

# 太陽定数の計測

2012 年度卒業論文

明星大学理工学部物理学科

天文学研究室

08S - 1001

安達 正貴

## 目的

太陽の放射エネルギーを計測して、太陽の HR 図を作成すること。また観測データで得た全放射エネルギー  $L$ 、表面温度  $T$  より、表面温度  $T$  の天体が全放射エネルギー  $L$  を放出するのに必要な天体の半径  $R$  を求める。

冬の乾燥した東京で観測される値で、どれだけ公式データに近づくかを検証してみる。

# 1章 理論

太陽のエネルギー

太陽定数

熱量から放射照度を算出

恒星の表面温度

実視等級

絶対等級

HR図

# 太陽のエネルギー

太陽は主に水素を燃料として、中心部で核融合反応を起こしガンマ線の電磁波と熱を発生させる。

太陽は中心から表面に向けて温度が低くなるので、熱エネルギーは外へと流れていく。中心部では 1500 万[K]と推定されていて最終的に太陽表面では約 6000[K]にまで下がる。

電磁波は恒星内部のプラズマによって吸収、放射を繰り返して、中心部で発せられたときのエネルギーよりも弱くなって太陽表面にたどり着く。

太陽の全放射エネルギーは天文年鑑 2013 年度版によると、 $3.85 * 10^{26}$ [W]と言われている。

この数値は光度  $L$  より求められる。

$$L = 4 \pi R_{\odot}^2 * \sigma T_{\odot}^4$$

- $R_{\odot}^2$  . . . 太陽の半径
- $\sigma$  . . . ステファン・ボルツマン定数( $5.67 * 10^{-8}$ )
- $T_{\odot}$  . . . 太陽の表面温度(5792[K])

# 太陽定数（放射照度） $F$ [ $W/m^2$ ]

太陽のように球状エネルギーを拡散させる天体を等方的放射体という。その放射体から距離  $r[m]$ だけ離れた位置にいる観測者が単位時間、単位面積に流れてくる放射エネルギーの量が放射照度といわれ、その恒星が太陽の場合、太陽定数という。

放射照度は距離の2乗に反比例してエネルギーが弱くなる。これは距離が遠くなるにつれて、単位面積に流れ込む光束の量が減り、エネルギーが下がるためである。

地球の大気圏の外側で人工衛星が太陽定数を計測したところ

$$1.38[kW/m^2]$$

この値は地球に侵入する際、

- 30% 大気に反射して宇宙に戻る
- 21% 大気を温める
- 49% 地上、海面を温める

## 熱量から放射照度を算出

今回の観測で太陽の放射照度によって水の上昇温度を計測するため、太陽のエネルギーが水にどれくらいの仕事（熱量）[J]を与えたか。

$$\text{熱量[J]} = \text{質量[g]} \times \text{比熱}\left[\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \Delta T}\right] \times \text{温度変化}[\Delta T]$$

水の比熱表を利用

$$\text{工率 [W]} = \text{[J/s]}$$

太陽のエネルギーによる水の温度の上昇をさせた熱量[J]が単位時間[s]にどれくらい使われたかを表す。

$$\text{放射照度 } F \text{ [W/m}^2\text{]}$$

単位時間、単位面積に流入する恒星の放射エネルギー。

# 恒星の表面温度 $T$ [K]

恒星の表面温度は光度  $L$  より算出される。

光度の算出には以下の2通りで求められる。

- $L = 4 \pi R_{\odot}^2 * \sigma T^4$

- $L = 4 \pi R_{\odot}^2 * F$

ここから  $T$  を求める。

$$T = \sqrt[4]{\frac{R_{\odot}^2 * F}{\sigma * R_{\odot}^2}} \quad [\text{K}]$$

- $R_{\odot}$  = 恒星と地球の距離
- $R_{\odot}$  = 恒星の半径
- $F$  = その恒星の放射照度
- $\sigma$  = ステファン・ボルツマン定数

## 実視等級（みかけの等級）

地上からある恒星を見たときの明るさを表す時に使われる。1等級差が2.52倍であり、5等級差が約100倍とされている。

単位時間、単位面積に降り注ぐ恒星からの電磁波のエネルギー（放射照度）を  $f$  とすると、実視等級は

$$m = -2.5 * \log_{10} \frac{f}{f_c}$$

$f_c$  …… 基準とする恒星 [ $\alpha$  Lyr] の放射照度

### $\log_{10} f_c$ 算出方法

太陽の公式データ実視等級、放射照度を利用

$$-26.74 = -2.5 * \log_{10} \frac{1380}{f_c}$$

$$10.696 = \log_{10} 1380 - \log_{10} f_c$$

$$-7.556 = \log_{10} f_c$$



## 絶対等級 $M$

ある恒星を 10 [pc] の距離に置いたときのみかけの等級である。

実視等級を  $m$ 、恒星と地球の距離を  $d$  [pc] として絶対等級  $M$  は

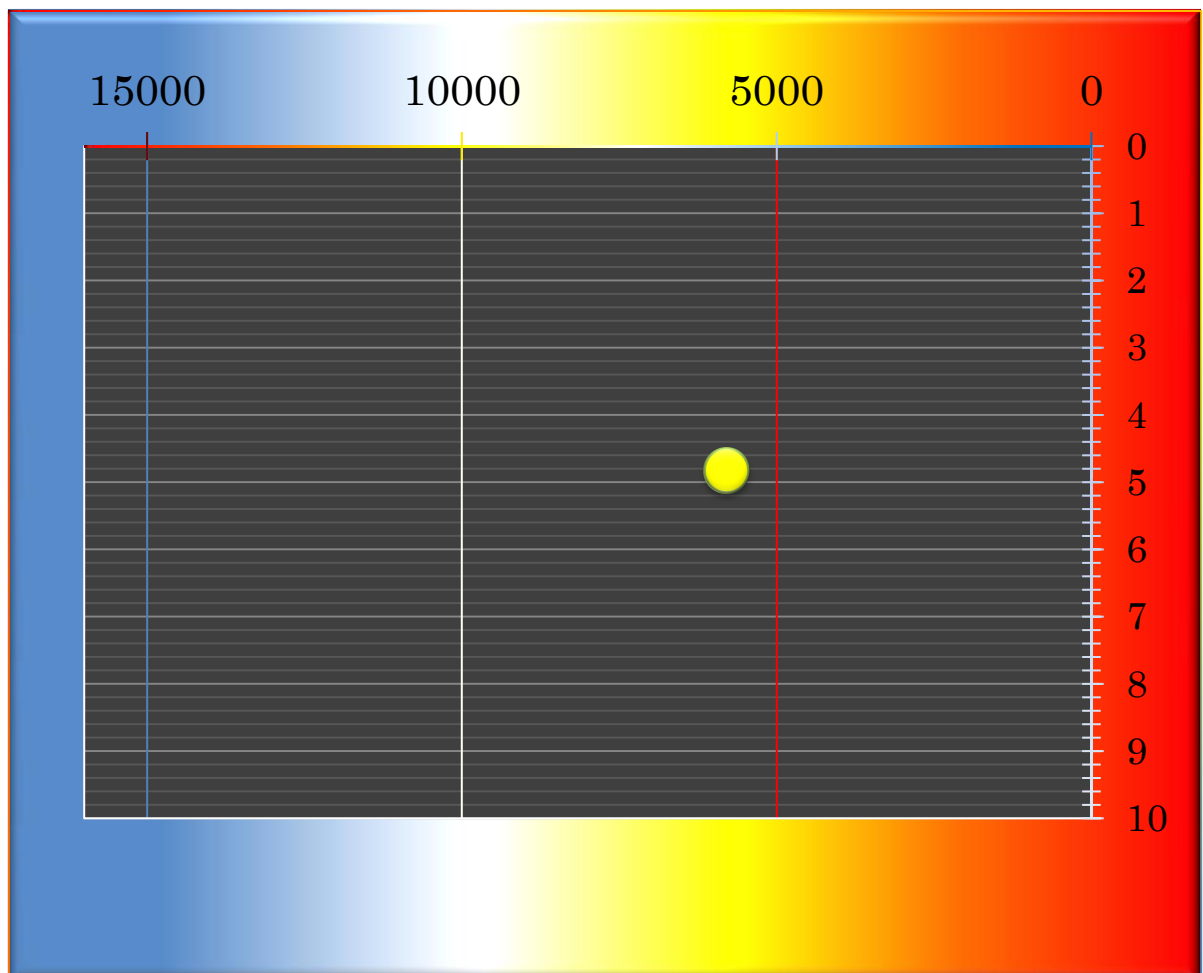
$$M = m - 5 \log_{10} d + 5$$

# HR図

恒星のスペクトル型を横軸に、光度あるいは絶対等級を縦軸にとって、星をプロットした図。スペクトル型は恒星の表面温度を表しており、高温から低温へ向けて、

**O-B-A-F-G-K-M-L-T**

左上から右下にかけて分布している星が主系列星である。



黄色点：太陽

## 2章 観測

### 観測日時・場所

- 2013年1月25日（金）
- 11時35分から12時5分
- 29号館 芝生植栽デッキ

### 使用器具

- デジタル温度計
- シリンダー
- 電子天秤
- 黒いバケツ
- 断熱材（発砲スチロール）
- 水 1000[g]

## 観測方法

太陽のエネルギーによって水 1000[g]が単位時間に上昇する温度変化量を求める。このときバケツ内側に影ができないように注意して、時間ごとに太陽の方向に照準を合わせた。



# 水温の変化

時刻	経過時間(分)	水温(°C)	温度変化(°C)
11時35分	0	20.5	
11時36分	1	20.6	0.1
11時37分	2	20.7	0.1
11時38分	3	20.9	0.2
11時39分	4	20.9	0
11時40分	5	21	0.1
11時41分	6	21	0
11時42分	7	20.9	-0.1
11時43分	8	20.9	0
11時44分	9	21.1	0.2
11時45分	10	21.4	0.3
11時46分	11	21.1	-0.3
11時47分	12	21	-0.1
11時48分	13	21.1	0.1
11時49分	14	21.1	0
11時50分	15	21.1	0
11時51分	16	21.4	0.3
11時52分	17	21.4	0
11時53分	18	21.3	-0.1
11時54分	19	21.4	0.1
11時55分	20	21.6	0.2
11時56分	21	21.5	-0.1
11時57分	22	21.5	0
11時58分	23	21.4	-0.1
11時59分	24	21.6	0.2
12時00分	25	21.7	0.1
12時01分	26	21.8	0.1
12時02分	27	21.9	0.1
12時03分	28	22.1	0.2
12時04分	29	22.3	0.2
12時05分	30	22.4	0.1



最初と最後の温度から最終的に上昇した温度を求める。

### 3章 観測データより値の算出

$$\text{熱量 [J]} = 1000[\text{g}] * 4.181 * 1.9[\text{K}] = 7943.9$$

比熱は水の比熱表を参照

$$\text{工率 [W]} = \frac{7943.9}{30*60} = 4.41$$

30 分間の計測で 1.9[K] 上昇

$$\text{放射照度 [W/m}^2\text{]} = \frac{4.41}{0.01*\pi} = 140.48$$

半径 0.1[m] のバケツの面積が  $0.01\pi$  [m<sup>2</sup>]

この値に反射されて宇宙に跳ね返っている 30% 分も加算すると

$$\mathbf{200.48[\text{W/m}^2]}$$

この値は太陽定数の約 7 分の 1 程度になる

## 全輻射エネルギーL

$$\begin{aligned}L &= 4\pi R_{\odot}^2 * F \quad [W] \\ &= 4 * \pi * (1.496 * 10^{11})^2 * 200.68 \\ &= 5.64 * 10^{25} \\ &5.64 * 10^{25} [W]\end{aligned}$$

## 表面温度 T

$$\begin{aligned}T &= \sqrt[4]{\frac{F * R_{\odot}^2}{R_{\oplus}^2 * \sigma}} \\ &= \sqrt[4]{\frac{200.68 * (1.496 * 10^{11})^2}{(69550000)^2 * (5.67 * 10^{-8})}} \\ &= 3577.27\end{aligned}$$

結果： 3577.27[K]



## 実視等級

$$m = -2.5 \log_{10} f + 2.5 \log_{10} f_c$$

$$f = F = 200.68$$

$$\log_{10} f_c = (-7.556)$$

$$\begin{aligned} m &= -2.5 \log_{10}(200.68) + 2.5(-7.556) \\ &= -24.65 \end{aligned}$$

実視等級 : **-24.65**

## 絶対等級

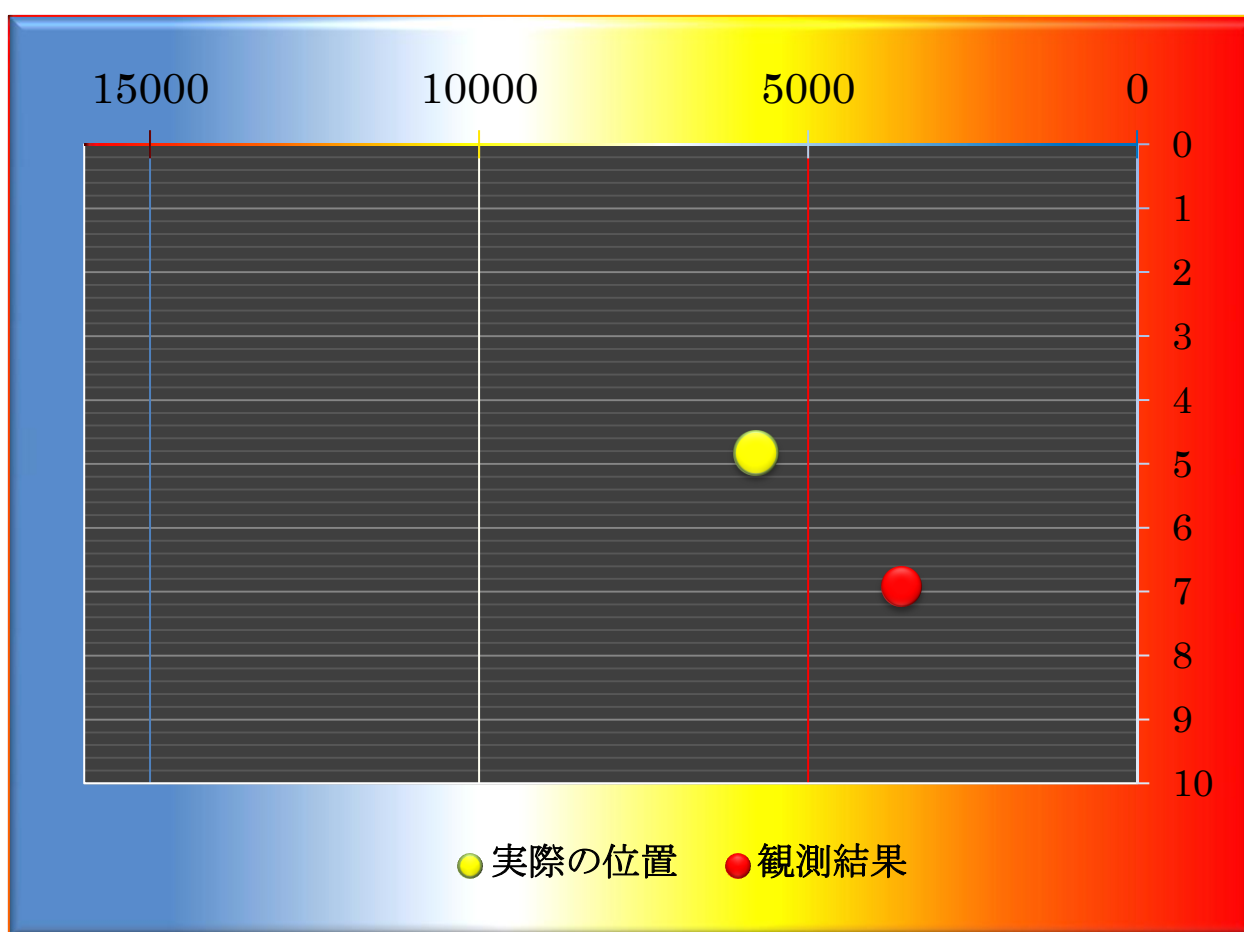
$$M = m - 5 \log_{10} d + 5$$

$$= (-24.65) - 5 \log_{10}(4.86 * 10^{-6}) + 5 = 6.92$$

絶対等級 : **6.92**

## 4章 結果、考察

### HR図



	絶対等級(等)	表面温度(K)
公式データ	4.83	5792
観測結果	6.92	3577.7

## 恒星の半径を求める

表面温度  $T$  の天体が全輻射エネルギー  $L$  を放出するのに  
必要な恒星の半径は

$$L = 4\pi R^2 * \sigma T^4 \quad \text{より}$$

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

$$= \sqrt{\frac{5.64 * 10^{25}}{4\pi * (5.67 * 10^{-8}) * (3577.3)^4}}$$
$$= 695253.983$$

695253.983 [km]

(太陽の 99.96%)

## 考察

冬の季節にこの実験を行い、水温の変化が右斜めになったのは、空気が乾燥しているからであると考えられる。大気中に水分が無い分、光の減衰が起きにくくなるため、地上に光が届きやすくなる。

絶対等級が約2等級も低くなるのは、太陽の軌道が夏至に比べ角度が低くなるから、例えばバケツを太陽の方向に照準を合わせても、光が大気中を通る距離が必然的に長くなり、吸収、反射を起こす。そのため、地上に届くエネルギーが減り、水温が上がりにくくなると放射照度の値が下がり等級が低くなる。

### 参考文献

カラー図解 物理学事典

天文年鑑 2013 年版

Newton 太陽のすべて