明るさ：光の強度
 - 色：光の波長

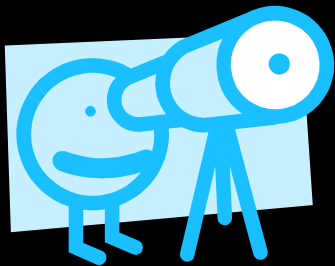
星の明るさ

明るさ

- 明るさは等級であらわす
- 著しく大きさが違うものの比較には対数を使う
 - 人の感覚も対数（ドレミ、デシベル）
- 肉眼で見えるのは6等級まで
- 1等級は6等級の100倍明るい
- 自分で見てみよう！
 - 0等星と2等星は明るさが10倍違う
 - 例：カペラ（ぎょしゃ座）・アルフェラッツ（アンドロメダの頭）

実視等級と絶対等級

- 実視等級：見かけの明るさ
 - 地上で見たときの明るさ
- 絶対等級：本当の明るさ
 - 10pcの距離においたときの明るさ
 - ※1pc=3.26光年
- 遠いものは暗く見える
 - 本当に暗いのか？遠いのか？



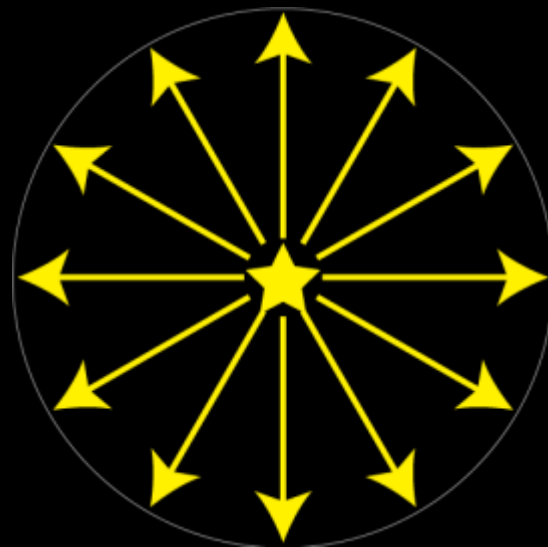
光度・フラックス

- 光度 L (J/s)
 - 単位時間当たり放出されるエネルギー
- フラックス F (J/s/m²)
 - 単位時間当たり単位面積あたりのエネルギー
- 光度とフラックスの関係

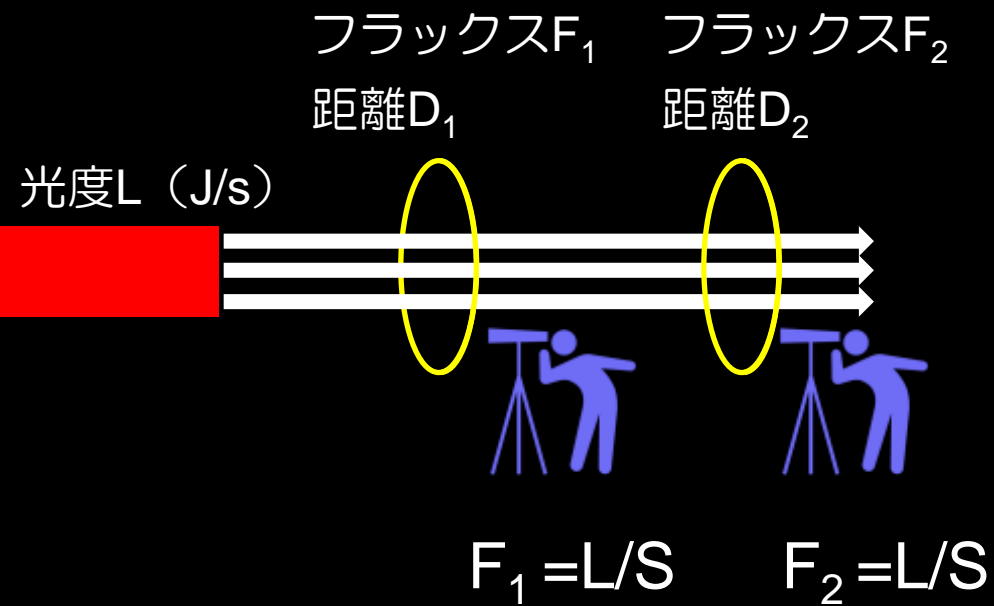
$$L=4\pi D^2F$$

- 遠いほど暗く見える！

$$F=L/(4\pi D^2)$$



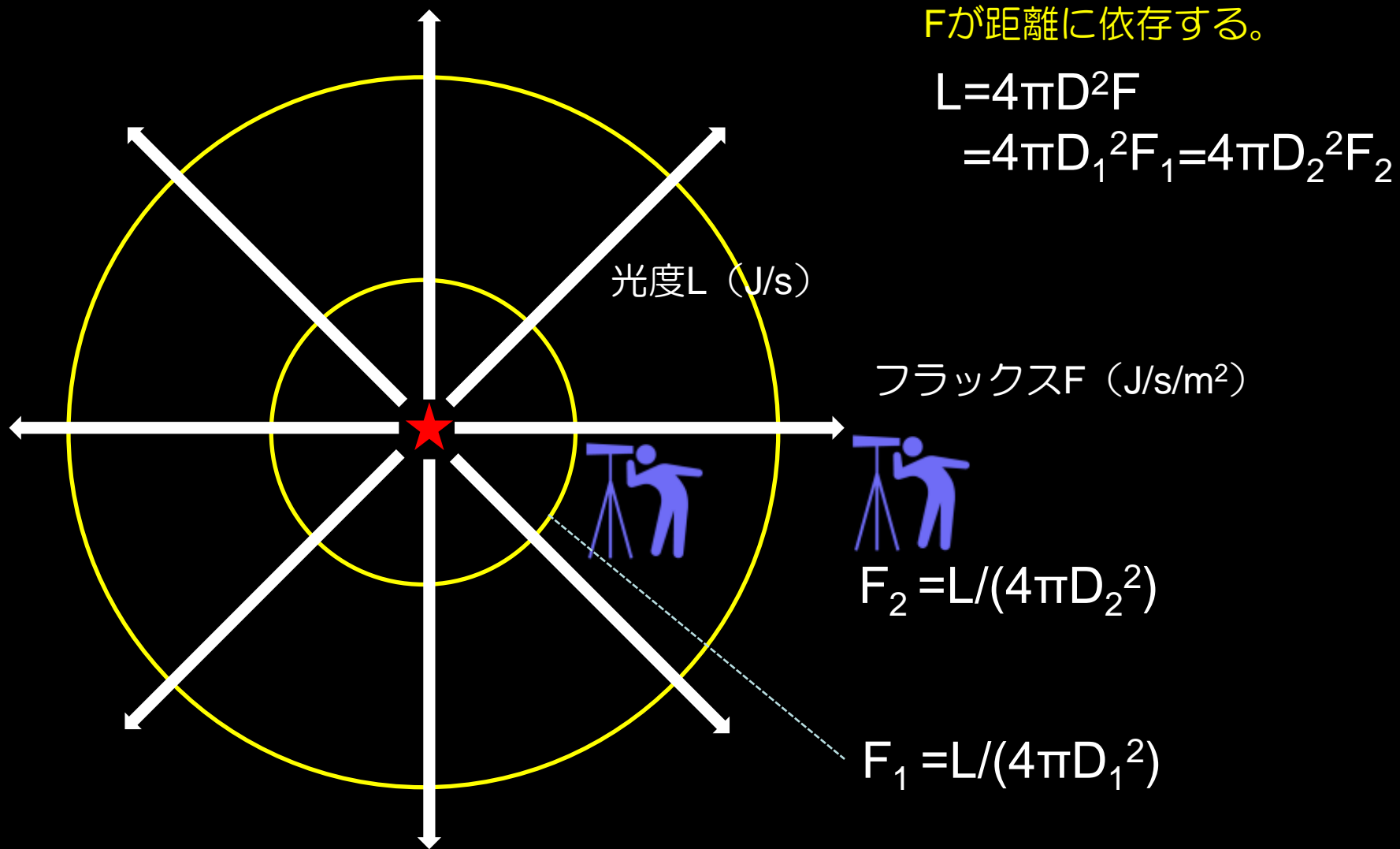
指向性がある場合



フラックス F が
距離に依存しない。

$$\begin{aligned} L &= SF \\ &= SF_1 = SF_2 \end{aligned}$$

等方的な場合



Fが距離に依存する。

$$L = 4\pi D^2 F$$
$$= 4\pi D_1^2 F_1 = 4\pi D_2^2 F_2$$

フラックスと等級

- フラックスFと等級mの関係

$$m_1 - m_0 = -5/2 \log_{10}(F_1/F_0)$$

– Fが100倍違うとmは5等級違う

- 絶対等級Mと実視等級mの関係

$$M = m - 5 \log_{10}(D/\text{pc}) + 5$$

– 証明してみよう！

絶対等級を計算！

$$M=m-5\log_{10}(D/\text{pc})+5$$

- ベガ

- 実視等級：0.0、距離：7.8pc

- 絶対等級：**0.54**

- デネブ

- 実視等級：1.3、距離：530pc

- 絶対等級：**-7.3**

- 太陽

- 実視等級：-26.7、距離：1AU= 4.9×10^{-6} pc

- 絶対等級：**4.9**

距離を測るのは大事！

- 絶対等級を知るには距離が必要
- でも、あらゆる距離・あらゆる天体に使える方法はない
- いろいろな方法を組み合わせて距離を測る



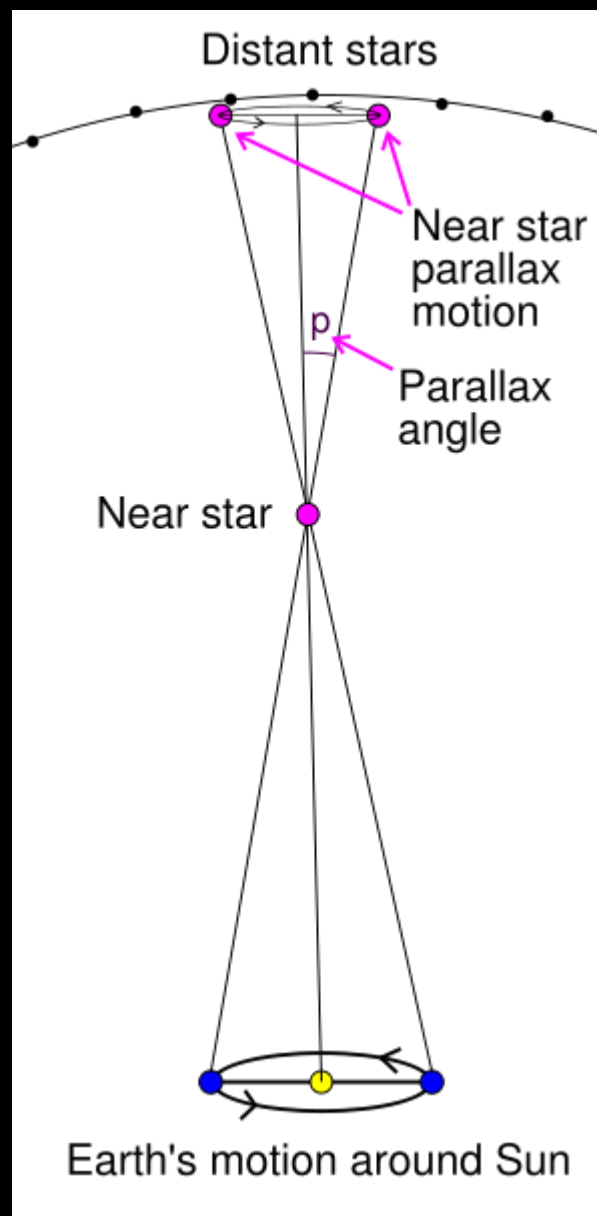
宇宙の距離はしご

- 1天文単位を測定
- 年周視差 (<1kpc)
- 標準光源法
 - セファイド変光星(<10Mpc)
 - Ia型超新星(<10Gpc)
- ハッブルの法則

年周視差

- 星の位置は微妙に動いている
- 地球が1年で太陽のまわりを1周する
 - 見かけの星の位置がずれる
- 年周視差が1秒になる距離を1pc（パーセク）とする

$$D = 1/p'' \text{ pc}$$

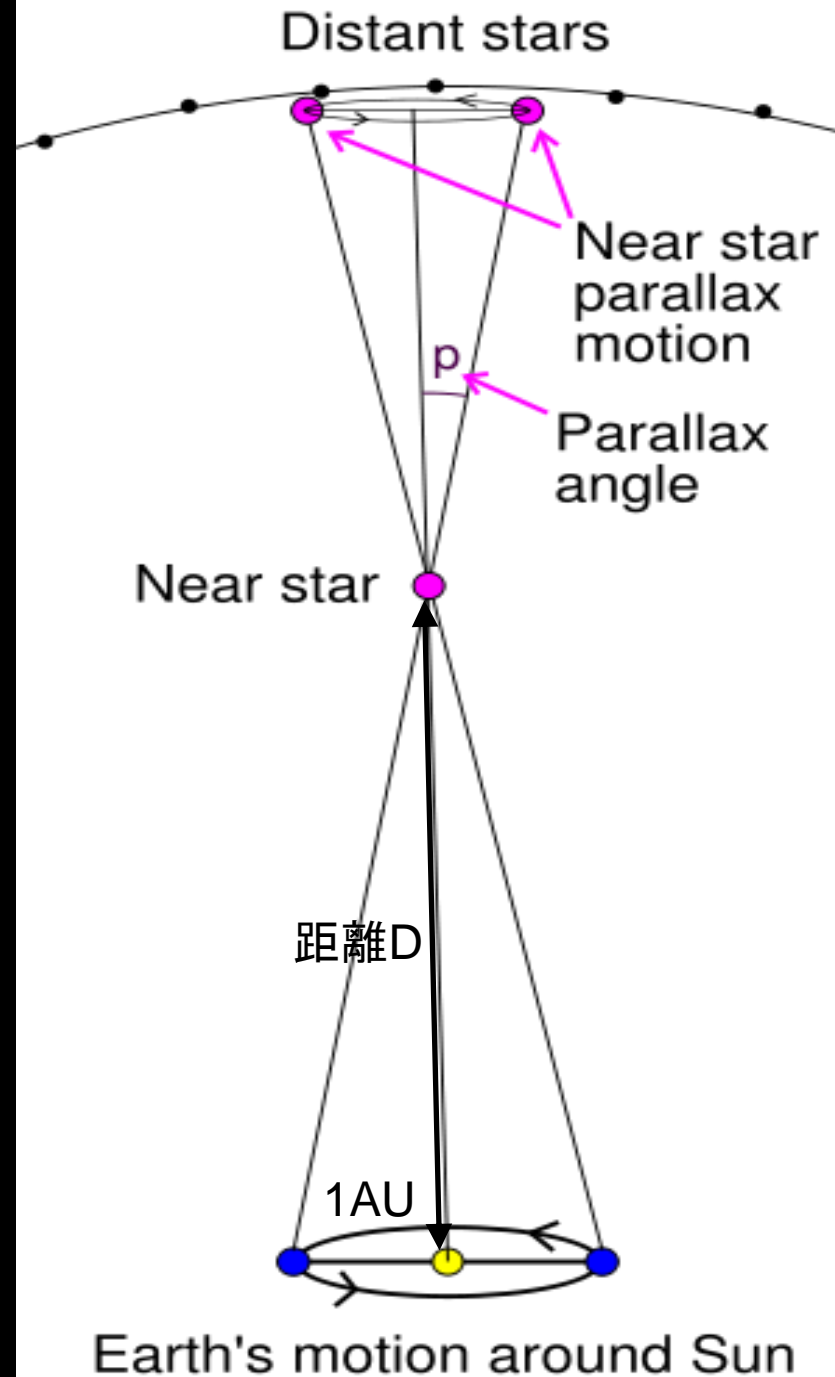


年周視差

- 1pcは何AU？

$$1\text{pc} = 2.06 \times 10^5 \text{ AU}$$

$$1\text{AU} = (1/3600 \times \pi/180)D$$



年周視差

- 地球大気の影響で分解能が落ちる
 - 宇宙では、高い分解能を得られる！
- ヒッパルコス
 - 1ミリ秒角の精度
 - 10万個以上の星
- ガイア計画
 - 1マイクロ秒角の精度
 - 約10億個の星



標準光源法

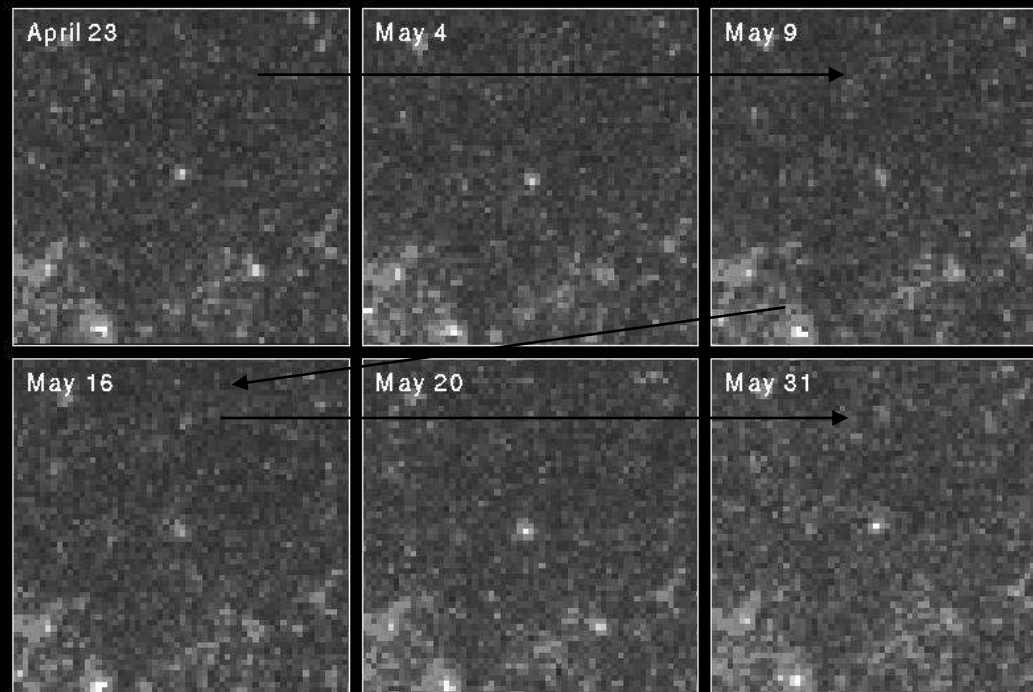
- 真の明るさが既知の天体を探す
 - 標準光源
- 標準光源の見かけの明るさを測定
- 見かけの明るさと真の明るさの違いから距離を計算できる

$$F = \frac{L}{4\pi d^2}$$

標準光源：セファイド変光星

- セファイド変光星（典型：ケフェウス座 δ 星）
 - 半径が大きくなったり小さくなったりを周期的に繰り返す（脈動）→明暗を繰り返す

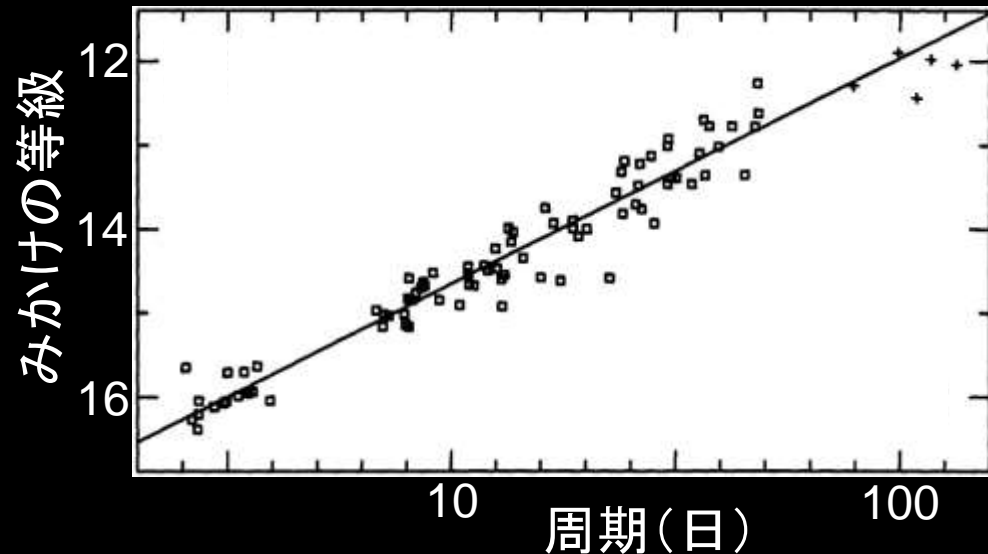
Cepheid Variable Star in Galaxy M100 HST-WFPC2



セファイドの周期と光度

- セファイド変光星（典型：ケフェウス座 δ 星）
- 脈動周期と明るさに相関

(Tanvir, 1999)



大マゼラン雲内の
セファイド変光星を観測
⇒地球から等距離とみなせる
⇒みかけの等級≒絶対等級

✓周期を測れば、明るさが分かる。

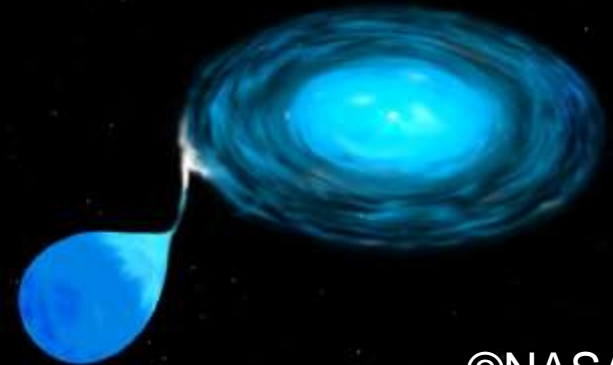


標準光源：Ia型超新星

- 超新星爆発
 - 重い星の最期
- Ia型超新星
 - 白色矮星と恒星の連星系
 - 恒星から白色矮星へのガス降着
 - 爆発の瞬間の明るさは一定（標準光源）
- 超新星は明るい！
 - 遠くても観測できる

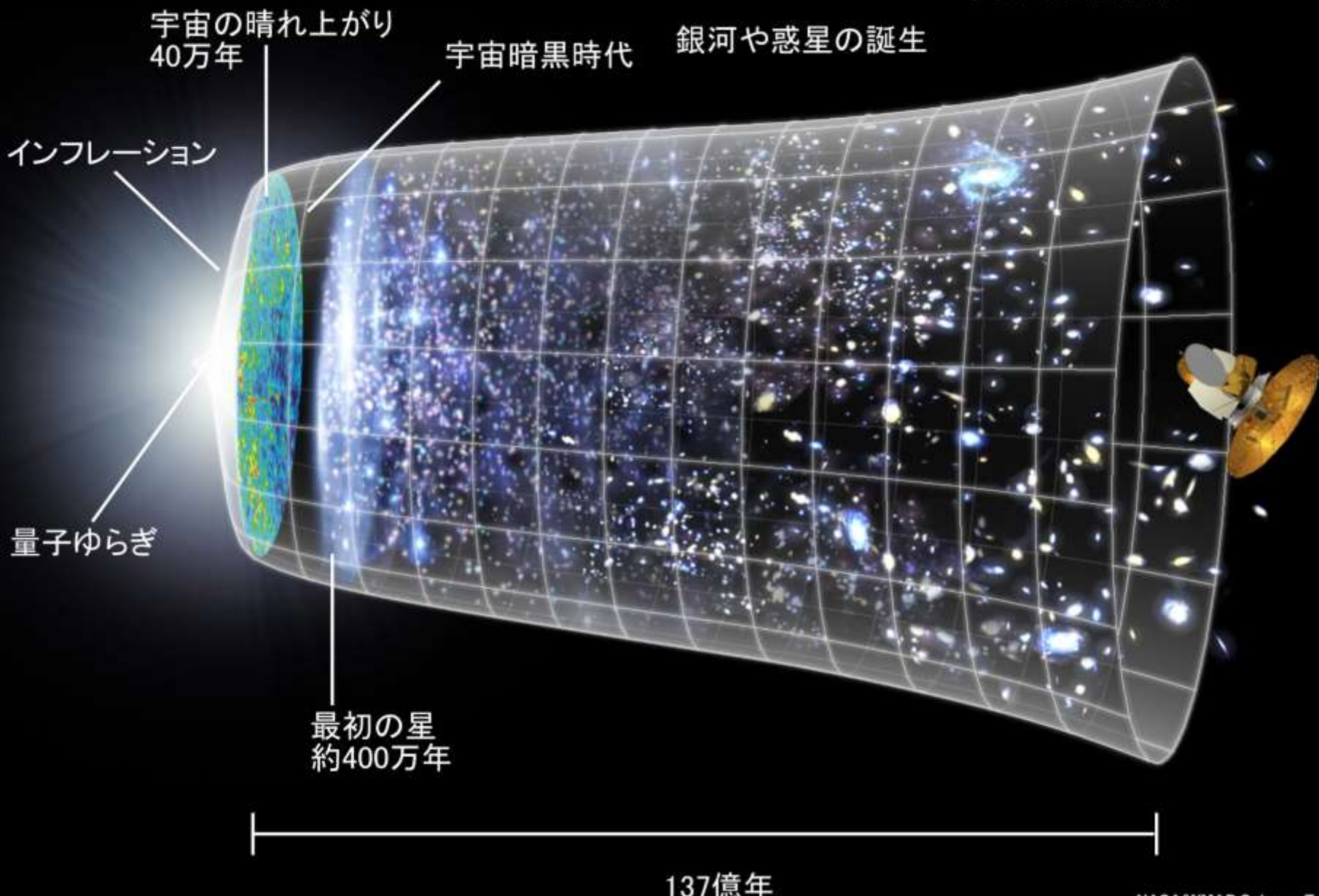


超新星残骸かに星雲©NASA



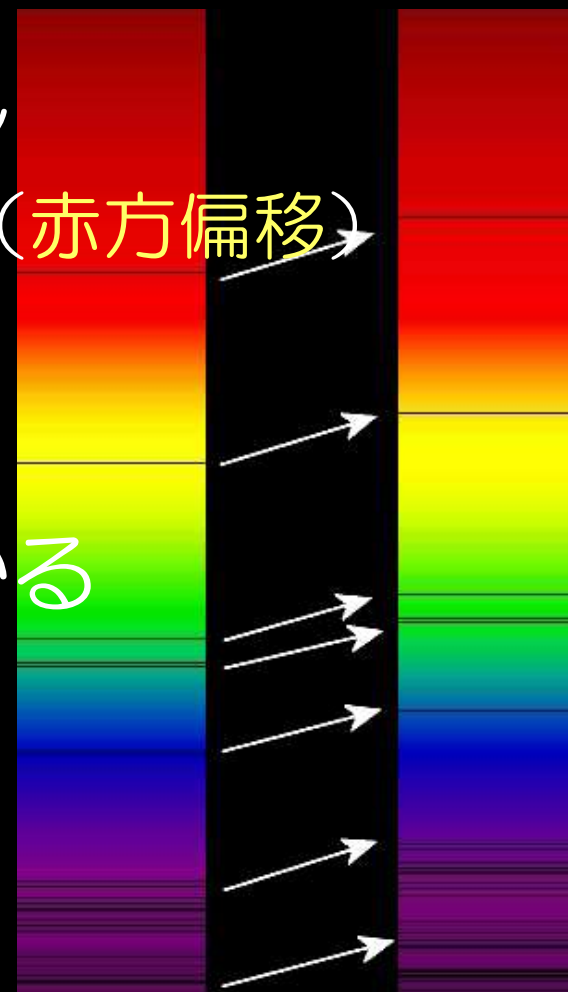
宇宙膨張

ダークエネルギーによる
宇宙の加速膨張



赤方偏移

- 遠方の超銀河団のスペクトル
 - 吸収線が長波長側へずれてる（赤方偏移）
- 光のドップラー効果
 - 後退速度が速いほど赤くなる
- 赤方偏移から後退速度がわかる
- 後退速度から距離がわかる
 - ハッブルの法則を使う



ハッブルの法則

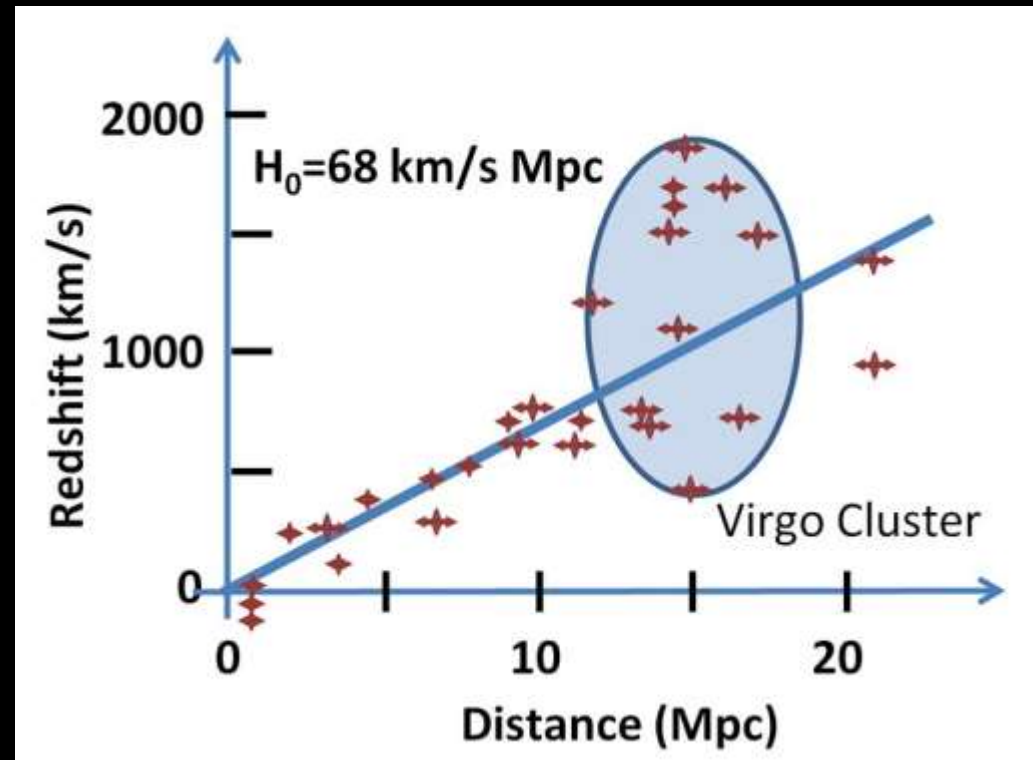
- 遠くの天体ほど早く遠ざかっている
- 速さ⇒距離と見た目の明るさ⇒真の明るさ

$$v = H_0 d$$

v : 後退速度

d : 天体までの距離

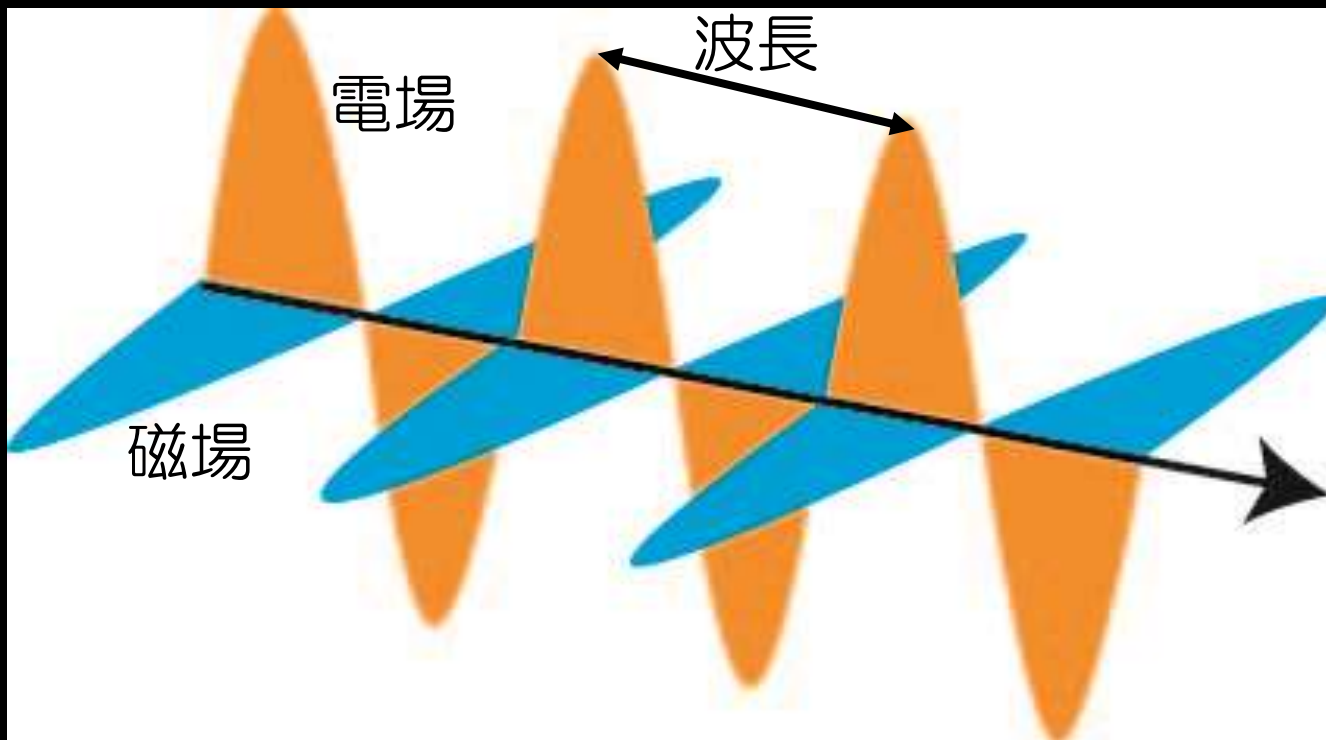
H_0 : ハッブル定数



星の色

光は電磁波

- 光は電磁波、横波
- 色：波長の違い
 - 長いと赤い、短いと青い



波の基本

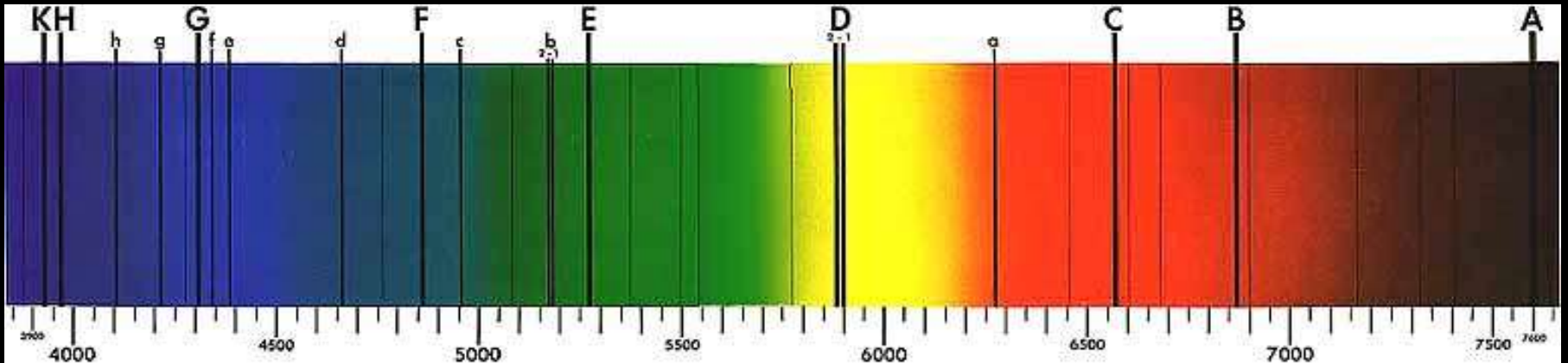
- 波長 λ 、振動数 ν 、光速 c の関係

$$c = \lambda \nu$$

光を分けて観測する

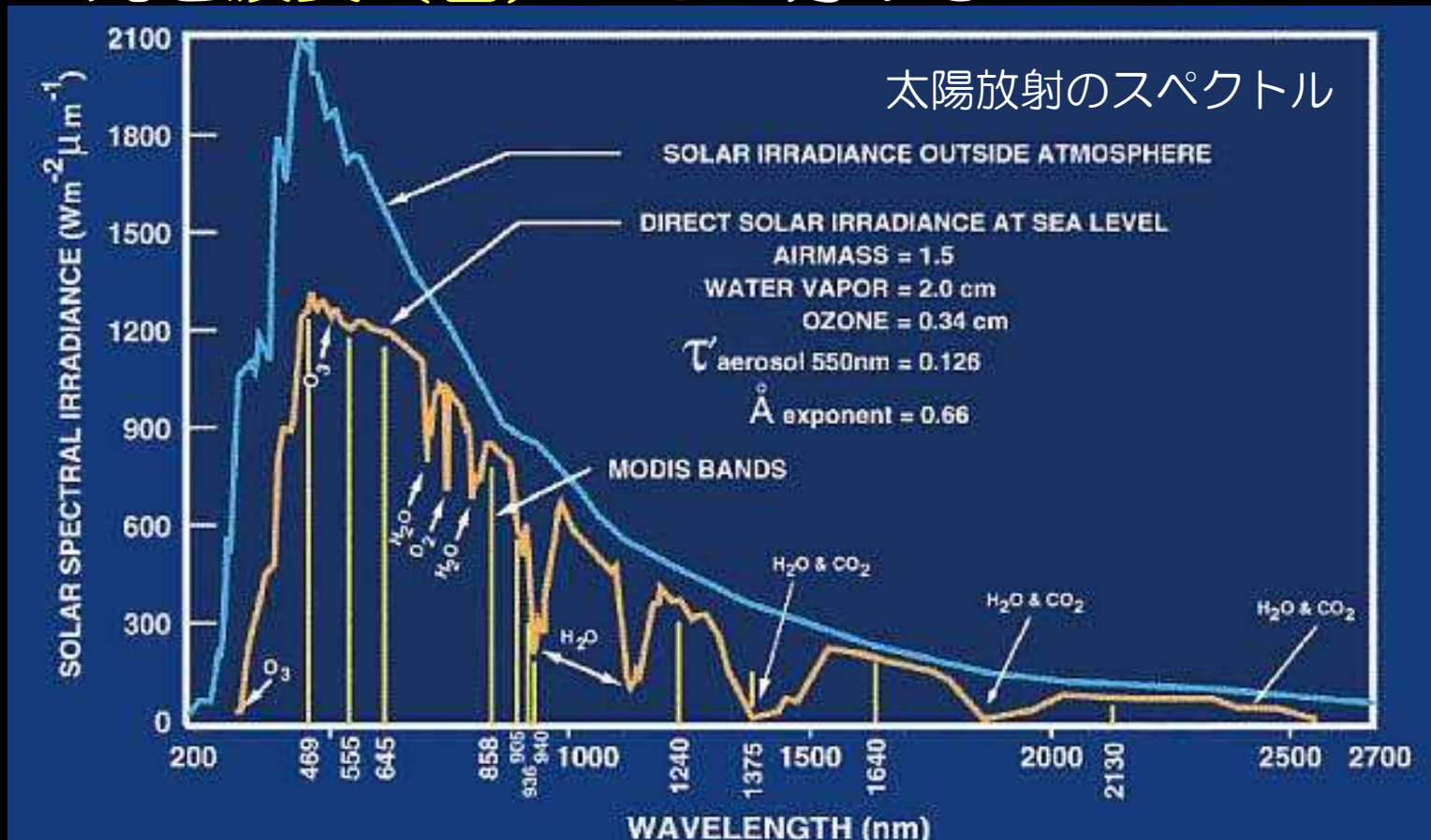
- 分光（スペクトル）観測
 - 光を波長（色）ごとに分ける

太陽のフラウンホーファー線



光を分けて観測する

- 分光（スペクトル）観測
 - 光を波長（色）ごとに分ける



プランク分布（黒体放射）

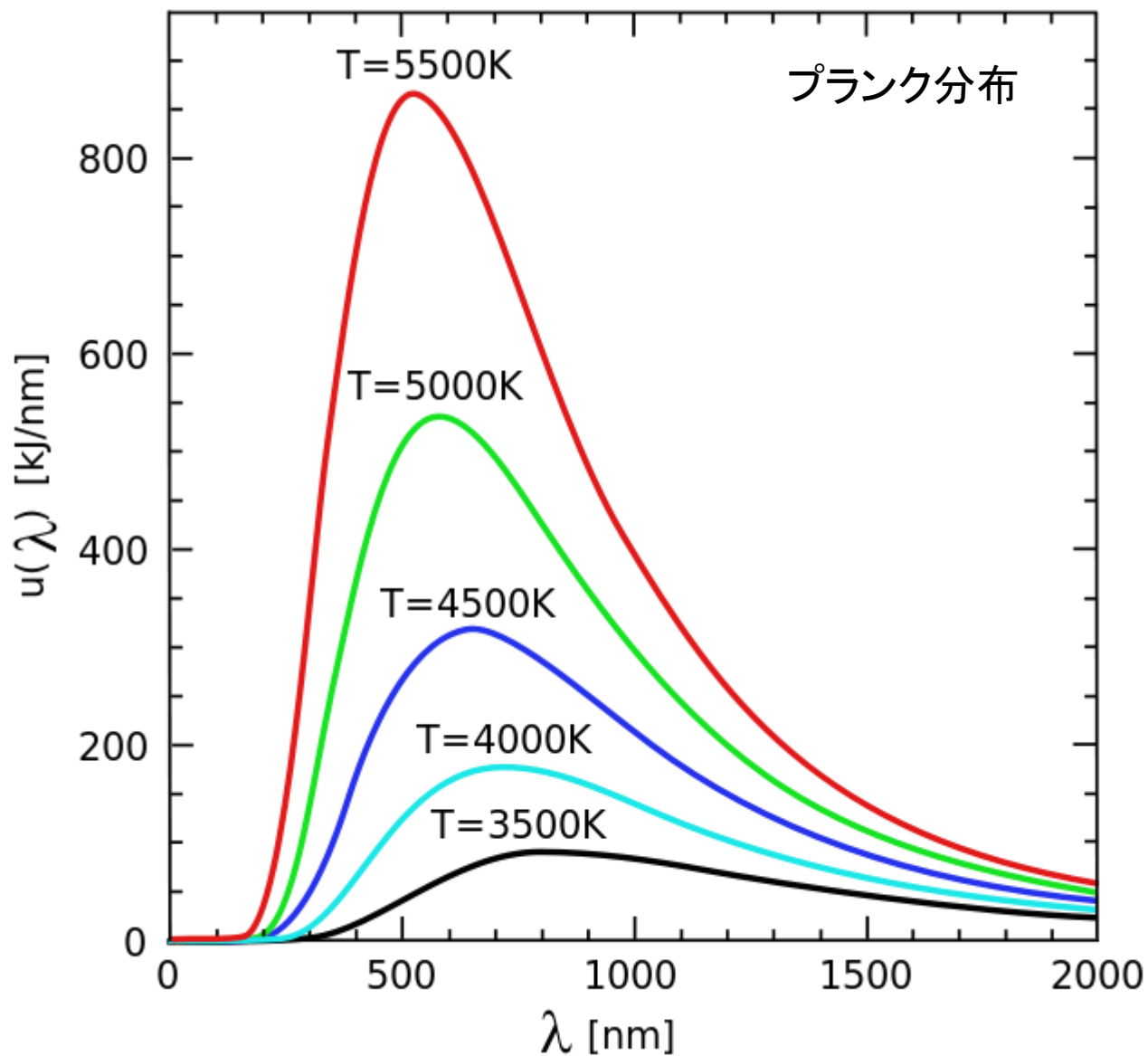
- 光の強度は温度Tのみの関数となる
– プランク分布

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3 / c^2}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

$$\left(\begin{array}{l} h: \text{プランク定数} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \\ c: \text{光速} = 3.00 \times 10^8 \text{ m/s} \\ k: \text{ボルツマン定数} = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} \\ \nu: \text{振動数} \end{array} \right)$$

※導出を知りたい人は量子統計を勉強しよう(例:「熱統計力学」阿部龍蔵 著)

プランク分布 (黒体放射)



ウィーンの変位則

- プランク分布のピークは

$$\lambda = 0.0029/T$$

光の色（ピーク波長）から温度がわかる

- 太陽の表面温度は5800Kなので、
– ピーク波長は？

500nm（黄色）

ステファーン・ボルツマンの法則

- プランク分布を積分すると、

$$F = \pi \int B_\nu(T) d\nu = \sigma T^4$$

$$\left(\sigma \equiv \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} \right)$$

フラックスから温度がわかる

星の半径

- ウィーンの変位則 $T = 0.0029 / \lambda$
 - 波長から表面温度が求まる
- 星の光度は半径と表面温度と関係
 - 温度と光度（観測）から半径が求まる

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

$$R = \sqrt{\frac{L}{4\pi\sigma T^4}}$$

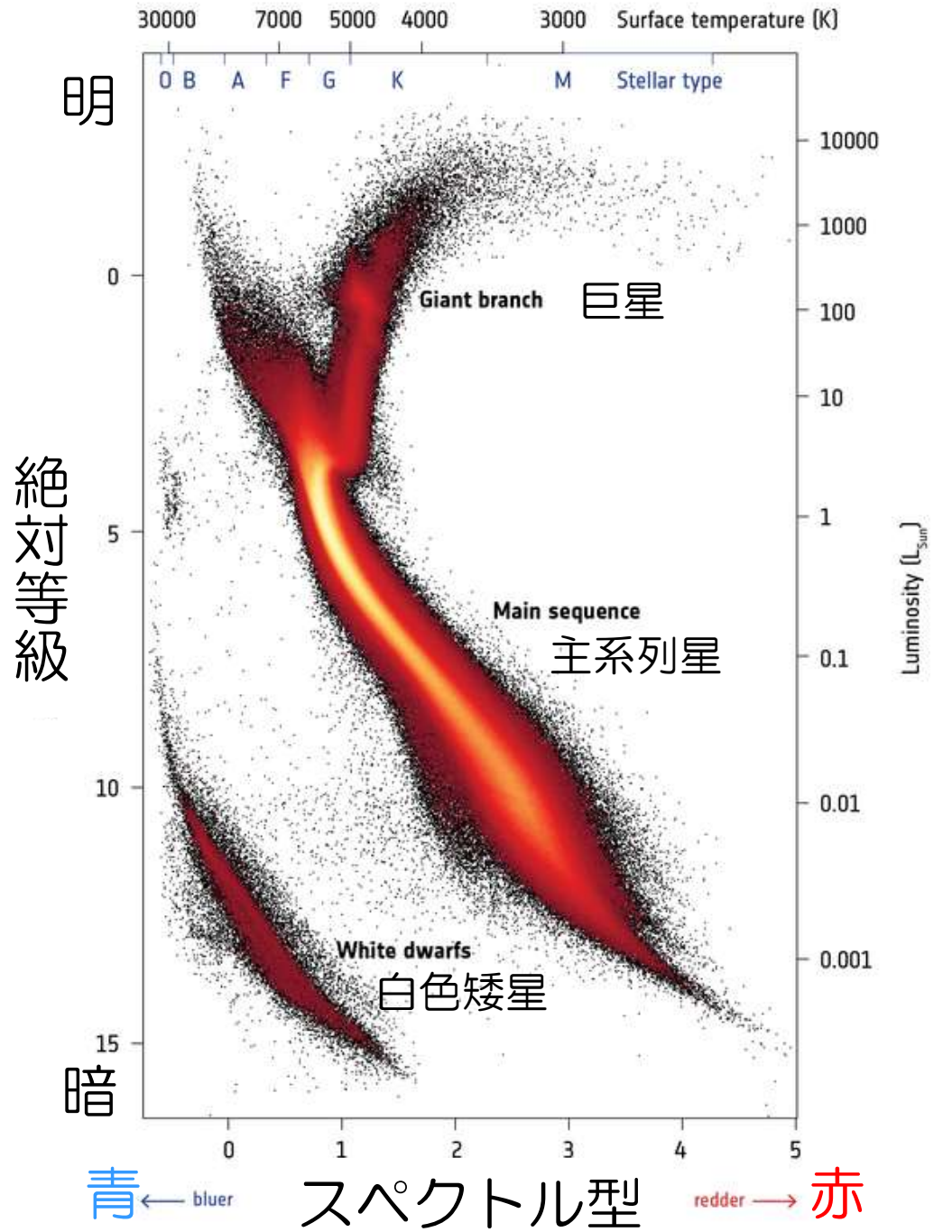
HR図

絶対等級と
スペクトル型で
星を分類

主系列星：
左上から右下

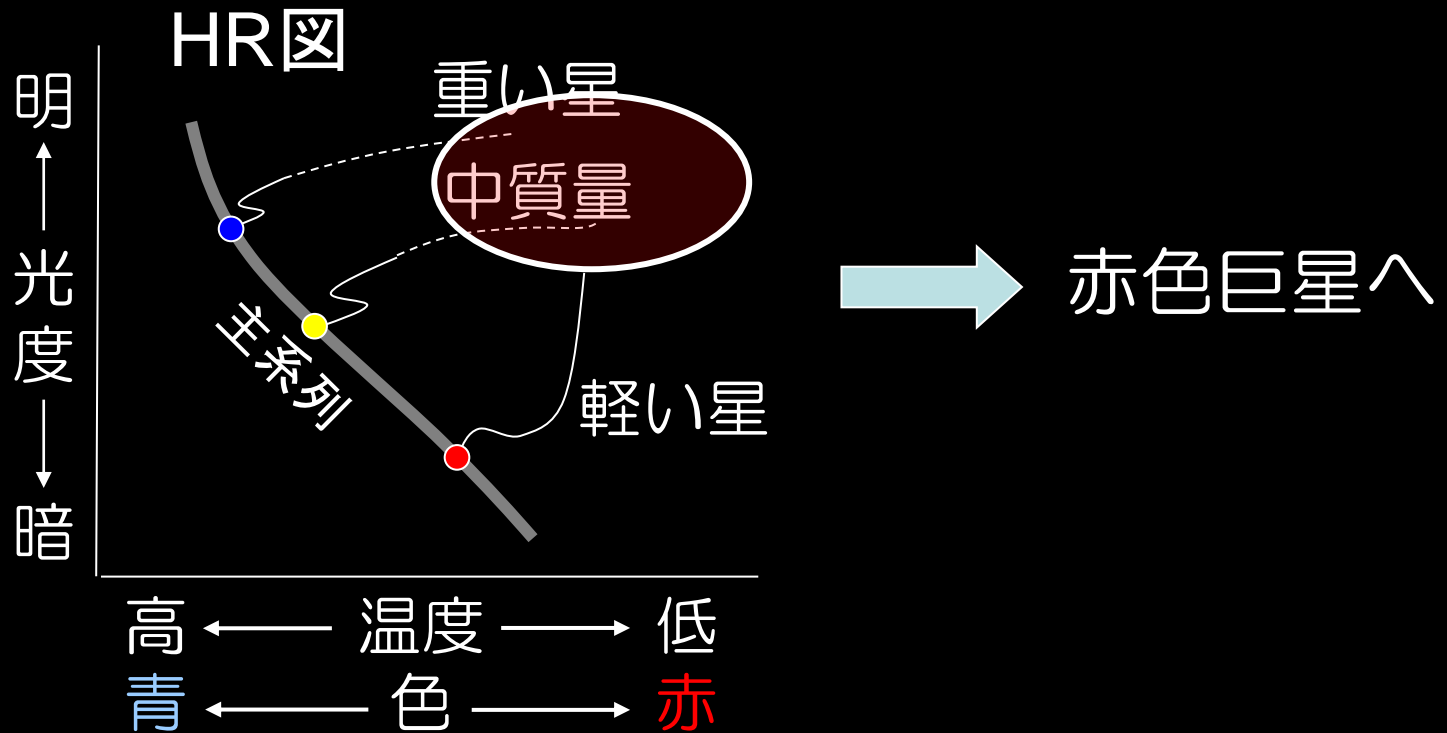
巨星：
右上

白色矮星：
左下



主系列星にいる期間

- 青い (高温) 主系列星は重い → 100万年
- 赤い (低温) 主系列星は軽い → > 100億年



赤色巨星

- 赤い＝温度が低い＝フラックスは小さい

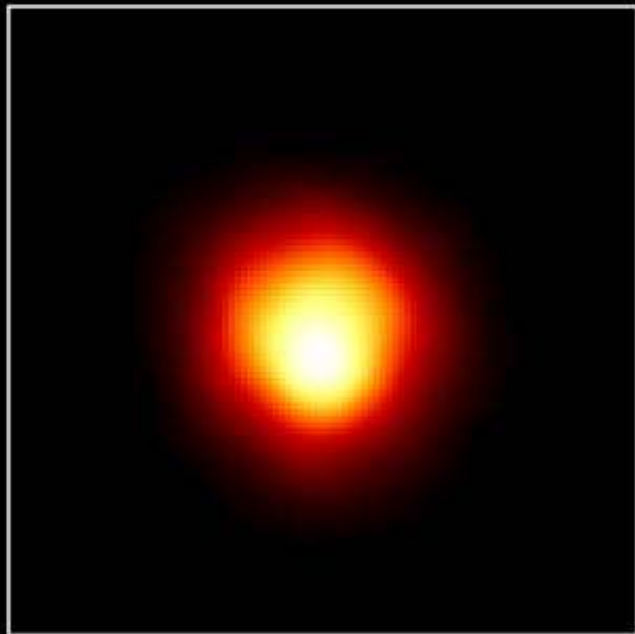
$$F = \sigma T^4$$

- フラックスが小さい (F小) のに
明るい (L大) ということは

$$R = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

- 半径Rが大きい (巨星)

赤色巨星ベテルギウス



Size of Star

Size of Earth's Orbit

Size of Jupiter's Orbit



Atmosphere of Betelgeuse

HST · FOC

PRC96-04 · ST Scl OPO · January 15, 1995 · A. Dupree (CfA), NASA

白色矮星

- 青白い＝温度が高い＝フラックスは大きい

$$F = \sigma T^4$$

- フラックスが大きい (F大) のに
暗い (L小) ということは

$$R = \sqrt{\frac{L}{4\pi F}}$$

- 半径Rが小さい (矮星)

惑星状星雲

- 質量放出で飛ばされたガス
→ 白色矮星からの紫外線で光る



Planetary Nebula BD +303639

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan
Copyright © 2004 National Astronomical Observatory of Japan. All rights reserved.

CIAO (J, H, K)
December 15, 2004



H α



Ring Nebula (M 57 / NGC 6720)

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan

Copyright © 1999 National Astronomical Observatory of Japan, all rights reserved



H α , V, B

Suprime-Cam (H α , V, B)

September 16, 1999

まとめ

- 星の明るさと色は様々
- 星の色と明るさから温度や半径が求まる
- HR図で星を分類できる

夜空の星の色と明るさを比べてみてください！