

天文学入門Ⅰ 観測実習

2011-11-25 & 12-02

国立天文台
岡山天体物理観測所
所長 泉浦秀行



本日の目標と内容

- 望遠鏡、測定器（CCDカメラ）、PCに慣れよう
- 散開星団M67を観測し、自分の手で測定を楽しもう
- 星に色があることを知ろう
- 星の明るさと色から何が分かるか考えよう

本日の目標と内容

レポート課題

- 散開星団M67について
 - ・実習の概要をまとめる
 - ・星の色－等級 $[V - (B - V)]$ 図を作る
 - ・星団の年齢と距離を推定する
 - ・星の二色 $[(B - V) - (V - R)]$ 図を作る
 - ・考察を加える

本日の具体的作業内容

- 望遠鏡に触れる、動作の仕組みを考える
- 望遠鏡を天体に向けてみる(木星など)
- 星団をCCDカメラを使って撮影する
- 撮影した画像から星の明るさを測定する
- 星の明るさをCCDのカウント値から等級に変換する
- -----
- 星団の明るさ、色、などの特徴を検討する
- 星団とは何かを考える

Whirlpool Galaxy • M51



Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-07

星の形成と 散開星団

Whirlpool Galaxy • M51

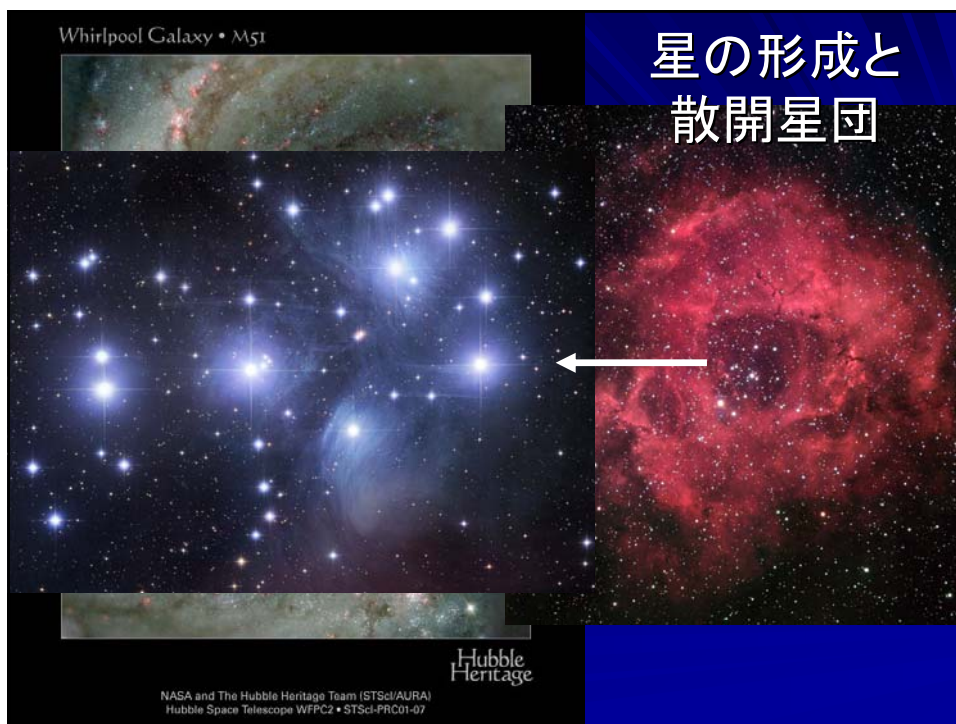


Hubble
Heritage

NASA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)
Hubble Space Telescope WFPC2 • STScI-PRC01-07

星の形成と 散開星団





散開星団の撮像観測1

- 望遠鏡：
 - 口径60cm
 - 焦点距離9420mm (F=15.7)
 - カセグレン式反射望遠鏡
 - 赤道儀架台
- 光検出器 (CCDカメラ)
 -
 -
 -



散開星団の撮像観測2

■ 望遠鏡:

- 口径60cm
- 焦点距離9420mm
- カセグレン式反射望遠鏡
- 赤道儀架台

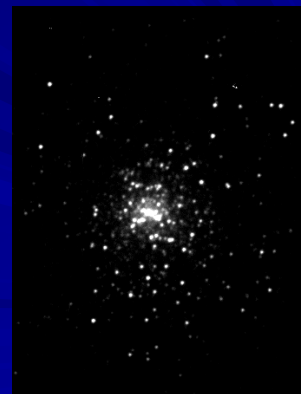
■ 光検出器 (CCDカメラ)

- SBIG社STL-1001E, 24um, 1024x1024
- B(青)、V(緑)、R(赤) フィルター
- 光子を電子に変え(光電効果)蓄積して読み出す



散開星団の撮像観測3

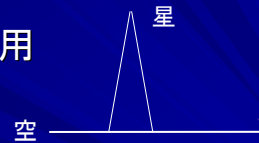
- 撮影は一瞬、測定は忍耐、解釈は勉強漬け
- B、V、Rのフィルターで、星の明るさを測る
 - Bは青、Vは緑、Rは赤
 - フィルターごとに露出を調整する
 - 各フィルターで4枚(以上)撮る
- 撮った画像を眺める
 - 画像表示の方法を知る



散開星団の撮像観測4

■ 星の明るさを測る

- 星の空より明るい部分の値の総和を勘定
- CCD画像上は単なる整数値
- マカリというソフトウェアを勘定に利用
- 星の明るさに使う等級は対数值
 - 元々ベガを基準に測定
 - (ベガがどの波長でも0等級)
 - 現在の0等級、地球上(大気圏外)@0.55um
 - $3.64 \times 10^{-11} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$
 - $3.65 \times 10^{-23} \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$



散開星団の撮像観測5

■ マカリを使って画像を処理1

- 測定する画像を作り上げる
 - 複数枚撮った画像を足し合わせ総露出時間で割る
 - (バイアス引き、ダーク引き)
 - (フラットフィールドイング、迷光引き)
 - (検出器線形性補正)
- CCD生出力画像の星の明るさを測る: N^*
- 機械等級に変換する: $N^* \rightarrow m_i(N^*)$
- ゼロ点を補正する: $m_i(N^*) \rightarrow m(m_i(N^*))$
- (大気減光補正、色補正を行う)

散開星団の撮像観測6

■ マカリを使って画像を処理2

– 機械等級に変換する: $N^* \rightarrow m_i(N^*)$

■ $m_i(N^*) = -2.5 \log(N^*)$

– ゼロ点を補正する: $m_i(N^*) \rightarrow m(m_i(N^*))$

■ $m(m_i(N^*)) = m_i(N^*) + C_0$ (ゼロ点補正值)

■ ここでちょっとだけズルをする

- 本来は C_0 の値を別に測定して決定しておく必要がある
- だが、ここでは、M67の星の明るさの文献値を利用する
- ただ、これは厳密には自己撞着と呼ぶ論理的矛盾を持つ
- とにかく、 $m(\text{文献値}) = m_i(N^*) + C_0^*$ として C_0^* を決定する
- 一つでなく10個程度の星について C_0^* を求め、平均をとる
- それを C_0 として、他の星の $m(m_i(N^*))$ を求める

散開星団の撮像観測7

- 表計算ソフト(または手計算)で色を算出する
- 色等級図を作成する
- 色等級図について文献・資料を調べる
- 観測したM67と文献資料とを比べてみる
- 星団とは何かを考えてみる

星(天体)の色とは？

- 色とは何か？
- 色はどうやって測るか？
- 色をどうやって表現するか？
- 単位は？

大変重要な物理法則

- 黒体放射
 - 明るさ、色が温度だけで決まる
 - 輝度温度、色温度
- 星はおおまかには黒体放射している
 - 黒体放射からのずれはある
 - 星の大気の吸収
 - 特に短波長側でずれは大きい

黒体放射

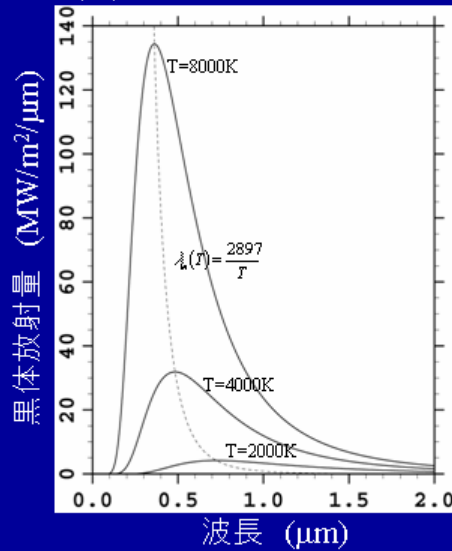
温度 T (K) の黒体表面の単位面積から単位時間あたりに射出される波長 λ (m) の放射エネルギー

$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 \left(e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1 \right)}$$

$h = 6.6261 \times 10^{-34}$ J/s
: プランク定数

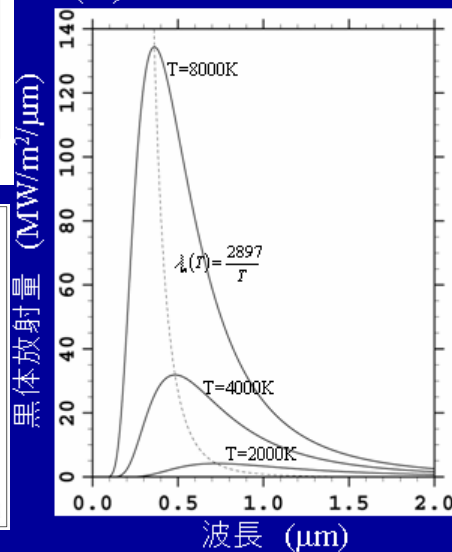
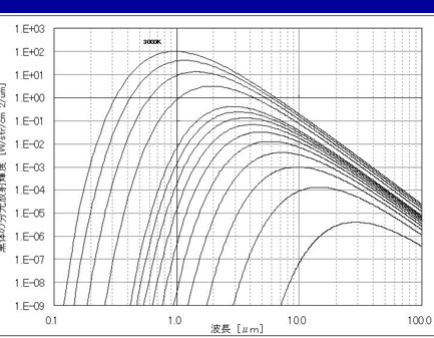
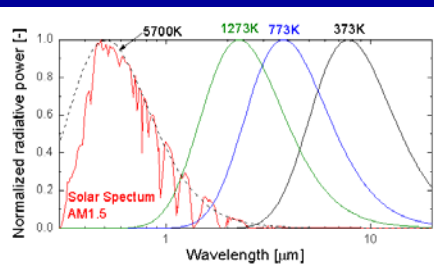
$c = 2.998 \times 10^8$ m/s : 光速

$k = 1.381 \times 10^{-23}$ J/K
: ボルツマン定数



黒体放射

の単位面積から単位時間あたりに射出される波長 λ (m) の放射エネルギー



プランクの式

- 黒体放射の輝度を表す式

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

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

$d\nu dt d\Omega dS$

T: 絶対温度
 ν : 振動数
 λ : 波長

- 黒体から単位面積、単位時間、単位周波数あたり放射されるエネルギー、つまり壁から外へ流れ出すエネルギーは実効立体角 π をかけて得られる。

- h = プランク定数: 6.63×10^{-34} J s
- k = ボルツマン定数: 1.38×10^{-23} J K⁻¹
- c = 光速: 3.0×10^8 m s⁻¹
- → ステファンボルツマンの式 $d\nu d\Omega$ で積分実行 σT^4

自分の手で計算してみよう

- ある温度に対して、異なる波長でのBを計算
- べつの大きく異なる温度でも計算する
- 結果を対数目盛でグラフにしてみる

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

$$B_\lambda(T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$