



PC天文教材【3】

サイズと質量の算出

作花 一志 (京都情報大学院大学)

1. HR図作成

天文の授業でHR図に出会わないことはまずない。教科書の図を見るだけでなく、自分で実際に星表に基づいて図を描くとなると結構面倒である。なかでもプロットするとき「対数」でつまづくことが多い。ここではスペクトル型、絶対等級に加えて半径も表すHR図を作ってみよう。

多くの資料には星の位置・実視等級・スペクトル型は載っているが、半径や質量など物理諸量は少数例しか載っていない。これらを求めるには距離が必要だが、幸い『理科年表』の「近距離の恒星」、「おもな恒星」には距離d(光年)、見かけの等級mが載っているので、絶対等級Mは容易にもとまる。

$$M = m - 5 \log(d/32.6)$$

このMは可視域(Vバンド)で測られたものだから、全波長にわたる放射エネルギーに変換するには放射補正が必要である。補正後の絶対等級をMb、星の光度L(毎秒放射するエネルギー)、太陽の光度をLoとすると

$$L/L_0 = 10^{-0.4(Mb - M_{b0})}$$

である。ただし Mb0 (=4.8) は太陽の放射絶対等級である。

物体が単位時間・単位面積あたり放射するエネルギーは絶対温度Tの4乗に比例する。これがシュテファン・ボルツマンの法則であるが、実はプランクの公式を波長λで積分して得られる。それに表面積を掛けると光度Lとなる。

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

σはシュテファン・ボルツマンの定数、Rは星の半径である。これを太陽値と比べてRが

求められる。太陽の半径を Ro、表面温度を To とすれば、

$$R/R_0 = (T_0/T)^2 \sqrt{L/L_0}$$

を得る。

『理科年表』によればRo、To、Loの値は、それぞれ 6.960×10⁸m、5780K、3.85×10²⁶Wであるが、温度や放射補正はスペクトル型から推定をするしかないから、内挿して使うこととする。ともあれ、これで星の半径を算出できる。ベテルギウスやアンタレスのサイズがやや小さいのは、赤色超巨星の放射補正が不正確だからだろう。ここまでの計算はExcelで容易にできる。

グラフ描画には散布図ではなく、バブル図を使うことにする。それにはx、y、zの3つのデータ系列が必要だ。まずx軸はスペクトル型で、A0を0.0、A1を0.1というように数値で表す。するとM5は4.5、O7は-1.3となる。y軸は絶対等級の符号を変えておく必要がある。そしてサイズ(z)として、

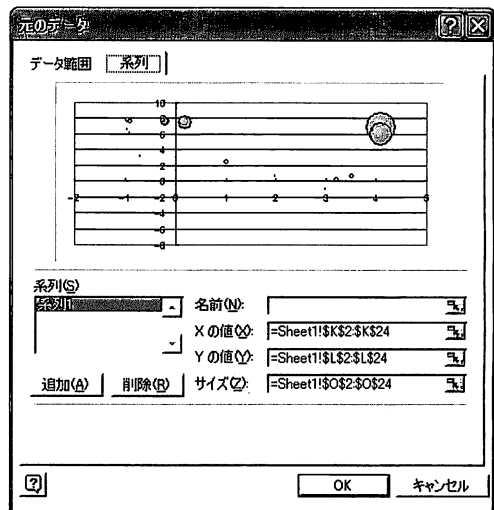


図1 バブル図の描き方

半径を使う(図1)。ただし半径そのものを使うと図が見にくくなるので、ここでは半径の平方根を使って、サイズのバラツキを縮めてある。

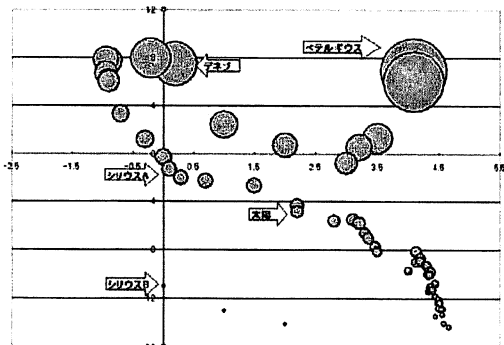


図2 近距離星と1等星についてのHR図

出来上がったのが図2であるが、使ったデータは15光年までの近距離の恒星と1等星だけなので、圧倒的に赤色矮星(右下)が多い。また超巨星の系列は確認できないが、白色矮星はシリウスBなど3個ほど表示されている。

2. 小惑星の質量

9月号に載った「太陽系の10番目の惑星?」という記事[1]を読まれた読者も多いだろう。大型の小惑星はカイパーベルト天体(KBO)の中にたくさん潜んでいるようだ。大型かどうかはサイズだけでなく、質量をも比べてみなければわからないが、なんとか求まらないものか。幸いこの小惑星2003UB313に衛星があるらしい[2]。不確かながら母惑星から地球・月の約10分の1の距離を2週間くらいで公転しているという。衛星の公転周期pと母惑星との平均距離aの関係はケプラーの第3法則により

$$a^3 = GMp^2 / (4\pi^2)$$

ここでMは母惑星と衛星との質量和であるが、母惑星の質量として差し支えない。基準の惑星は地球でもいいが、ここでは冥王星として、その諸量には0をつけた。

$$(M/M_0) = (a/a_0)^3 (p_0/p)^2$$

冥王星・カロンについてはJPL[3]に載っている値を使った。その結果は2003UB313の質量は冥王星の0.8倍、すなわちほぼ同じ値で、ケレスよりは2桁大きい。

衛星を持つ小惑星は現在多数知られており、精度はよくないがaとpのデータも得られている[4]。ここに載っている値を使って同様な手続きより72個の小惑星の質量を求めた。表1はそのうちのビッグ5であり、冥王星の100分の1以上の質量を持つものは2個しかなかった。2003UB313ともうひとつは2003EL61で、これも明るいKBOである[1]。

表1 小惑星の質量

Name	a (km)	p (day)	M/M ₀
Pluto	19640	6.387	1.000
2003 UB313	36000	18	0.775
2003 EL61	49100	49.05	0.265
(82075) 2000 YW134	1900	3	0.004
(79360) 1997 CS29	2300	6	0.002

ここで使う関数は平方根sqrtと常用対数logくらいなもので、Excelの通常の使い方を知っていればできる課題である。数式の苦手な文系学生にも理解されるだろう。むしろデータを揃えたり、結果を説明したりなど教員側の作業が増えることは覚悟しなければならない。

参考文献

- [1] 吉川 真 『天文教育』9月号 p20 2005
- [2] Brown M.E.
<http://www.gps.caltech.edu/~mbrown/planeltila/moon/index.html>
- [3] JPL <http://ssd.jpl.nasa.gov/>
- [4] Johnston W.R.
<http://www.johnstonsarchive.net/astro/astmoontable.html>