

赤色巨星は赤いのか!?

Astrophysical Color Science
Application

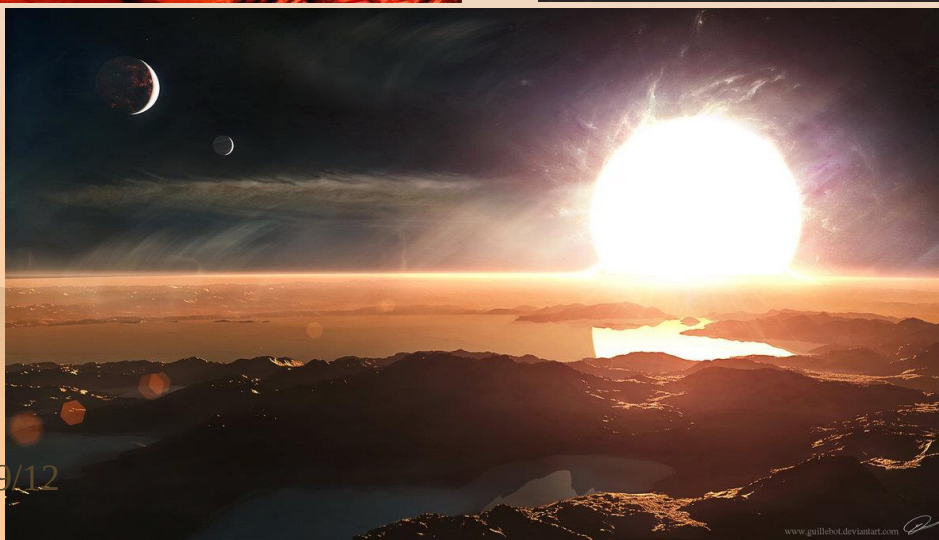
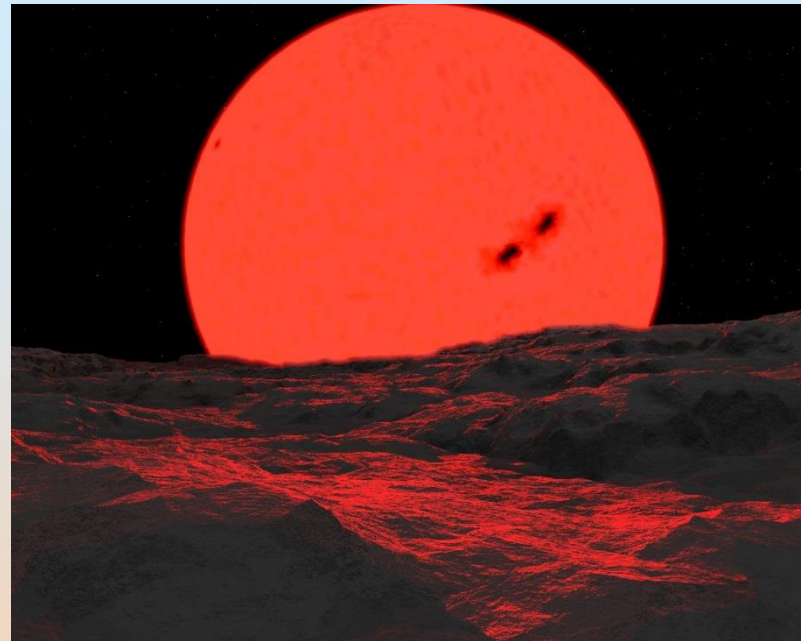
西本英里菜、福江 純

(大阪教育大学)





赤色巨星と惑星



2015/9/12



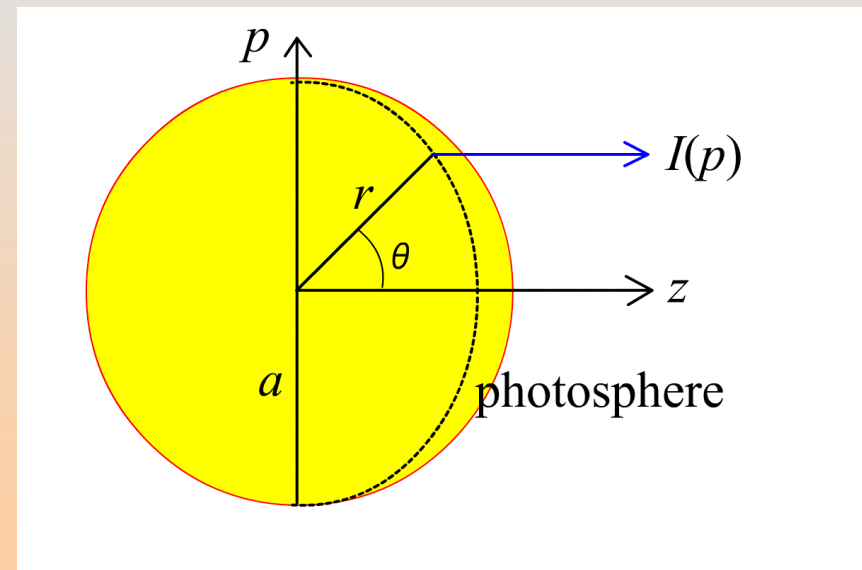
主系列星(矮星)の大気モデル

✿ ミルン-エディントンモデル ✿ 平行平板近似

$$T^4(\tau) = \frac{3}{4} T_{eff}^4 \left(\frac{2}{3} + \tau \right)$$

$$\pi I(\mu) = T^4(\mu) = \frac{3}{4} T_{eff}^4 \left(\frac{2}{3} + \mu \right)$$

$$\pi I(p) = T^4(p) = \frac{3}{4} T_{eff}^4 \left(\frac{2}{3} + \sqrt{1 - \frac{p^2}{a^2}} \right)$$





赤色巨星の大気モデル

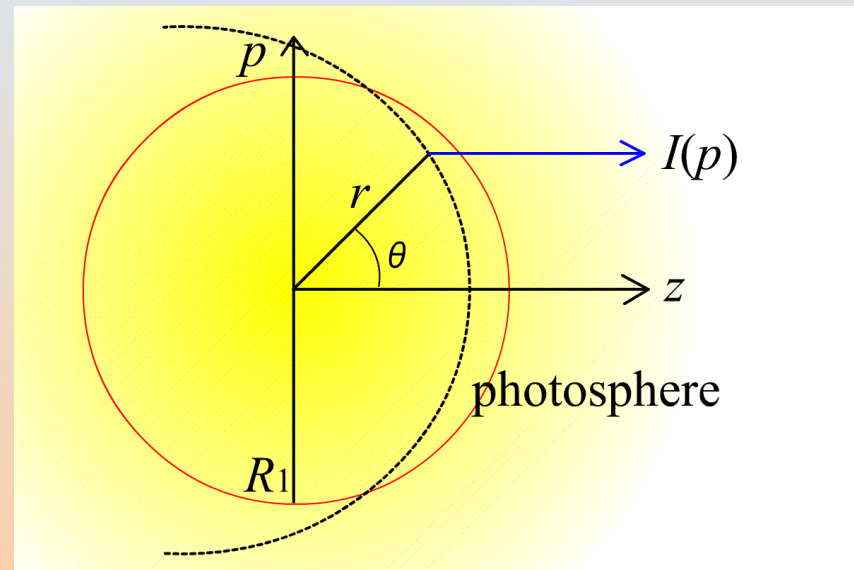
❁ 球対称風モデル

$$\rho(r) = \rho_1 \left(\frac{R_1}{r} \right)^2$$

$$-4\pi r^2 \frac{4acT^3}{3\kappa\rho} \frac{dT}{dr} = L_1 = 4\pi R_1^2 \sigma T_1^4$$

$$\kappa(r) = \kappa_1 \left(\frac{\rho}{\rho_1} \right) \left(\frac{T}{T_1} \right)^{-b}$$

❁ 広がった希薄外層大気





赤色巨星の大気モデル

❁ べき関数型解析解

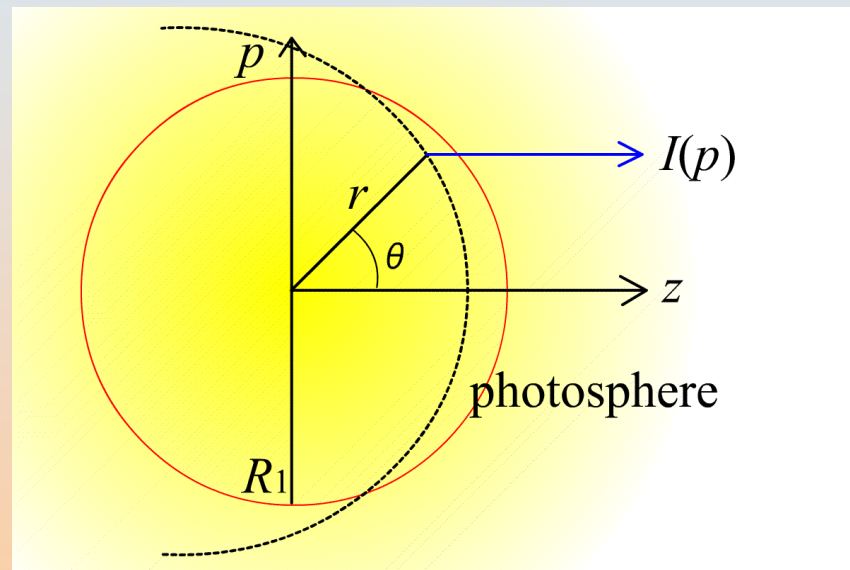
$$x \equiv \frac{r}{R_1}, \quad t \equiv \frac{T}{T_1} \quad \rho = \rho_1 x^{-2}, \quad \kappa = \kappa_1 x^{-2} t^{-b}$$

$$\tau_1 \equiv \kappa_1 \rho_1 R_1$$

$$-\frac{16x^6 t^{3+b}}{3\tau_1} \frac{dt}{dx} = 1$$

$$t(x) = \left(\frac{3(4+b)}{80} \tau_1 \right)^{1/(4+b)} x^{-5/(4+b)}$$

❁ 広がった希薄外層大気



$$\tau(r) = -\int_{\infty}^r \kappa(r) \rho(r) dr \quad \tau(1) = \tau_1 \left(\frac{3(4+b)}{80} \tau_1 \right)^{-b/(4+b)} \frac{4+b}{12-2b} = 1 \quad \tau_1 = \left(\frac{3(4+b)}{80} \right)^{b/4} \left(\frac{12-2b}{4+b} \right)^{(4+b)/4}$$





赤色巨星の大気モデル

❁ 見かけの光球の形状

$$\tau(z) = -\int_{\infty}^z \kappa(r) \rho(r) dz$$

$$x \equiv \frac{r}{R_1}, \quad \hat{z} \equiv \frac{z}{R_1}, \quad \hat{p} \equiv \frac{p}{R_1}; \quad x^2 = \hat{z}^2 + \hat{p}^2$$

$$\tau(z) = -\int_{\infty}^z \kappa(x) \rho(x) R_1 d\hat{z}$$

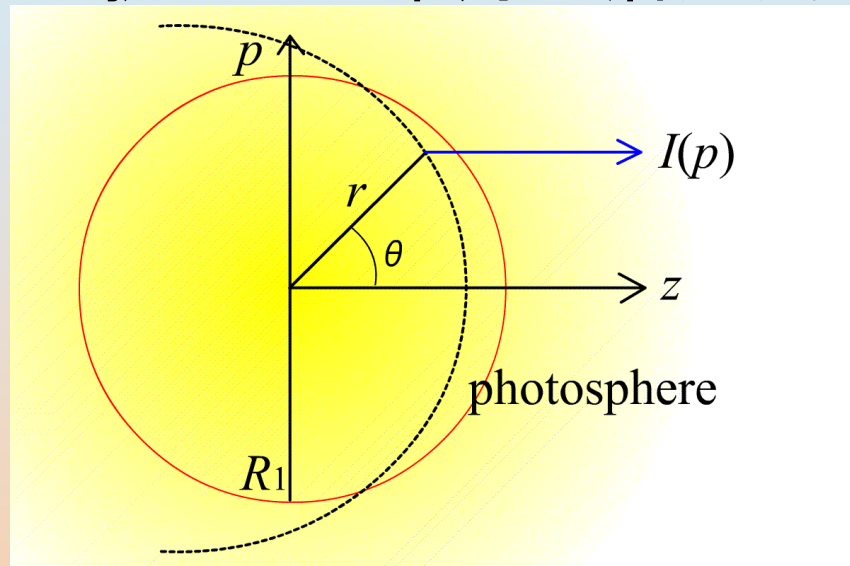
$$= -\int_{\infty}^z \tau_1 x^{-4} t^{-b} d\hat{z}$$

$$= -\tau_1 \left(\frac{3(4+b)}{80} \tau_1 \right)^{-b/(4+b)} \int_{\infty}^z x^{(-16+b)/(4+b)} d\hat{z}$$

$$\tau(z) = -\tau_1 \left(\frac{1}{4} \tau_1 \right)^{-2/5} \int_{\infty}^z \frac{d\hat{z}}{\hat{z}^2 + \hat{p}^2}$$

$$= \tau_1 \left(\frac{1}{4} \tau_1 \right)^{-2/5} \frac{1}{\hat{p}} \left(\frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \frac{\hat{z}}{\hat{p}} \right)$$

❁ 広がった希薄外層大気



$$\hat{z} = \hat{p} \tan \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\hat{p}}{\tau_1 \left(\frac{\tau_1}{4} \right)^{-2/5}} \right)$$

$$= \hat{p} \tan \left(\frac{\pi}{2} - \hat{p} \right)$$

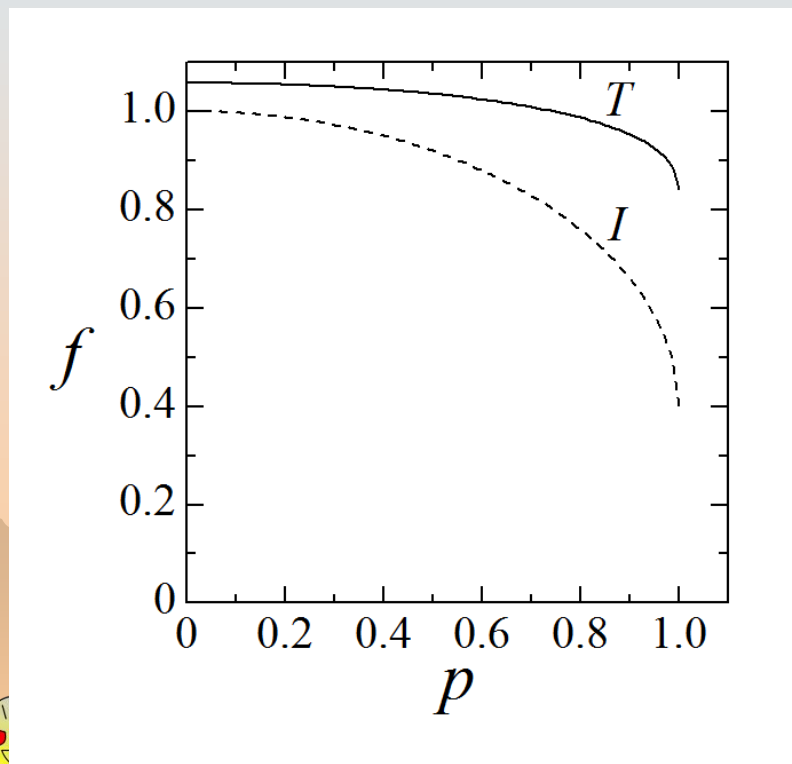




光球面の温度分布

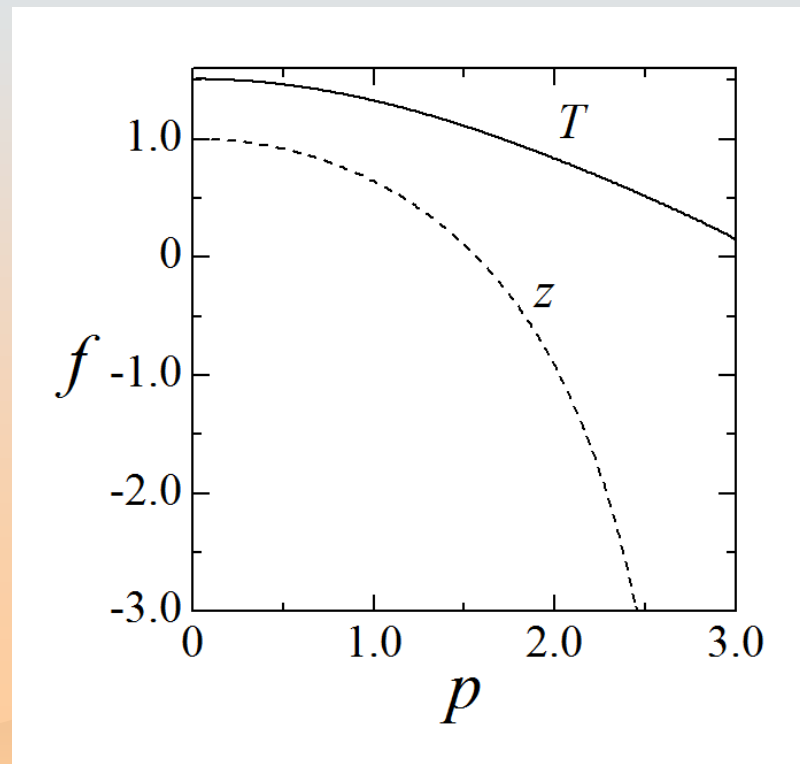
❁ 赤色矮星 (M型MS)

➤ 有効温度3000K



❁ 赤色巨星

➤ 有効温度3000K





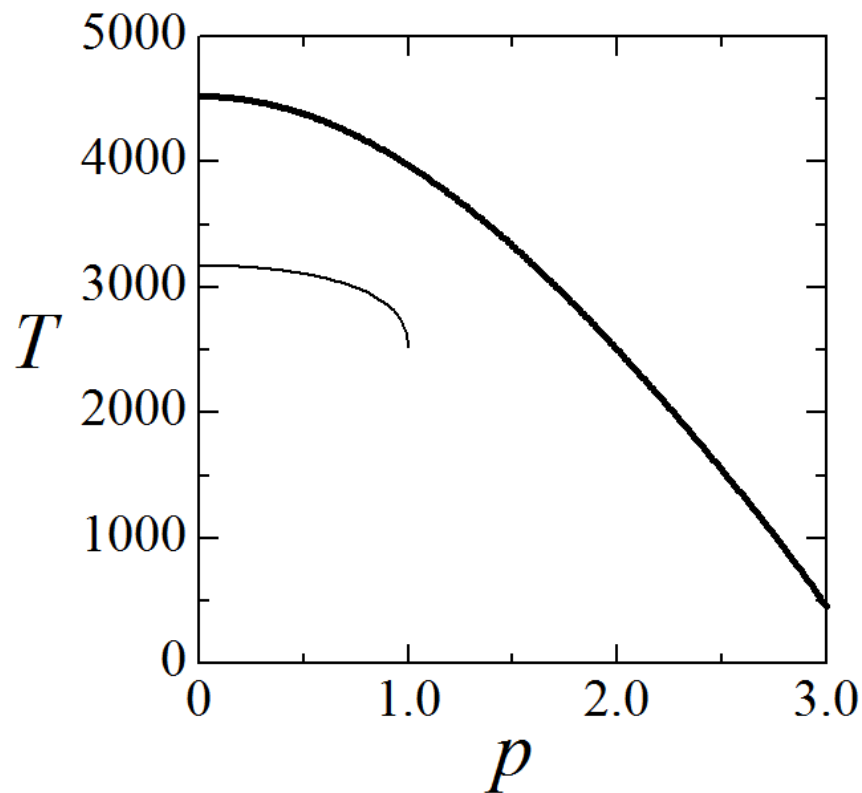
光球面の温度分布

❁ 赤色矮星 (M型MS)

➤ 有効温度3000K

❁ 赤色巨星

➤ 有効温度3000K



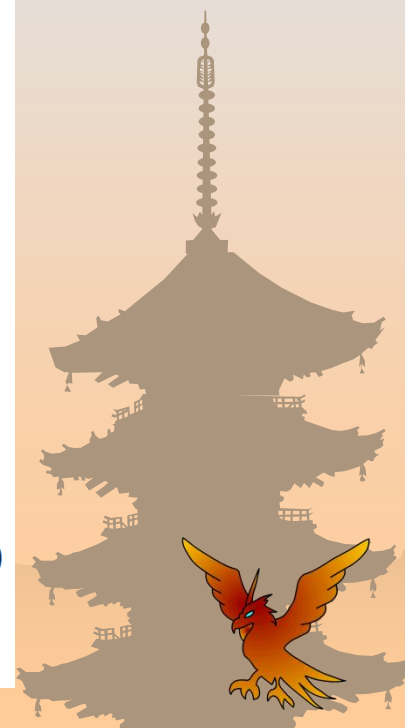
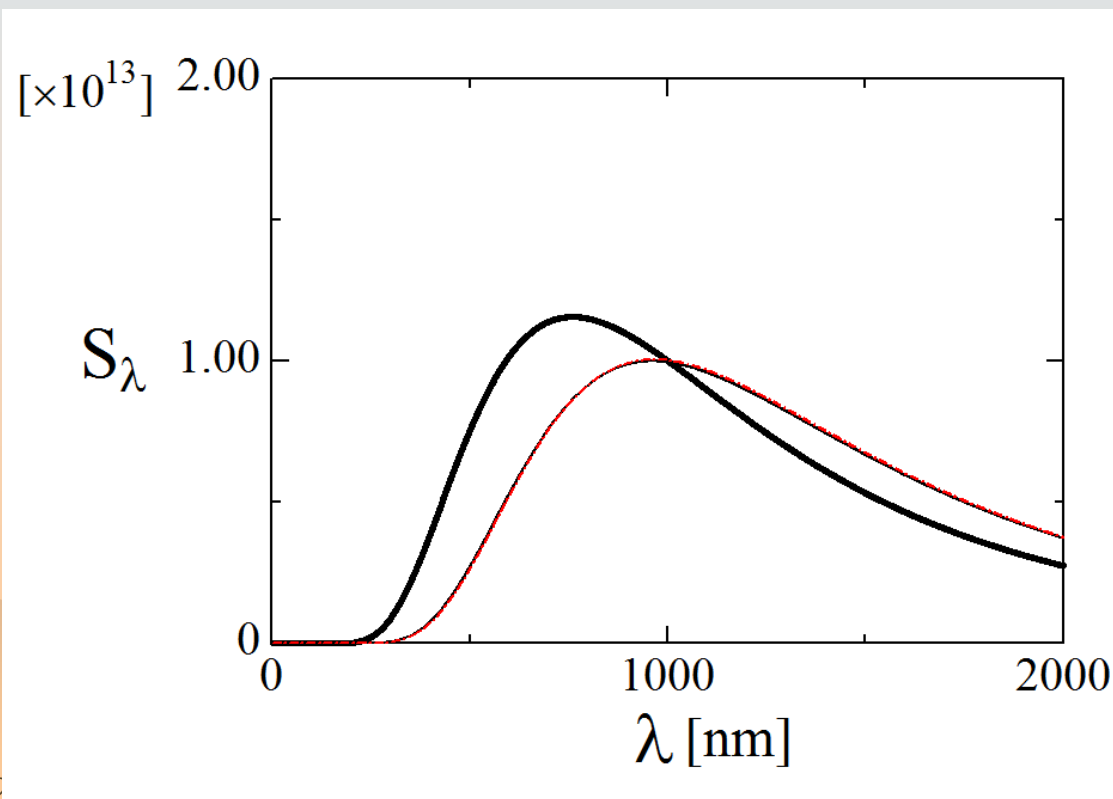


多温度黒体輻射スペクトル

❁ 赤色矮星(M型MS)

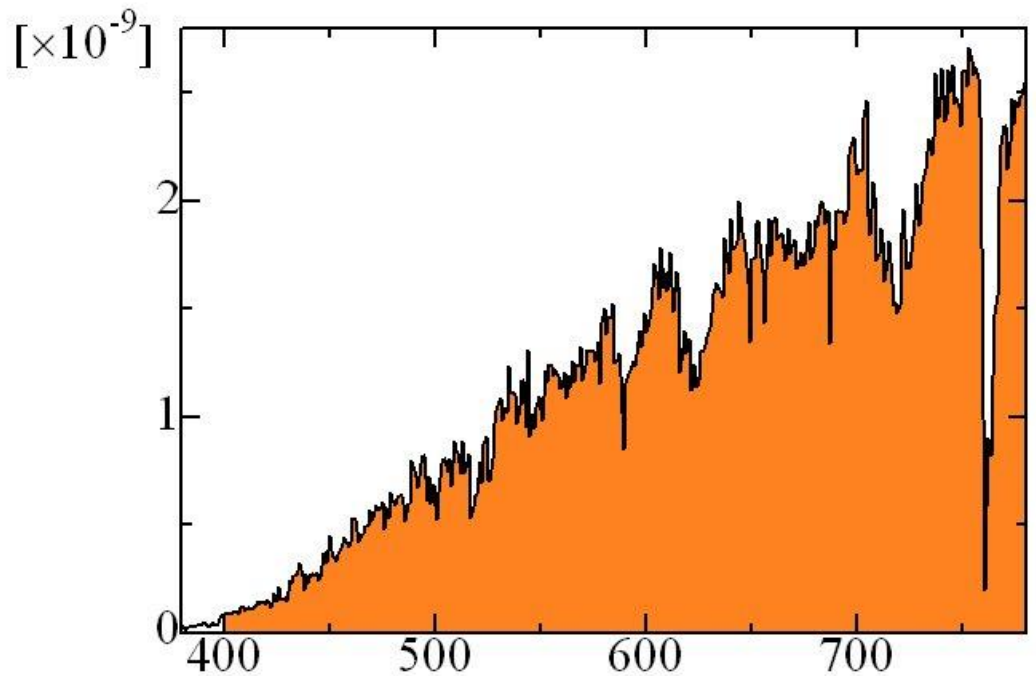
❁ 赤色巨星

❁ 3000Kの黒体輻射



さそり座α星 アンタレス

- α Sco.dat
- 1.0等
- M1.5Iab / 3900K

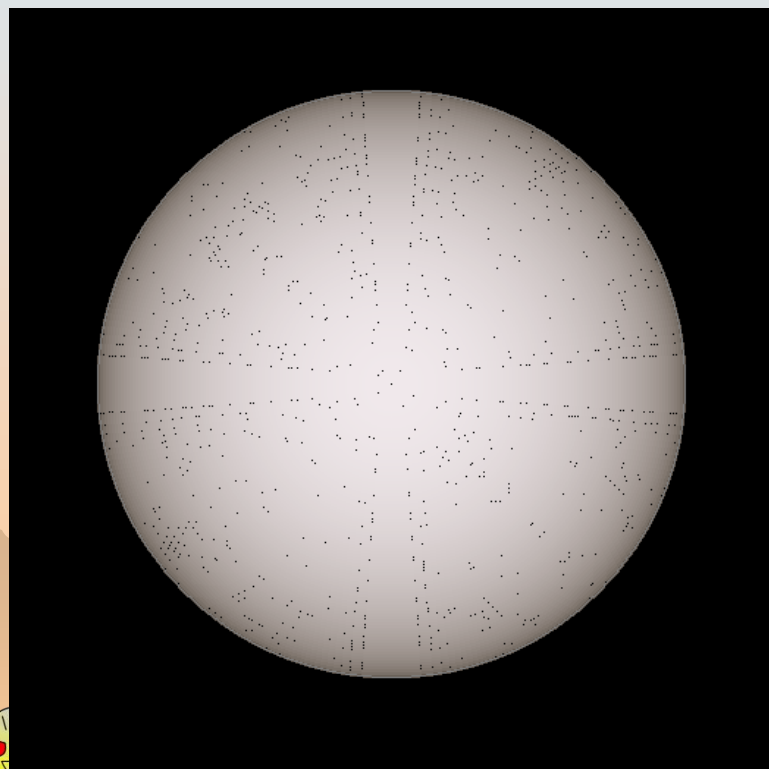




光球面の色分布

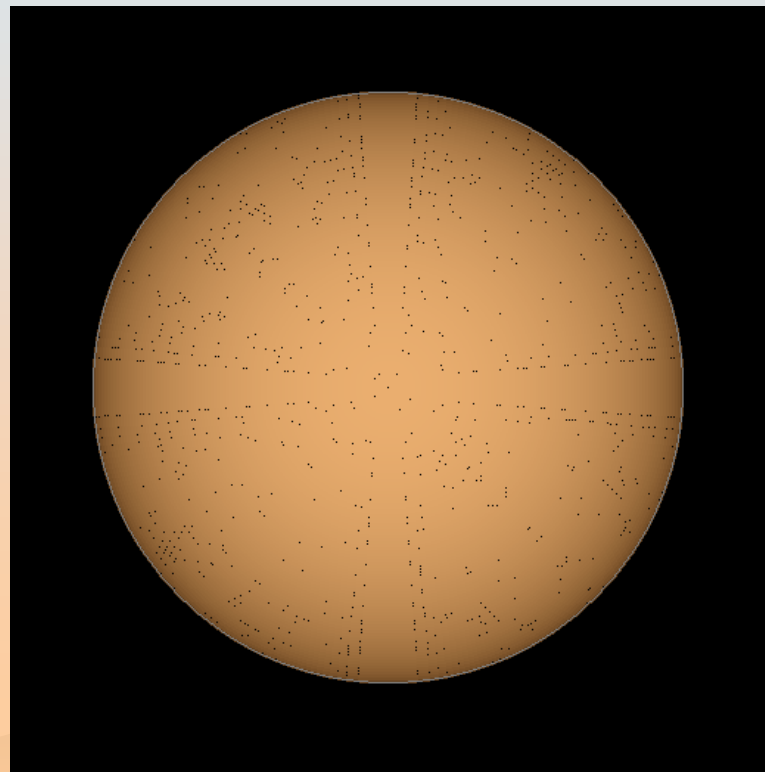
❁ 太陽型矮星 (G型MS)

➤ 有効温度 6000K



❁ 赤色矮星 (M型MS)

➤ 有効温度 3000K



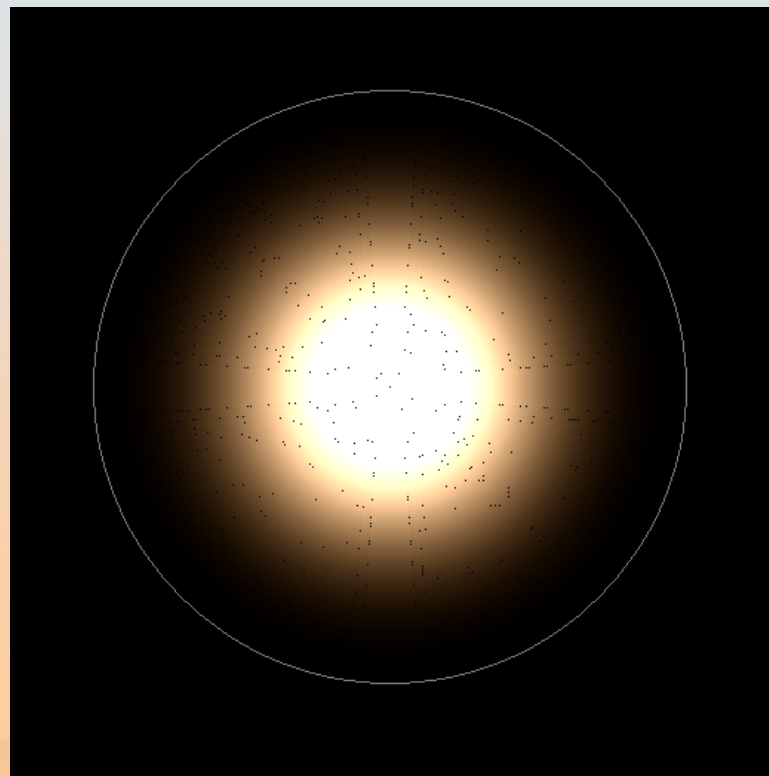


光球面の色分布

- ❁ 赤色巨星(露出低)
- 有効温度3000K



- ❁ 赤色巨星(露出高)
- 有効温度3000K





今後の課題

□ モデルの問題

- ❁ 拡散近似 ($b=8/3$)
 - クラマースの式 ($b=7/2$)
- ❁ 対流: 断熱的
 - ポリトロープ
 - $\gamma=5/3$, $b=3/2$
 - で同じ結果になった

❁ 等温

□ その他の問題

- ❁ 散乱の効果: 塵
- ❁ 吸収係数の波長依存性
- ❁ 系外惑星の“空色”





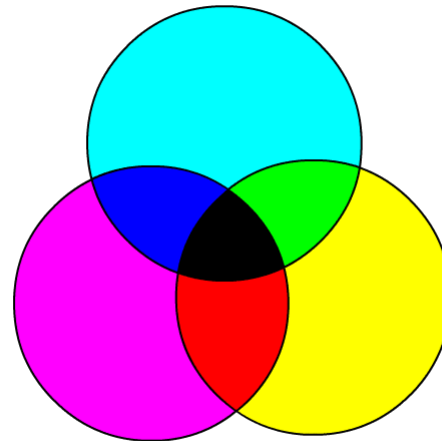
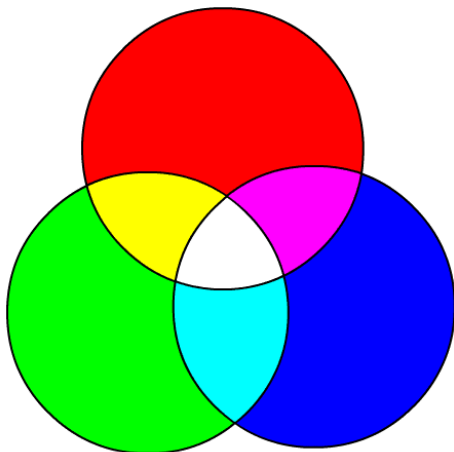
光の3原色と色の3原色

❁ 光の3原色RGB

- 赤 (Red) 700nm
- 緑 (Green) 546.1nm
- 青 (Blue) 435.8nm

❁ 色の3原色CMY

- シアン (Cyan)
- マゼンタ (Magenta)
- 黄色 (Yellow)



2015/9/12

学会2015年秋季

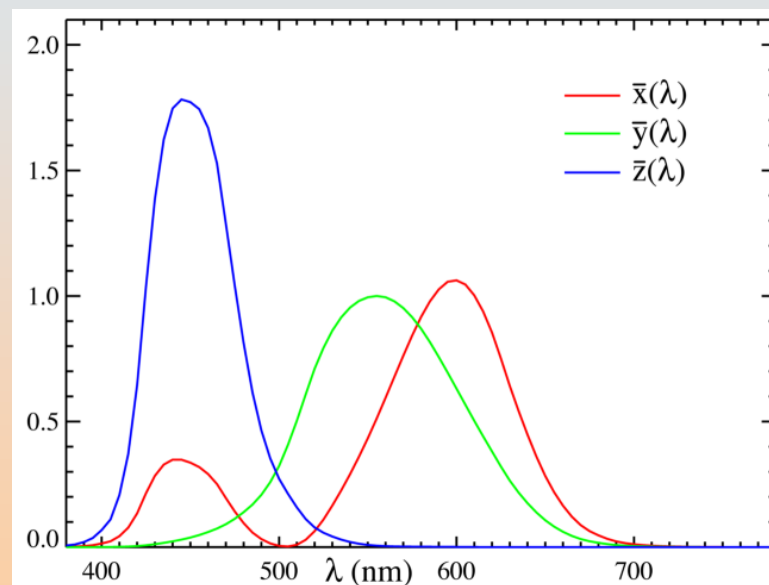
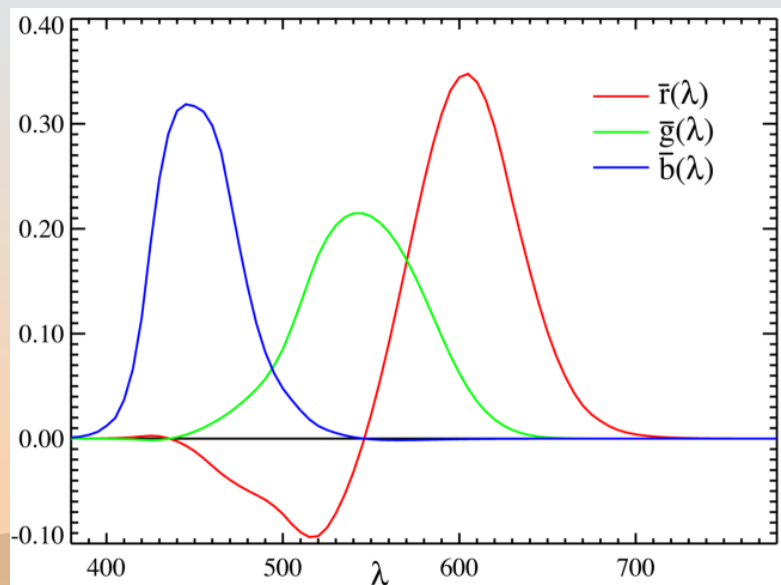




光源色の表現

RGB表色系とXYZ表色系

- RGB表色系の等色関数
- XYZ表色系の等色関数

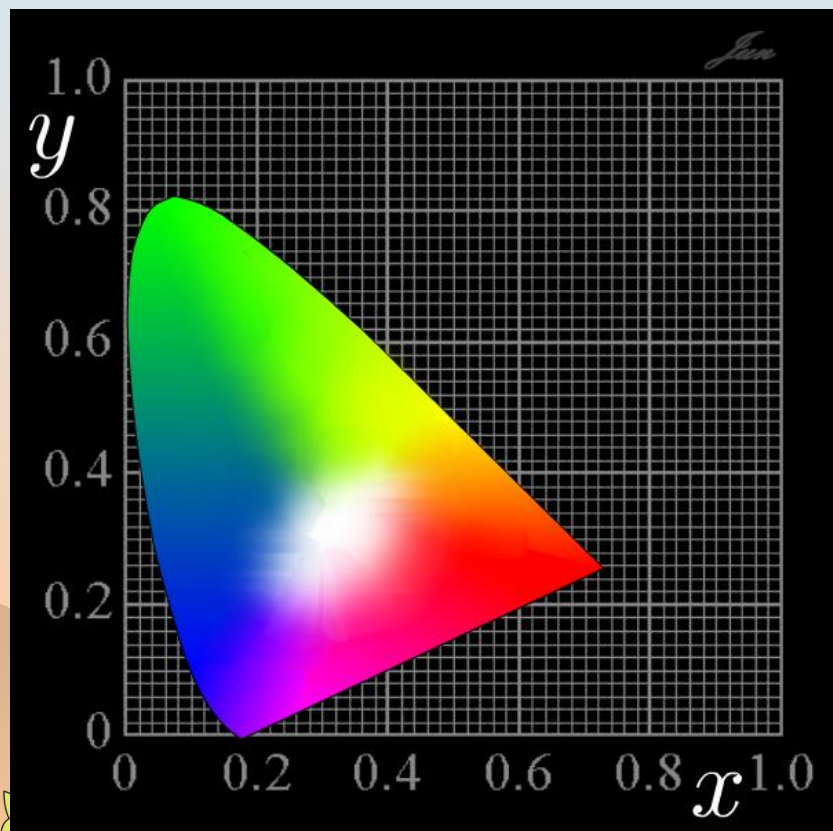




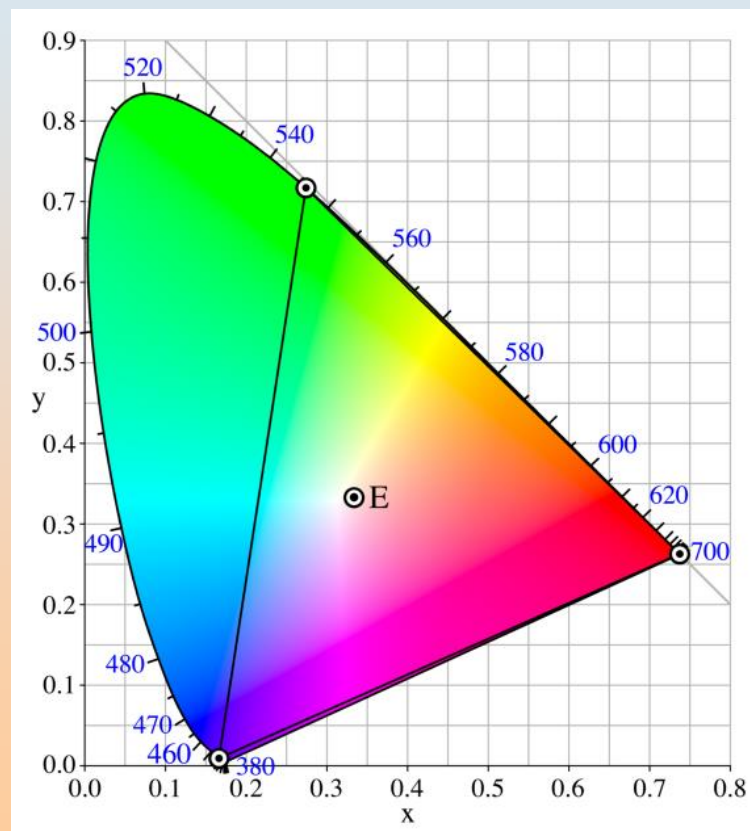
光源色の表現

xy色度図

❁ 真の色の領域



❁ RGB表色系の領域





xy値の算出方法

$$X = k \sum_{\lambda} P_{\lambda} \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda$$

$$Y = k \sum_{\lambda} P_{\lambda} \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda$$

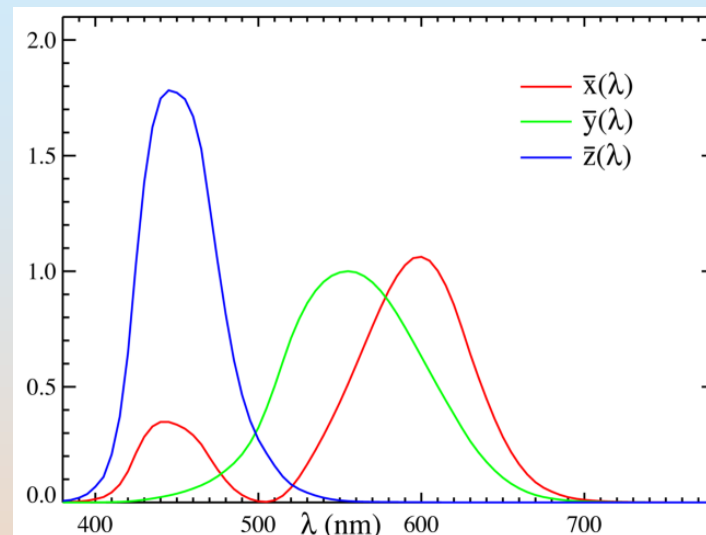
$$Z = k \sum_{\lambda} P_{\lambda} \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda$$

$\bar{x}(\lambda)$:CIEにより定められた等色関数
 P_{λ} : 単位波長あたりの輻射強度
 k :正規化のための定数

$$x = \frac{X}{X + Y + Z}$$

$$y = \frac{Y}{X + Y + Z}$$

$$z = 1 - x - y$$



- ・黒体放射から求めるとき
 B_{λ} の値を P_{λ} に代入

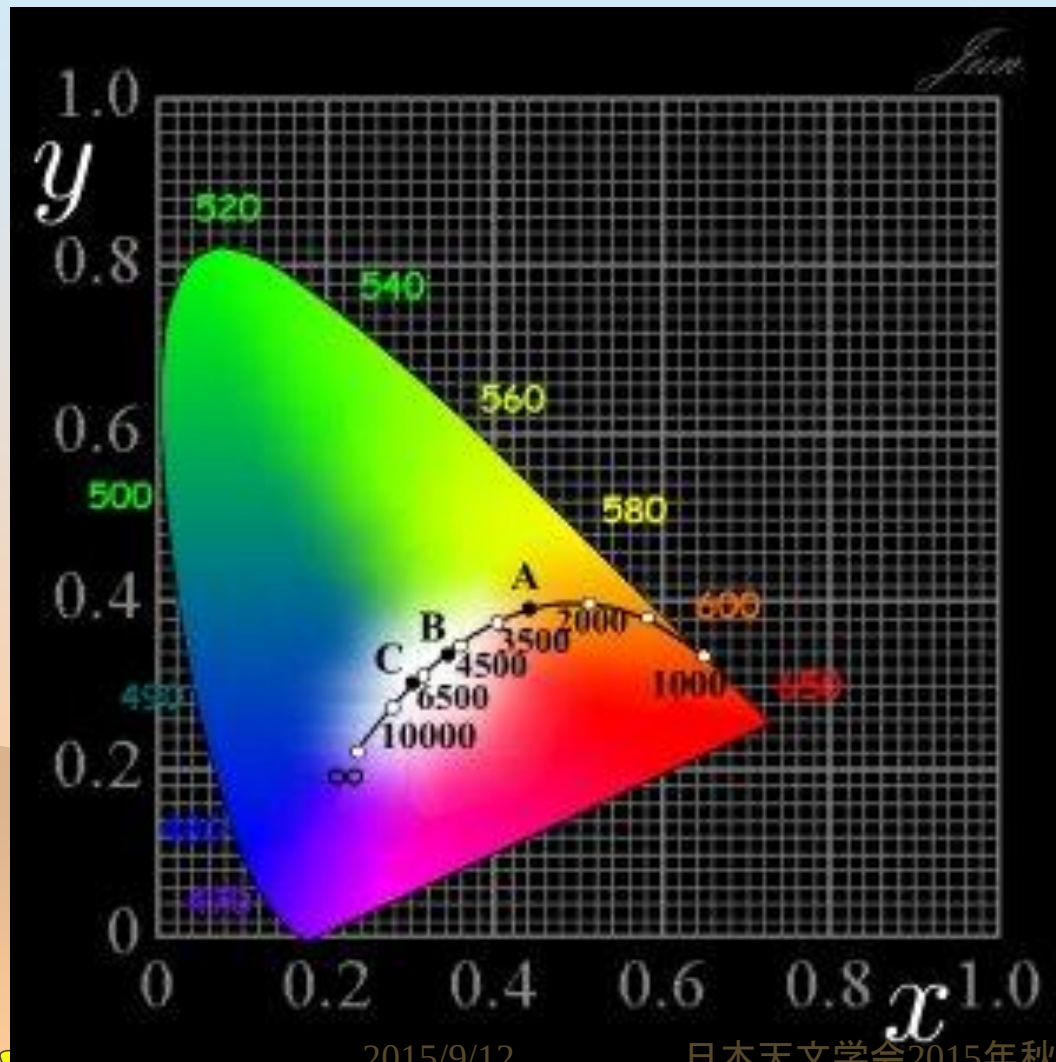
$$B_{\lambda}(T)d\lambda = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

- ・スペクトルデータから求めるとき
波長ごとの強度の値を P_{λ} に代入





黒体放射の xy 色度図



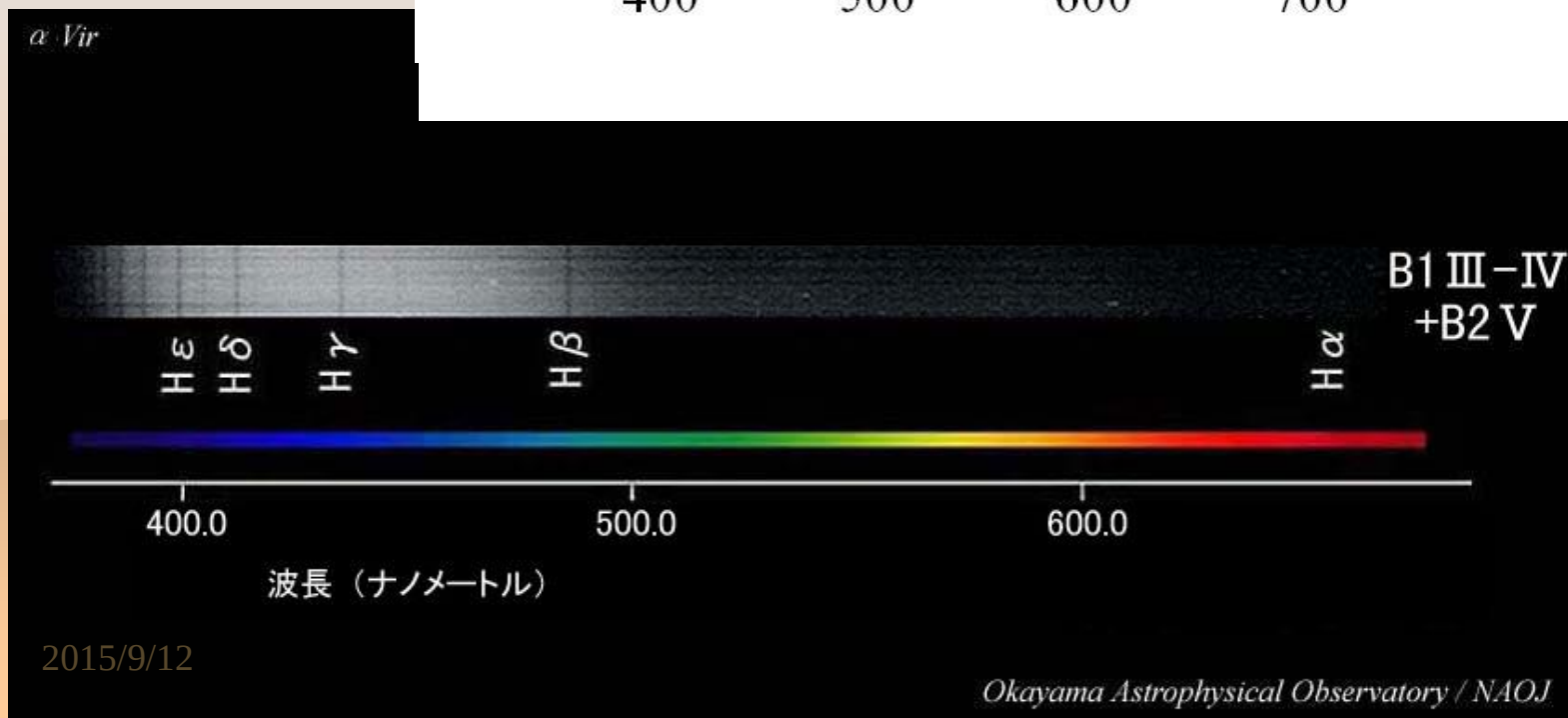
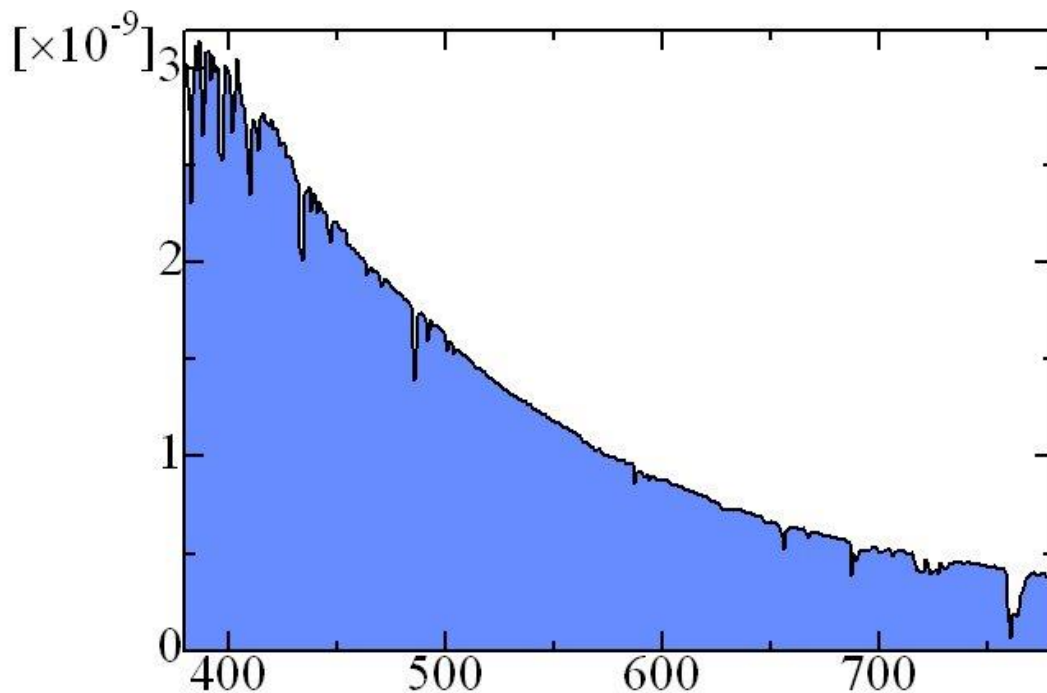
- カーブがスペクトル軌跡
 - 色温度軌跡
- 黒体放射の温度で決まる
6500°Cで白を表す





おとめ座 α 星 スピカ

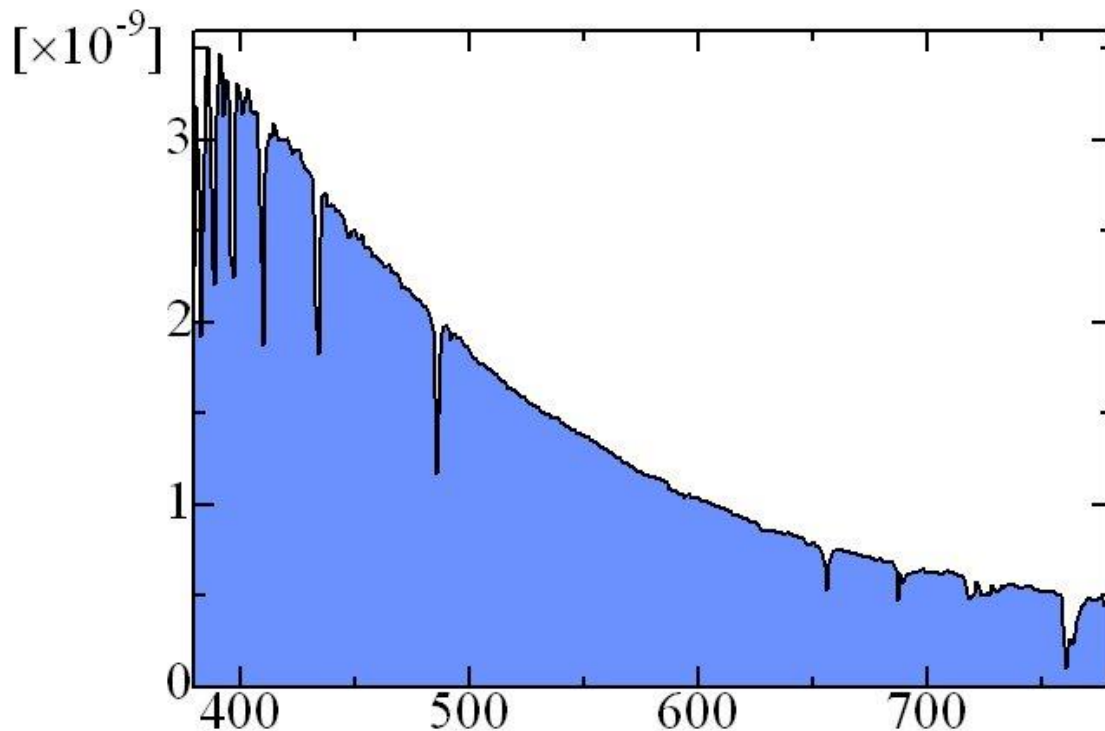
- ❁ alphaVir.dat
- ❁ 1.0等
- ❁ B1III／29000K



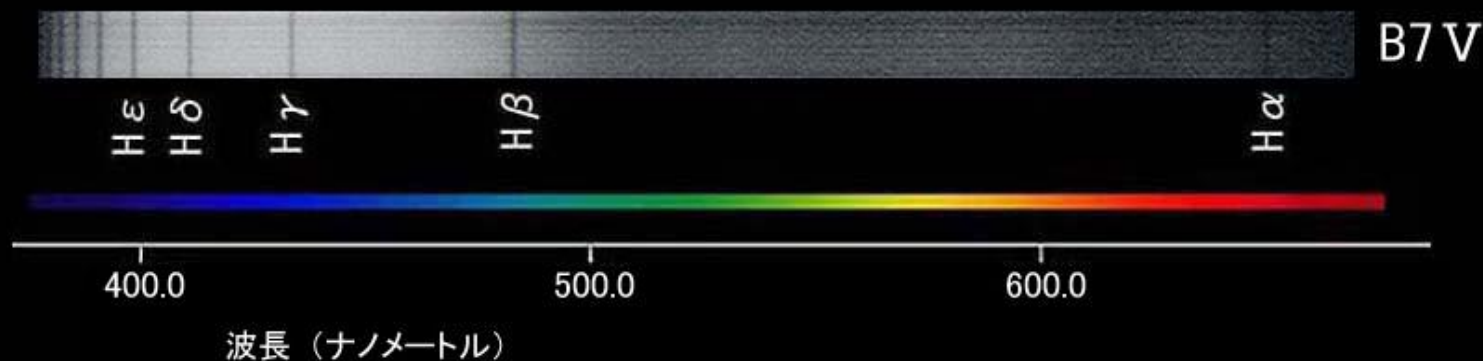


しし座α星 レグルス

- ✿ alphaLeo.dat
- ✿ 1.3等
- ✿ B7V／15000K



α Leo



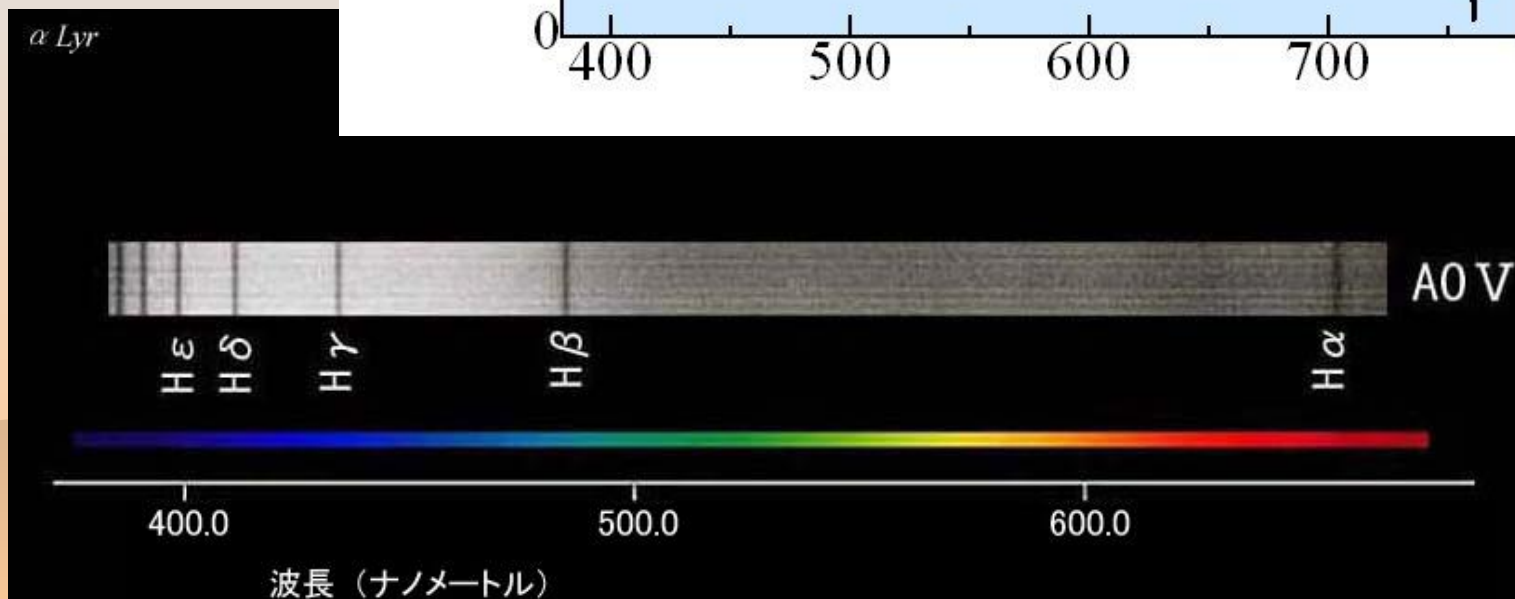
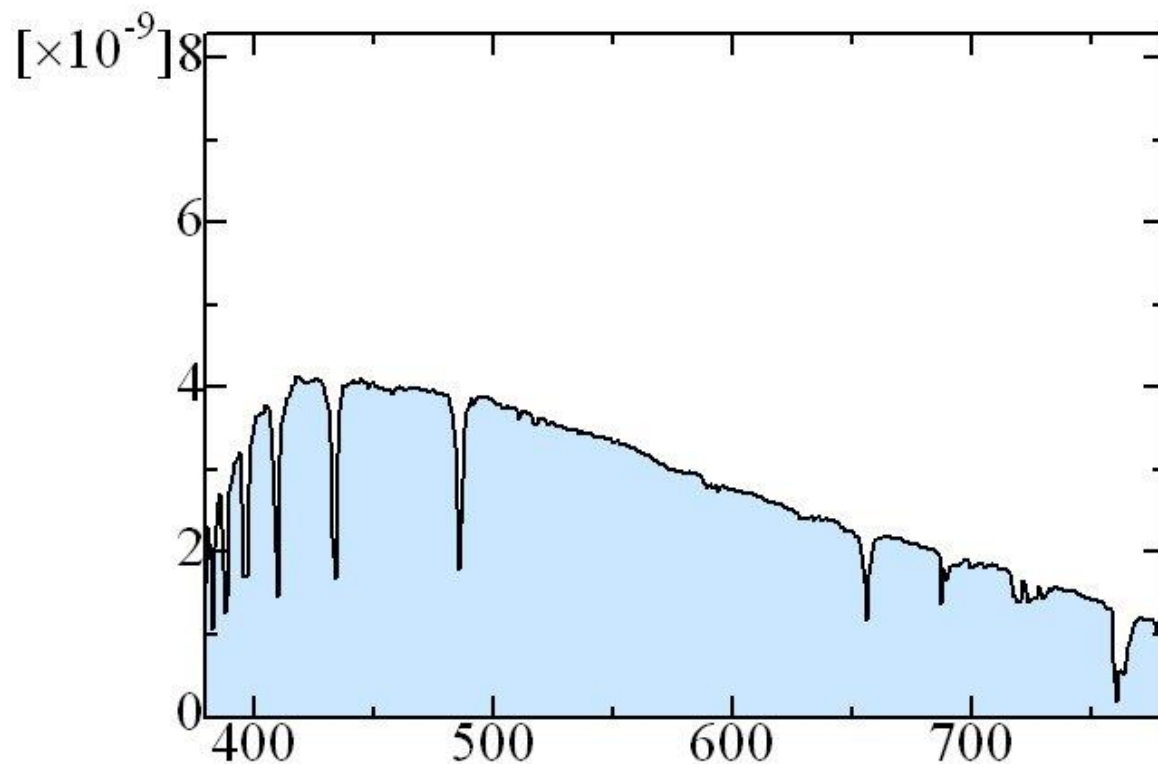
2015/9/12





こと座 α 星 ベガ

- ✿ alphaLyr.dat
- ✿ 0.0等
- ✿ A0V / 9600K



2015/9/12

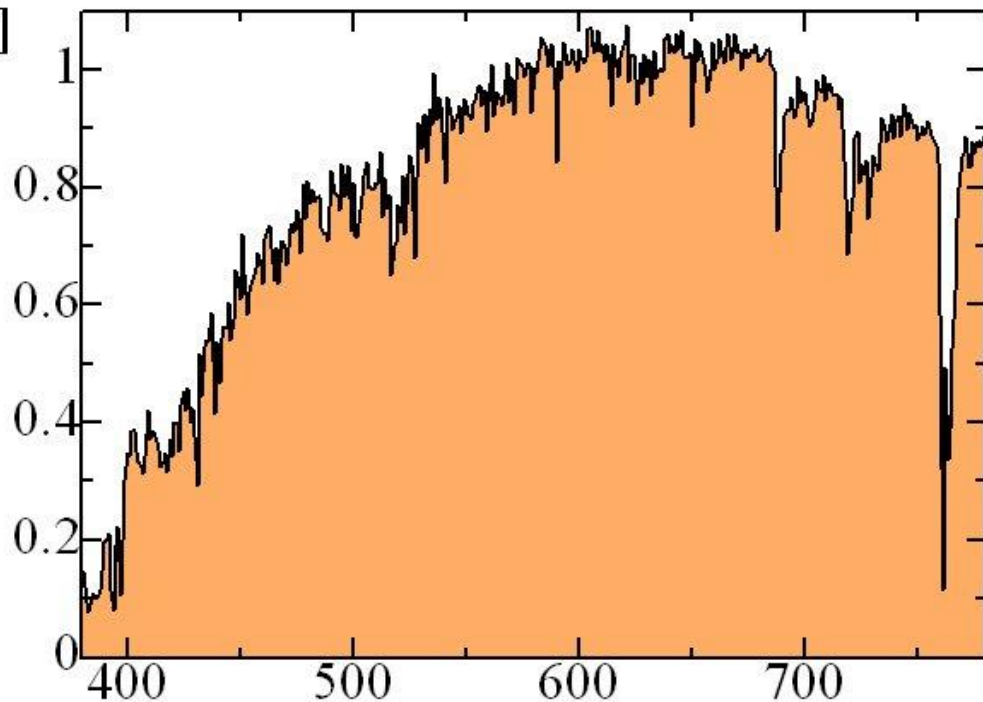




ふたご座β星 ポルックス

- betaGem.dat
- 1.1等
- K0IIIb / 5300K

$[\times 10^{-9}]$



β Gem

Ca I
422.7

Na I D

K0 III b

400.0

500.0

600.0

波長 (ナノメートル)

2015/9/12

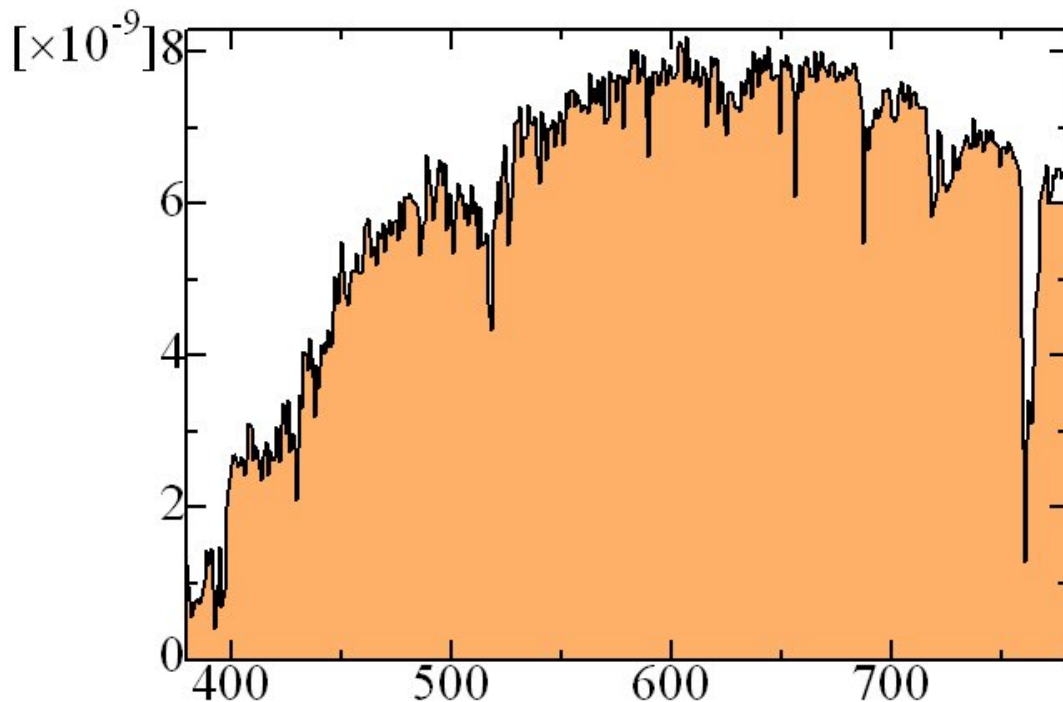
Okayama Astrophysical Observatory / NAOJ





うしかい座 α 星 アークトルス

- ✿ alphaBoo.dat
- ✿ 0.0等
- ✿ K1IIIb / 5300K



α Boo

Ca I
422.7

Na

K1 IIIb

400.0

500.0

600.0

波長 (ナノメートル)

2015/9/12

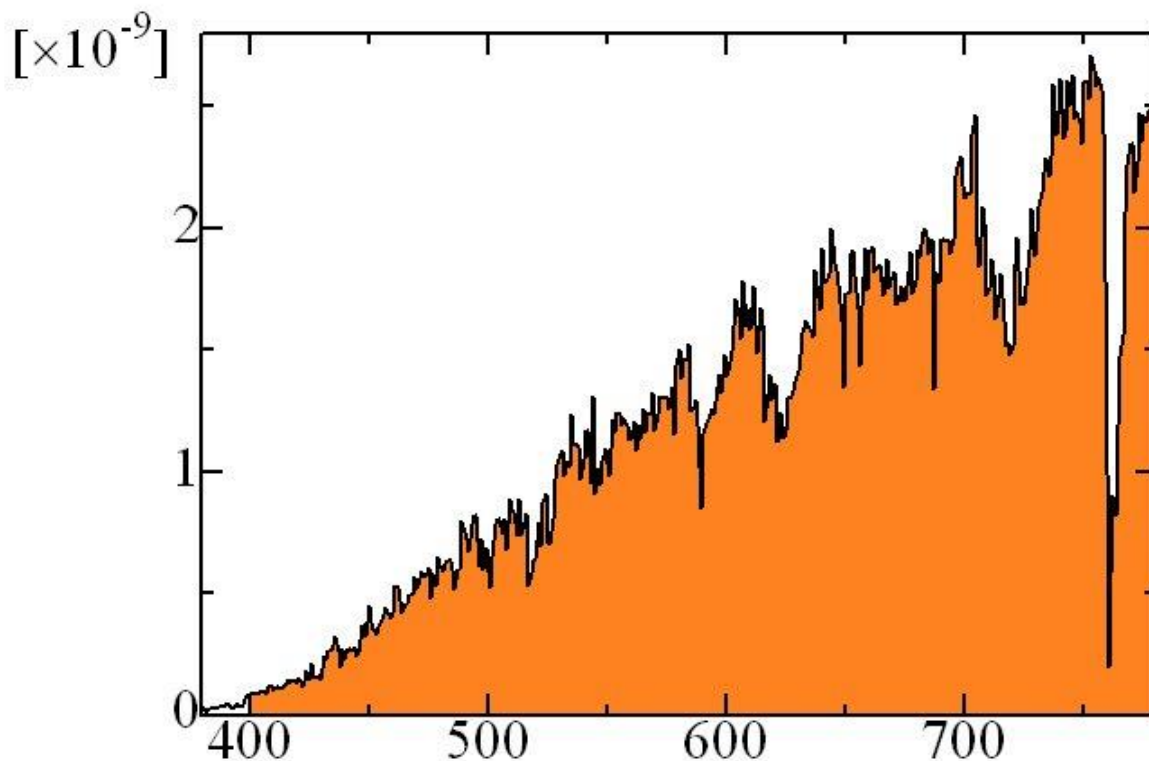
Okayama Astrophysical Observatory / NAOJ





さそり座 α 星 アンタレス

- ✿ alphaSco.dat
- ✿ 1.0等
- ✿ M1.5Iab／390

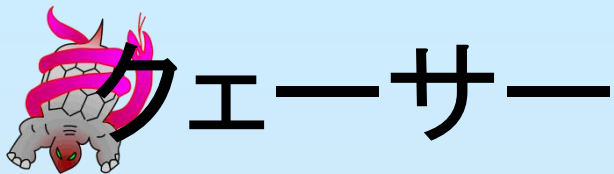


2015/9/12

日本天文



© Don Dixon 1997

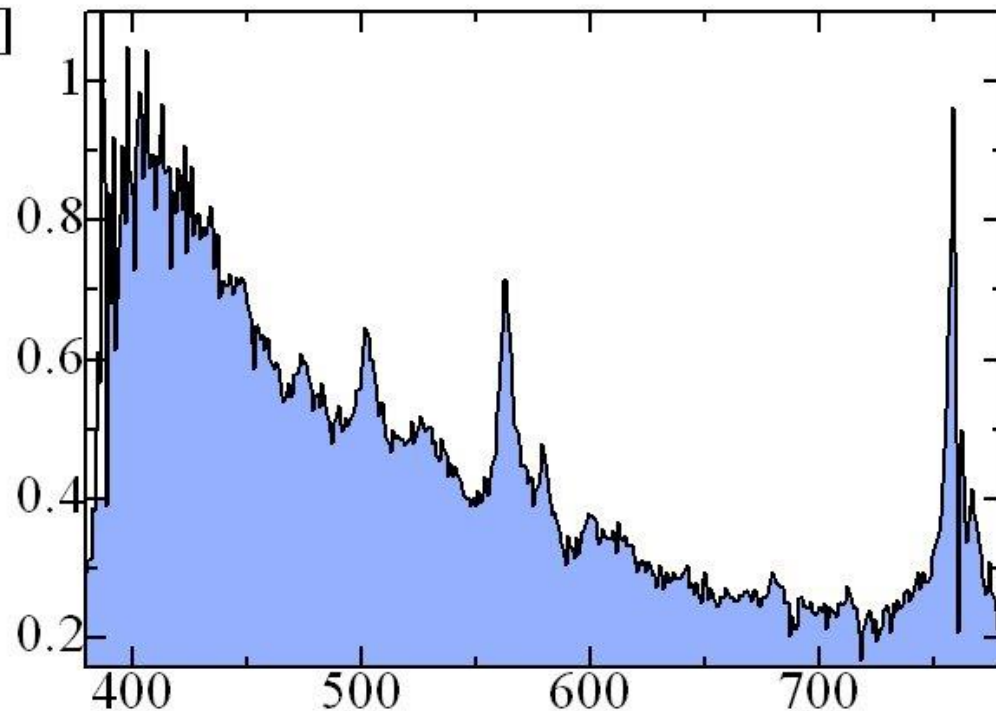


3C273

3C273.dat

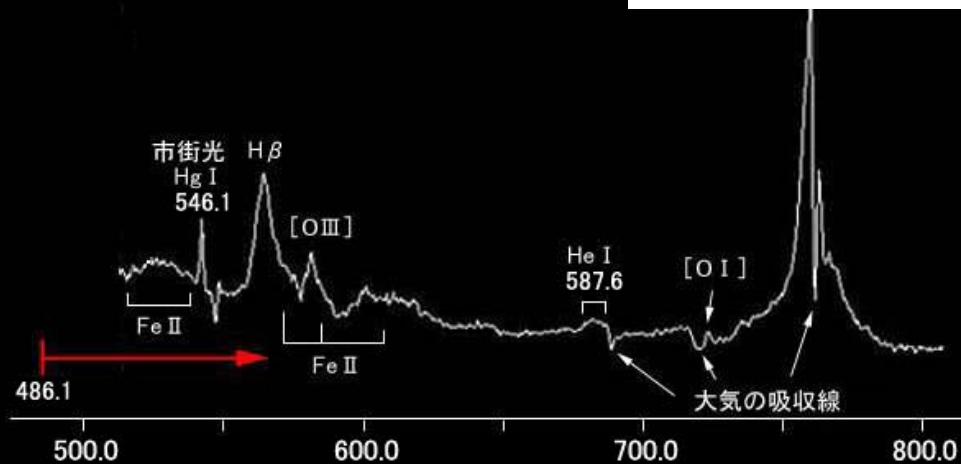
13等

$[\times 10^{-13}]$



QSO 3C273

656.3



波長 (ナノメートル)

188cm Cassegrain Spectrograph

2015/9/12

T.T.Takeuchi, T.T.Ishii / Kyoto Univ.
Okayama Astrophysical Observatory / NAOJ

研究会

