

最新の恒星観測データで教材用の HR 図を作る

A H-R Diagram With the HIPPARCOS Satellite Data  
Using “The Generic Mapping Tools.”

岡 本 義 雄

*OKAMOTO Yoshio*

附属天王寺中・高 研究集録 第 51 集（平成 20 年度）別刷

平成 21 年 3 月 発行

Bulletin of the Tennoji Junior & Senior High School

Attached to Osaka Kyoiku University

No.51 (March,2009)

大阪教育大学附属天王寺中学校  
大阪教育大学附属高等学校天王寺校舎

# 最新の恒星観測データで教材用の HR 図を作る

おかもとよしお  
岡本義雄

抄録：HR 図は高校地学の天文分野において、もっとも基本的でかつ重要な図である。しかし教科書等では出所のあまり明らかな図がよく用いられている。そこで、インターネット上に公開されている恒星位置観測衛星 (HIPPARCOS) のデータで作成された最新の恒星カタログを描画用のデータとして用い、図作成ツールとしては同じくインターネット上で無料公開されている GMT (Generic Mapping Tools, Wessel ほか 1995) を用いて教材用の HR 図を作成した。この作成過程は他にもネット上で公開されているさまざまなデータを用いた教材作成の際にも大変参考になる。また合わせて恒星の距離観測が年周視差という地味な測定を通じて、宇宙の果てを論じるような最新の宇宙論にまでつながるといふ「距離の梯子」の概念についても簡単に触れる。

キーワード：HR 図、年周視差、HIPPARCOS 衛星、GMT、距離の梯子

## I. はじめに

ヘルツシュプリング・ラッセル図 (Hertzsprung-Russell diagram) 以下 HR 図と略す) は、高校地学の教科書の天文分野でもっとも基本的な図の一つである。恒星の主系列星、赤色巨星、白色矮星といった基本分類のほか、恒星の生まれてから死ぬまでの波乱に満ちたストーリーがこの図上で描かれる。

しかし現在、教科書上で見られる HR 図はそのデータの出所などが明らかなものが多い。データに基づいて考え、議論するという科学の原則を大事にしだした、最近の科学教育の傾向から言っても、これは残念なことだと言える。そこで本稿では、出所が明らかな誰でも入手可能な恒星データを用いて、この HR 図を高校地学の天文教材として作成することを試みる。また作成に必要なソフトウェアもすべてネット上 (インターネット上の資源のことを以後こう言い表す) で得ることとする。なお、本稿の作業のような、ネット上に数多く公開されている、専門家の観測の 1 次データより加工して教材を作成する技術は他の分野、例えば地震や気候のデータなどでも、共通点が多く含まれるので、今後の参考とするためにやや細かい点までも詳細に記述することにした。最後に関連して天文学の基本である、星の距離測定に関する「距離の梯子」の概念にも触れる。

## II. データと作成ソフトウェア

以下データの出所と使用ソフトウェアを教材作成メモから転載する。――

――上記観点から、ネット上を検索したところ、恒星データとしてもっとも最近公開されて、その信頼度も高いと言われる HIPPARCOS 衛星 (High Precision PARallax Collecting

Satellite, ESA: European Space Agency, 欧州宇宙機関により 1989 年打ち上げ、1993 年観測終了)で観測されたものを見つけた。これは地球大気の外から恒星の年周視差を観測することを目的に打ち上げられた位置観測衛星で、従来の地表での観測に比べて、年周視差の観測精度が 2 桁程度上昇したと言われる。データはヒッパルコス&ティコ星表と名づけられネット上でも公表されている。この件については下記文献に情報がある。さらに

[http://seismology.astron.s.u-tokyo.ac.jp/~shibahashi/lecture\\_note/2008.04.24.pdf](http://seismology.astron.s.u-tokyo.ac.jp/~shibahashi/lecture_note/2008.04.24.pdf)

の欄外に、くだんの星表データが <ftp://dbc.nao.ac.jp/DBC/NASAADC/catalogs/1/1239/> に格納されているとの記述。早速この配下から [hip\\_main.dat.gz](#) をダウンロード&解凍。hip\_main.dat という名のかなり大きなテキストデータとなる。

下記のサイトにもこれに関する細かい記事がある。

<http://prancer.physics.louisville.edu/astro/students/590/HIPPARCOS/HIPPARCOS.html>

The original catalog is called hip\_main.dat. The revised catalog is HIPPARCOS.dat.

と書いてある。またデータの詳細は

<ftp://dbc.nao.ac.jp/DBC/NASAADC/catalogs/1/1239/ReadMe>

にある。

データが用意できたので、次に描画用のソフトウェアを考えるが、ここでは地球科学用地図グラフ作成フリーソフトとして定番の GMT (Generic Mapping Tools, Wessel 他 1988) を使用することにした。このソフトはハワイ大学の Paul Wessel 氏らが 1980 年代末に完成させた無料公開のソフトで、UNIX 上での使用を前提にするが、Windows 版も用意されている。基本的にコマンドベースの命令群で、UNIX 初心者には使いづらいが、慣れると論文などで使用可能な、高精度の地図やグラフなどを自由に描くことができる。また世界の詳細な海岸線や国境、河川など地図描画に必要なデータも同梱されているため地球科学の研究では必携のツールである。ソフト本体は Hawaii 大学のサイトからダウンロードして使用することになる。インストールやその後の使用方法については、ネット上に多くの指南サイトがあるのでそちらにゆずる。

### Ⅲ. データの加工

まず元の巨大なデータを描画用に抽出し、加工することにした。

1) 元データの形式は空白を含むテキストデータで 1 行が 1 恒星の観測データを示す。データ形式は巻末の資料を参照のこと。

2) まず、空白があるとデータ処理に支障をきたすので、このデータ内の空白を「アンダーバー」で置換する。そのためには、UNIX 上の基本置換コマンドである tr コマンドを下記のように用いる。<註：以下コマンドは太字を用いる>

```
tr ' ' '_' < hip_main.dat> h_m2.txt
```

で空白を「\_」に変更する(下記はそのデータ例、これで 1 行分、つまり 1 個の星のデータとなる)。

```
H|_____1|00.00.00.22|+01_05_20.4|9.10|_H|000.00091185|+01.08901332|_|_3.54|_|_-5.20|_|_-
```



赤経、赤緯を 60 進数から小数に直す。

```
awk '{print $1, $2+$3/60+$4/3600, $5($6+$7/60+$8/3600),$9,$10,$11,$12,$13,$14}'
```

```
h_m4.txt > h_m5.txt
```

やっとならぬ

```
#HID 赤経 赤緯 実視等級 年周視差 SE B-V SE V-I
```

```
1 6.11111e-05 +1.089 9.10 3.54 1.39 0.482 0.025 0.55
```

```
2 0.000252778 -19.4988 9.27 21.90 3.10 0.999 0.002 1.04
```

```
3 0.000333333 +38.8593 6.61 2.81 0.63 -0.019 0.004 0.00
```

```
4 0.000558333 -51.8936 8.06 7.75 0.97 0.370 0.009 0.43
```

```
5 0.000663889 -40.5912 8.55 2.87 1.11 0.902 0.013 0.90
```

```
6 0.00120833 +3.9465 12.31 18.80 4.99 1.336 0.020 1.55
```

という描画用の恒星データが完成。

しかしできれば、精度の高い観測の星のみを選ぶということで、

```
awk '{if (($6/$5 < 0.10) && ($8/$7 < 0.25)) print $1,$2,$3,$4,$5,$6,$7,$8,$9}' h_m5.txt >
```

```
h_m6.txt
```

で恒星の観測精度が距離で 10%、色で 25%未満の観測精度の星が選択できる。これを

h\_m6.txt とする。星の総数 24134 個。(このデータを本稿では HR 図の描画に用いる)

#### IV. データを用いた描画

データが抽出整形できたので、ここからはグラフ描画に GMT のコマンド群を用いる。GMT は Windows によくある 1 つの統合ソフトではなく、複数のプログラムがそれぞれ単独のコマンドとして用意されている。コマンドは地図の図法や範囲、線の種類や色などは、コマンドラインに追加パラメータとして与えていく方式をとる。(下記 psxy の例を参照)

この GMT を HR 図作成に使用する。単独のコマンド処理ではなく、幾つかのコマンドによる処理を連続させたスクリプトを作成することにする。これはスムーズな処理にするために、下記のようなテキストファイルで一連の命令を複数行にわたって記述し、処理を一気にバッチ処理(逐次処理)の形で実行させるもので、コマンドは単独で 1 つ 1 つ処理させても、もちろん結果は同じである

最終的な描画基本シェルスクリプトは以下のとおり 1 行めの `#!/bin/bash` は Linux など普通の bash シェル上でのスクリプトであることを宣言している。またそれ以外の行頭の `#` はその行がコメント行であることを示す

```
#!/bin/bash
```

```
# GMT で HR 図を描くスクリプト
```

```
# by Y.Okamoto 27/March 2008
```

```
# HIPPARCOS data
```

```

# #HID RA[deg] Dec[deg]V[mag]Parallax SE B-V SE V-I
#-----
# 2 0.000252778 -19.4988 9.27 21.90 3.10 0.999 0.002 1.04
# $1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9
export PATH=$PATH:/usr/lib/gmt/bin
awk '{if((($6/$5 < 0.10) && ($8/$7 < 0.25)) print $7,$4-5.0*0.434294482*log(1000/$5)+5.0}'
h_m5.txt | psxy -Jx5.0c/-0.7c -R-0.5/2.0/-6/15 -Sc0.02c -Ba1.0f1.0g1.0> HR2.ps

```

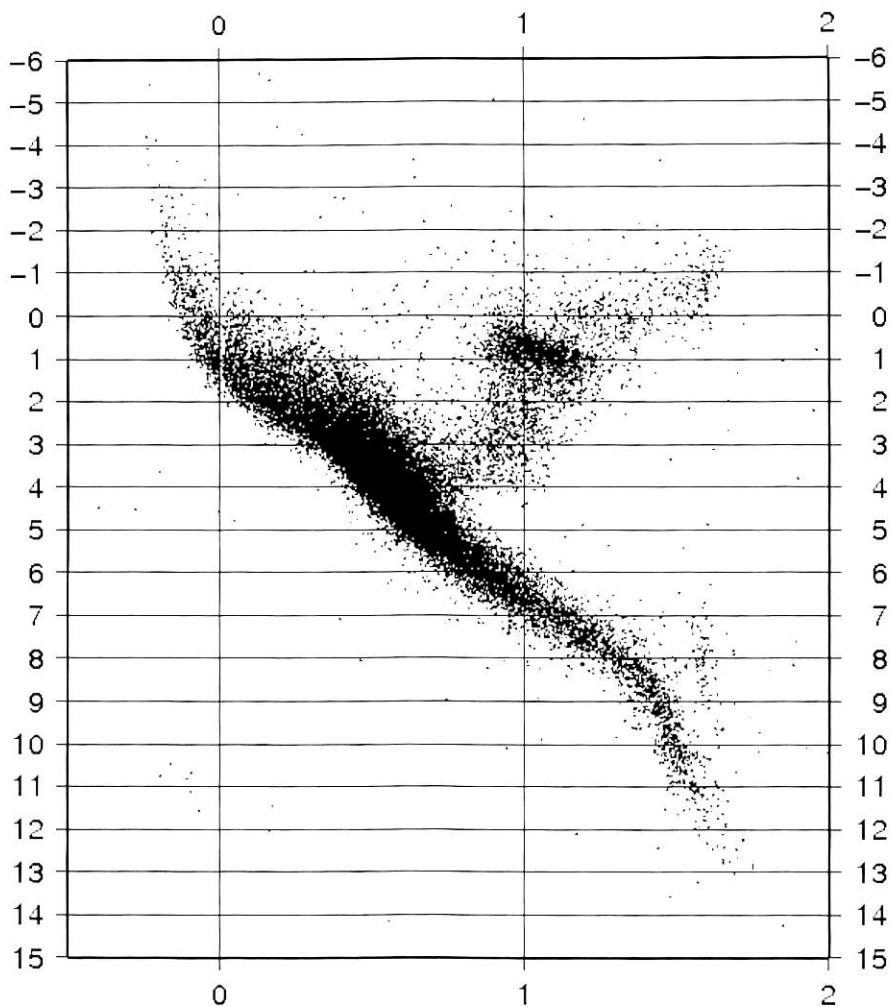
最初の `awk` は任意のデータからある項目をフィルターするコマンド。ここでは色指数 `B-V`（これがスペクトル型の代用）と絶対等級（年周視差は `mas` つまりミリアークセカンドと考えてよい）を抽出。すなわち距離 `d`（パーセク）は  $d = 1/p$  で、絶対等級は  $m - M = 5 \log d - 5$  より  $M = m - 5 \log d + 5$  で計算している、

この量をパイプ処理（`|`）で `psxy` という GMT のグラフ作成コマンドに渡して、星 1 個（つまり元データ 1 行）を描画させている。ここでパイプ処理というのは最初のコマンドで計算した結果を次のコマンドに手渡す処理を示す（下記に処理例）。

```
psxy -Jx5.0c/-0.7c -R-0.5/2.0/-6/15 -Sc0.02c -Ba1.0f1.0g1.0> HR2.ps
```

ここで `-Jx5.0c/-0.7c` は図の範囲、`-R-0.5/2.0/-6/15` はスケールを指定、`-Sc0.02c` は星の描画シンボルを、`-Ba1.0f1.0g1.0` は横軸、縦軸のプロパティを指定。GMT のコマンドが作成する図は基本的に PS（ポストスクリプトファイル）となるが、一般の画像処理ソフトで `jpg` や `gif` などの画像ファイルに簡単に変換できる。

作成した `HR2.ps` を画像ソフトで見ると下記ようになる。横軸はスペクトル型ではなく、`B-V` と用いていることに注意。



## V. 描画の脚色

一応図は書いて、これだけでも、主系列、赤色巨星、白色矮星の違いは明らかであるが、さらにこれを教材として役立つ形に加工する。

プロットの記号の大きさを星の半径で表示するように変えるため、星の半径を諸量より推定する

[http://skyserver.sdss.org/edr/jp/proj/advanced/hr\\_radius1.asp](http://skyserver.sdss.org/edr/jp/proj/advanced/hr_radius1.asp)

より（以下上記サイトの記述を斜字で引用する）

$$R/R_{\odot} = (T_{\text{eff}}/T_{\odot})^2 (L/L_{\odot})^{0.5}$$

ここで

$L/L_{\odot}$  は次の式から求めることができる。

$$m - m_{\odot} = -2.5 \log l + 2.5 \log L_{\odot}$$

だから

$$L/L_s = 10^{0.4\Delta m}$$

$$\text{ここで } \Delta m = m_s - m$$

シリウスを例にとってみる。見かけの等級は-1.44、B-V の値は 0.009、そして視差は 379.21 ミリ秒角で、視差から距離を求めると、

$$d = 1/p = 1/379.21 = 2.63 \text{ パーセクになる。}$$

その絶対等級は

$$M = m - 5 \log d + 5 = -1.44 - 5 \log (2.63) + 5 = 1.46 \text{ となる。}$$

太陽は(B-V)=+0.65 で温度は 5800K である。上の表から、シリウスの温度は約 9500K となる。太陽の絶対等級は 4.83 だから、等級の差は  $\Delta m = 3.37$  となる。以上をまとめると、 $R/R_s = (5800/9500)^2 (10^{0.4 \times 3.37})^{1/2} = 1.76$  となる。

シリウスは太陽のおよそ 1.76 倍の半径を持っている！

あとは、B-V より表面温度を求める式

例えば

[http://nomoto.air-nifty.com/blog/2007/06/ubv\\_ccc3.html](http://nomoto.air-nifty.com/blog/2007/06/ubv_ccc3.html)

また

<http://www-kn.sp.u-tokai.ac.jp/~kawachi/class2.html>

<http://www.nao.ac.jp/kimiten/2006/2-spectrum.pdf>

からは

表面温度は近似的に  $B-V = 9000/T - 0.85$  の換算式で与えられる。

$$\text{つまり、} T = 9000 / ((B-V) + 0.85)$$

という関係が出てくる。

次にこうして推定した絶対等級、表面温度 T、光量比 L/Ls、半径比 R/Rs を元データ h\_m6.txt に追加する。まず絶対等級と、T を登録する。

# M T

```
awk '{ print $0,$4-5.0*0.434294482*log(1000/($5)+5.0,9000/($7+0.85)}' h_m6.txt > h_m8.txt
```

ところが、時々、年周視差がマイナスのため絶対等級が nan になる行があるのに気づく。これをはじく。

```
awk '{ if ($10 != "nan") print $0 }' h_m8.txt > h_m9.txt
```

```
#III) 赤経 赤緯 実視等級 年周視差 SE B-V SE V-I M T
7 0.00150278 +20.0366 9.64 17.74 1.30 0.740 0.020 0.79 5.88177 5660.38
20 0.00419722 +23.5293 8.51 10.76 1.06 0.516 0.015 0.59 3.66906 6588.58
23 0.00496111 +13.3122 7.57 12.21 0.95 0.456 0.015 0.53 3.00358 6891.27
25 0.00529167 -14.2903 6.28 13.74 0.98 0.763 0.003 0.80 1.96993 5579.67
34 0.00663056 +26.9183 6.43 12.71 0.74 0.514 0.005 0.59 1.95073 6598.24
38 0.00740278 -79.0618 8.65 23.84 0.78 0.778 0.015 0.81 5.53653 5528.26
43 0.00860556 +59.5597 6.18 7.63 0.60 1.032 0.005 1.00 0.592623 4782.15
47 0.00901389 -56.8353 10.78 24.45 1.97 1.150 0.020 1.25 7.72139 4500
$1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9 $10 $11
```

最後に L/Ls、R/Rs を追加



```
awk '{ print $0,10^(((4.83-$10)*0.4),(5800/$11)*(5800/$11)*sqrt(10^(((4.83-$10)*0.4)))}'
h_m9.txt > h_m10.txt
#HID 赤経 赤緯 実視等級 年周視差 SE B-V SE V-I 絶対等級 表面温度 L/Ls
R/Rs
#$1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13
7 0.00150278 +20.0366 9.64 17.74 1.30 0.740 0.020 0.79 5.88477 5660.38 0.378523 0.645968
20 0.00419722 +23.5293 8.51 10.76 1.06 0.516 0.015 0.59 3.66906 6588.58 2.91324 1.3227
23 0.00496111 +13.3122 7.57 12.21 0.95 0.456 0.015 0.53 3.00358 6891.27 5.37735 1.64264
25 0.00529167 -44.2903 6.28 13.74 0.98 0.763 0.003 0.80 1.96993 5579.67 13.9325 4.03323
34 0.00663056 +26.9183 6.43 12.71 0.74 0.514 0.005 0.59 1.95073 6598.24 14.181 2.90974
38 0.00740278 -79.0618 8.65 23.84 0.78 0.778 0.015 0.81 5.53653 5528.26 0.521661 0.795011
43 0.00860556 +59.5597 6.18 7.63 0.60 1.032 0.005 1.00 0.592623 4782.15 49.5394 10.3534
47 0.00901389 -56.8353 10.78 24.45 1.97 1.150 0.020 1.25 7.72139 4500 0.0697339 0.438685
```

これで、20632 個の恒星のカタログの出来上がり。h\_m10.txt が完成版これを Hip\_catalog.dat と命名。

次に星の大きさ変更&色付けバージョン  
震源と同じように3つ目の項に大きさ(半径)を定義させる

```
awk '{ print $7,$10,$13}' h_m10.txt > h_m11.txt
```

としてもよいし、これをパイプで psxy に渡してもよいが以下のスクリプトファイルとした。

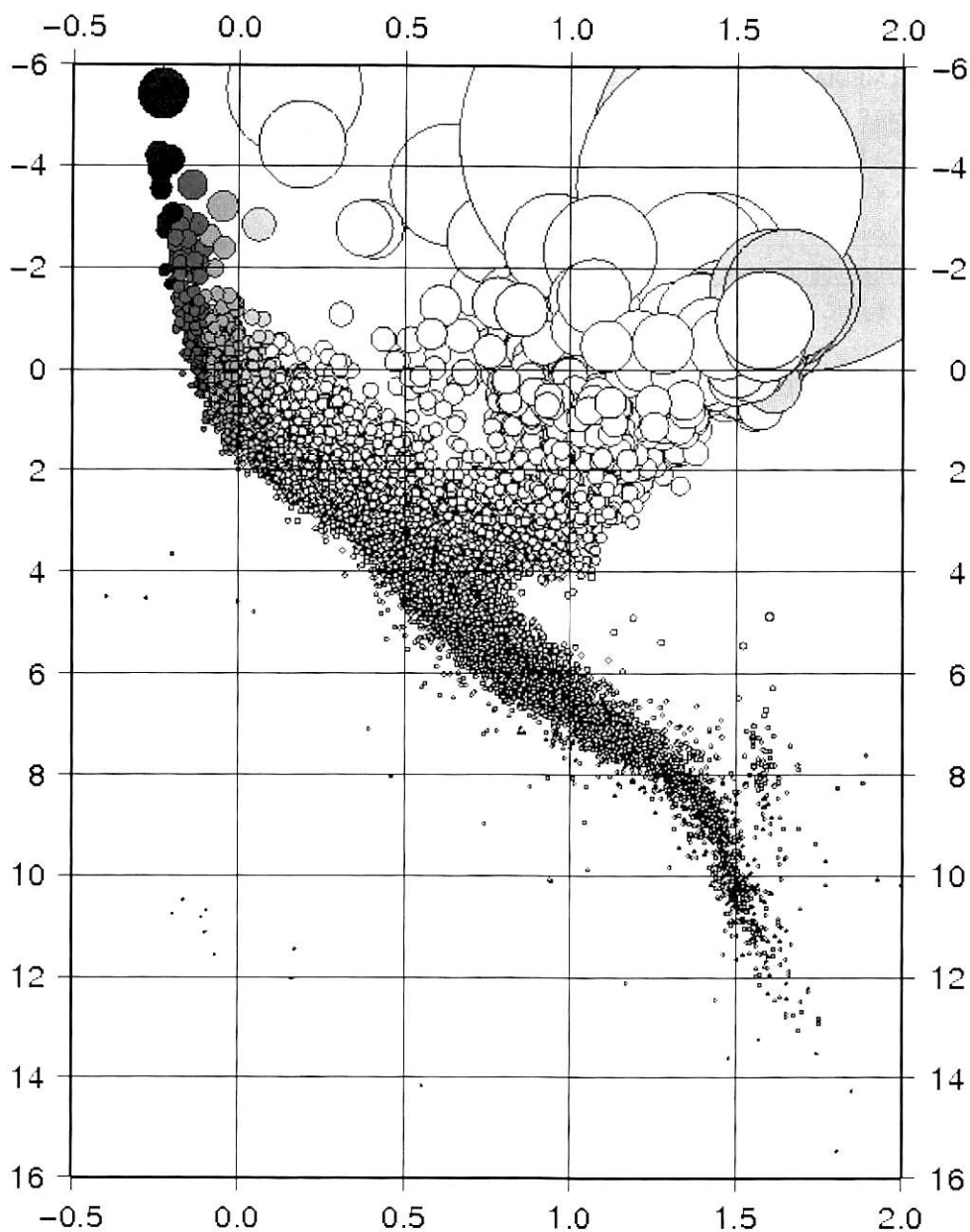
<完成版スクリプト>

```
#!/bin/bash
# GMT で HR 図を描くスクリプト完成版 (Hip-HR2.sh)
# by Y.Okamoto 27/March 2008
# HIPPARCOS data Hip_catalog.dat
# #HID RA[deg] Dec[deg]V[mag]Parallax SE B-V SE V-I Mag T L/Ls R/Rs
# $1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13
# 7 0.00150278 +20.0366 9.64 17.74 1.30 0.740 0.020 0.79 5.88477 5660.38 0.378523
0.645968
#-----
export PATH=$PATH:/usr/lib/gmt/bin
awk '{ print $7,$10,$7,$13*0.04+0.04}' Hip_catalog.dat | psxy -Jx5.0c/-0.76c -R-0.5/2.0/-
6/16 -Sc -CHR.cpt -W1 -Ba0.5f0.5g0.5/a2f2g2/> Hip-HR2.ps
```

また色付けには GMT が標準で持っている虹色のグラデーションを使用することにした。それは cpt ファイルという名で定義される。この場合の cpt ファイル作成は  
makecpt -rainbow -T-1/2/0.1 > HR.cpt で作成する。

なお上記命令中 print \$7,\$10,\$7,\$13\*0.04+0.04 の+0.04 はこれををつけないと小さな星が

消えてしまう（特に輪郭）を避ける処理。これで下記のような色と星のサイズの違いがわかる図が完成（原図はカラー）。しかし色は単なる虹色である



これで充分教材として使用可能であるが、さらに恒星のリアルな星のイメージをつけるため、背景を黒にまた恒星の色をスペクトル型に対応する形に改める。

まず GMT で幾つかの基本指定を書くことのできる。gmtdefaults というファイルに設定を記入する（UNIX でドットが先頭に来るファイル名は、各種設定ファイルを意味する）

ホームディレクトリにこの.gmtdefaults を GMT のインストールディレクトリよりコピーし、下記の変更を加えたものを置く (図の向きを-P で縦図にする。また背景は黒。線を灰色に変える)。

```
PAGE_COLOR      = 0/0/0      #背景を黒にする処理 R/G/B
```

```
PAPER_MEDIA     = a2+       #図の大きさを A2 版対応とする
```

```
BASEMAP_FRAME_RGB = 100/100/100    #図の枠を暗い灰色とする。R/G/B
```

あと、恒星表示用の cpt ファイル (これは GMT で描画時に線やシンボルの色を指定するファイル) をスペクトル型を真似て表示する色付けへと工夫する。この際、

<http://www.geos.ed.ac.uk/it/howto/GMT/CPT/palettes.html>

<http://users.nature.waseda.ac.jp/kiri/gmt/makecpt/makecpt.html>

などを参考にする。以下のコマンドで Hip\_HR.cpt という名でファイルが作成される。

```
makecpt -Cjet -T-1.5/2.5/0.1 -Z> Hip_HR.cpt
```

ただしこのままでは色縞状態になり、きれいなグラデーションがでないので、この部分を手で修正し、Hip\_HR.cpt を修正の上、完成させる。下記がその最終バージョン。

```
# cpt file created by: makecpt -Cjet -T-1.5/2.5/0.1 -Z
```

```
# COLOR_MODEL = RGB modified by Y.Okamoto 28 Mar.2008
```

```
#
```

```
-1.5  0  0  127  -1.4  0  0  153
-1.4  0  0  153  -1.3  0  0  178
-1.3  0  0  178  -1.2  0  0  204
-1.2  0  0  204  -1.1  0  0  229
-1.1  0  0  229  -1    0  0  255
-1    0  0  255  -0.9  0  26  255
-0.9  0  26  255  -0.8  0  51  255
-0.8  0  51  255  -0.7  0  77  255
-0.7  0  77  255  -0.6  0  102 255
-0.6  0  102 255  -0.5  26  128 255
-0.5  26  128 255  -0.4  77  153 255
-0.4  77  153 255  -0.3  130 179 255
-0.3  130 179 255  -0.2  180 204 255
-0.2  180 204 255  -0.1  230 230 255
-0.1  230 230 255  0    255 255 255
0    255 255 255  0.1  255 255 242
0.1  255 255 242  0.2  255 255 229
0.2  255 255 229  0.3  255 255 217
0.3  255 255 217  0.4  255 255 204
0.4  255 255 204  0.5  255 255 191
```

0.5	255	255	191	0.6	255	255	178
0.6	255	255	178	0.7	255	255	165
0.7	255	255	165	0.8	255	255	153
0.8	255	255	153	0.9	255	255	140
0.9	255	255	140	1	255	255	127
1	255	255	127	1.1	255	229	88
1.1	255	229	88	1.2	255	204	66
1.2	255	204	66	1.3	255	178	33
1.3	255	178	33	1.4	255	153	12
1.4	255	153	12	1.5	255	127	0
1.5	255	127	0	1.6	255	102	0
1.6	255	102	0	1.7	255	76	0
1.7	255	76	0	1.8	255	51	0
1.8	255	51	0	1.9	255	25	0
1.9	255	25	0	2	255	0	0
2	255	0	0	2.1	229	0	0
2.1	229	0	0	2.2	204	0	0
2.2	204	0	0	2.3	178	0	0
2.3	178	0	0	2.4	153	0	0
2.4	153	0	0	2.5	127	0	0
B	128	128	128				
F	255	255	255				
N	128	128	128				

最終完成版のスク립トは

```
#!/bin/bash
# GMT で HR 図を描くスク립ト完成版 (Hip-HR5.sh)
# HIPPARCOS data (distance error<10% B-V error<25%) 20632 stars
# data file:Hip_catalog.dat(including estimated Mag T L/Ls R/Rs)
##HID RA[deg] Dec[deg]V[mag]Parallax SE B-V SE V-I Mag T L/Ls R/Rs
# $1 $2 $3 $4 $5 $6 $7 $8 $9 $10 $11 $12 $13
#-----
# 7 0.00150278 +20.0366 9.64 17.74 1.30 0.740 0.020 0.79 5.88477 5660.38 0.378523
0.645968
#-----by Y.Okamoto 27-28/March 2008-----
export PATH=$PATH:/usr/lib/gmt/bin
awk '{ print $7,$10,$7,$13*0.04+0.04 }' Hip_catalog.dat | psxy -Jx15.0c/-2.4c -R-0.5/2.0/-
6/14 -Sc -CHip_HR.cpt -W1 -Ba0.5f0.5g0.5/a2f2g2/ -P -U > Hip-HR5.ps
```

なお1行目の

```
export PATH=$PATH:/usr/lib/gmt/bin
```

は GMT の各コマンドインストールディレクトリへの path であり、環境により調整する必要がある

これで完成した図は（あとでカラーハイントでタイトルだけ入れている。これも原図はカラー）



となり、一応の完成を見た。主系列の屈曲や、巨星への進展の度合いがよくわかる。

## VI. 教材としての今後の発展や課題

現在、図の横軸は表面温度ではなく、1次データである色指数 (B-V) を横軸に用いて描画している。しかし教科書は横軸をスペクトル型ないし表面温度で描画しているので、この調整が必要である。また、白色矮星の数も現状では少なく、教材としては少し物足りない。このあたりを他のカタログから借用する必要もあると思う。

しかし、この HR 図はデータの素性が明らかであるので、教科書の HR 図と比較するなかで教材として充分用いれると考えている。また、そもそも HIPPARCOS 衛星の恒星観測の基本は、年周視差観測であり、これは宇宙の距離測定における距離の梯子 (Distance ladder) のもっとも基本的な原理を示している。筆者は高校地学の天文学の単元ではこの距離測定の重要性に重きを置いた授業を展開している。年周視差の話から、分光視差、セファイド、Ia 型超新星と宇宙の距離測定の梯子を上ることで天文学の成果を宇宙論に結びつける授業も展開できる。

高校地学レベルでの天文学の基本演習には筆者はこれまで、米国の天文雑誌 Sky & Telescope にかつて掲載された、laboratory exercises という高校から大学教養課程向けの教材を一部翻訳して用いていた。しかしこれらは出版されてからすでに 20 年以上が経過し、写真やデータも古いものになりつつある。現在ハッブル宇宙望遠鏡や惑星探査衛星、さらに本稿の HIPPARCOS 衛星の観測データなど、laboratory exercises 出版以後の新しい高精度データが次々とネット上で公開されている。今後はこれらを用いた天文教材の整備が待たれるところであり、筆者もときに応じてその開発にあたりたいと考えている。また、東京大学の天文学の実習サイト

[http://www.esa.c.u-tokyo.ac.jp/ujs2dir/200704\\_01.pdf](http://www.esa.c.u-tokyo.ac.jp/ujs2dir/200704_01.pdf)

にはこうしたデータの一部を用いた実習が紹介されている。これらを用いた高校用の教材も作成に取り組みたい。

なお、恒星の年周視差の測定については、2011 年から 2012 年にかけて、ESA (ヨーロッパ宇宙連合) がさらに新しい観測衛星 GAIA の打ち上げを計画していると聞く。ヒッパルコス の 100 倍の精度で銀河系の恒星の距離をほぼその観測範囲に納めるといふ壮大な計画が準備されている。2010 年代の半ばになされるこの観測によって、さらに銀河系内の恒星の研究が飛躍するのを待ちのぞんで本稿を終わりたい。

## VII. 謝辞と参考文献

貝塚市立善兵衛ランド館長小林英輔氏には、筆者の若い頃に恒星の距離測定の重要性と「距離の梯子」について、重要なご教示を受けました。また、今回の教材作成においても様々なアドバイスをいただきました。ここにお礼を申し上げます。本研究遂行にあたり 2007 年度「青松会研究助成」を使用させていただきました。合わせて感謝申し上げます。

### 文献：

小林英輔 (1979) 恒星の年周視差について、大阪の地学教育 (大阪府科学教育センター発行) 第 1 号 p p.31-37

小林英輔 (1983) 恒星の年周視差について (その 2)、大阪の地学教育 (大阪府科学教育センター発行) 第 5 号 p p.27-31

Wessel, P. and Smith, W. H. F. (1995) 。 New version of the Generic Mapping Tools released. EOS Trans. AGU, 76:329.

なお 本稿の元になった、教材とその作成記は下記の筆者個人サイトにまとめてあります。また作成した図やスクリプトのダウンロードもここからお願いします。

<http://www.tennoji-h.oku.ed.jp/tennoji/yossi/Astro/index.html>

## VIII. 巻末資料（ヒッパルコス&ティコ星表）元データの諸元

<ftp://dbc.nao.ac.jp/DBC/NASAADC/catalogs/1/1239/ReadMe> より

Byte-by-byte Description of file: hip\_main.dat

Bytes	Format	Units	Label	Explanations	
1	A1	---	Catalog	[H] Catalogue (H=HIP?PARCOS)	(H0)
9-14	I6	---	HIP	Identifier (HIP number)	(H1)
16	A1	---	Proxy	[H1] Proximity flag	(H2)
18-28	A11	---	RAhms	*Right ascension in h m s, ICRS (Eq=J2000)	(H3)
30-40	A11	---	DEdms	*Declination in deg ' ", ICRS (Eq=J2000)	(H4)
42-46	F5.2	mag	Vmag	? Magnitude in Johnson V	(H5)
48	I1	---	VarFlag	*[1,3]? Coarse variability flag	(H6)
50	A1	---	r_Vmag	*[GHT] Source of magnitude	(H7)
52-63	F12.8	deg	RAdeg	*? alpha, degrees (ICRS, Eq=J2000)	(H8)
65-76	F12.8	deg	DEdeg	*? delta, degrees (ICRS, Eq=J2000)	(H9)
78	A1	---	AstroRef	*[+A-Z] Reference flag for astrometry	(H10)
80-86	F7.2	mas	Plx	? Trigonometric parallax	(H11)
88-95	F8.2	mas/yr	pmRA	? Proper motion mu_alpha.cos(delta), ICRS	(H12)
97-104	F8.2	mas/yr	pmDE	? Proper motion mu_delta, ICRS	(H13)
106-111	F6.2	mas	e_RAdeg	? Standard error in RA*cos(DEdeg)	(H14)
113-118	F6.2	mas	e_DEdeg	? Standard error in DE	(H15)
120-125	F6.2	mas	e_Plx	? Standard error in Plx	(H16)
127-132	F6.2	mas/yr	e_pmRA	? Standard error in pmRA	(H17)
134-139	F6.2	mas/yr	e_pmDE	? Standard error in pmDE	(H18)
141-145	F5.2	---	DE:RA	[-1/1]? Correlation, DE/RA*cos(delta)	(H19)
147-151	F5.2	---	Plx:RA	[-1/1]? Correlation, Plx/RA*cos(delta)	(H20)
153-157	F5.2	---	Plx:DE	[-1/1]? Correlation, Plx/DE	(H21)
159-163	F5.2	---	pmRA:RA	[-1/1]? Correlation, pmRA/RA*cos(delta)	(H22)
165-169	F5.2	---	pmRA:DE	[-1/1]? Correlation, pmRA/DE	(H23)
171-175	F5.2	---	pmRA:Plx	[-1/1]? Correlation, pmRA/Plx	(H24)
177-181	F5.2	---	pmDE:RA	[-1/1]? Correlation, pmDE/RA*cos(delta)	(H25)
183-187	F5.2	---	pmDE:DE	[-1/1]? Correlation, pmDE/DE	(H26)

189-193	F5.2	---	pmDE:Plx	[-1/1]? Correlation, pmDE/Plx	(H27)
195-199	F5.2	---	pmDE:pmRA	[-1/1]? Correlation, pmDE/pmRA	(H28)
201-203	l3	%	F1	? Percentage of rejected data	(H29)
205-209	F5.2	---	F2	*? Goodness-of-fit parameter	(H30)
211-216	l6	---	---	HIP number (repetition)	(H31)
218-223	F6.3	mag	BTmag	? Mean BT magnitude	(H32)
225-229	F5.3	mag	e_BTmag	? Standard error on BTmag	(H33)
231-236	F6.3	mag	VTmag	? Mean VT magnitude	(H34)
238-242	F5.3	mag	e_VTmag	? Standard error on VTmag	(H35)
244	A1	---	m_BTmag*[A-Z*-]	Reference flag for BT and VTmag	(H36)
246-251	F6.3	mag	B-V	? Johnson B-V colour	(H37)
253-257	F5.3	mag	e_B-V	? Standard error on B-V	(H38)
259	A1	---	r_B-V	[GT] Source of B-V from Ground or Tycho	(H39)
261-264	F4.2	mag	V-I	? Colour index in Cousins' system	(H40)
266-269	F4.2	mag	e_V-I	? Standard error on V-I	(H41)
271	A1	---	r_V-I	*[A-T] Source of V-I	(H42)
273	A1	---	CombMag	[*] Flag for combined Vmag, B-V, V-I	(H43)
275-281	F7.4	mag	Hpmag	*? Median magnitude in HIPPARCOS system	(H44)
283-288	F6.4	mag	e_Hpmag	*? Standard error on Hpmag	(H45)
290-294	F5.3	mag	Hpscatt	? Scatter on Hpmag	(H46)
296-298	l3	---	o_Hpmag	? Number of observations for Hpmag	(H47)
300	A1	---	m_Hpmag	*[A-Z*-] Reference flag for Hpmag	(H48)
302-306	F5.2	mag	Hpmax	? Hpmag at maximum (5th percentile)	(H49)
308-312	F5.2	mag	HPmin	? Hpmag at minimum (95th percentile)	(H50)
314-320	F7.2	d	Period	? Variability period (days)	(H51)
322	A1	---	HvarType	*[CDMPRU]? variability type	(H52)
324	A1	---	moreVar	*[12] Additional data about variability	(H53)
326	A1	---	morePhoto	[ABC] Light curve Annex	(H54)
328-337	A10	---	CCDM	CCDM identifier	(H55)
339	A1	---	n_CCDM	*[HIM] Historical status flag	(H56)
341-342	l2	---	Nsys	? Number of entries with same CCDM	(H57)
344-345	l2	---	Ncomp	? Number of components in this entry	(H58)
347	A1	---	MultFlag	*[CGOVX] Double/Multiple Systems flag	(H59)
349	A1	---	Source	*[PIFLS] Astrometric source flag	(H60)
351	A1	---	Qual	*[ABCDS] Solution quality	(H61)
353-354	A2	---	m_HIP	Component identifiers	(H62)
356-358	l3	deg	theta	? Position angle between components	(H63)
360-366	F7.3	arcsec	rho	? Angular separation between components	(H64)
368-372	F5.3	arcsec	e_rho	? Standard error on rho	(H65)
374-378	F5.2	mag	dHIp	? Magnitude difference of components	(H66)



380-383	F4.2	mag	e_dHp	? Standard error on dHp	(H67)
385	A1	---	Survey	[S] Flag indicating a Survey Star	(H68)
387	A1	---	Chart	*[DG] Identification Chart	(H69)
389	A1	---	Notes	*[DGPWXYZ] Existence of notes	(H70)
391-396	I6	---	HD	[1/359083]? HD number <III/135>	(H71)
398-407	A10	---	BD	Bonner DM <I/119>, <I/122>	(H72)
409-418	A10	---	CoD	Cordoba Durchmusterung (DM) <I/114>	(H73)
420-429	A10	---	CPD	Cape Photographic DM <I/108>	(H74)
431-434	F4.2	mag	(V-I)red	V-I used for reductions	(H75)
436-447	A12	---	SpType	Spectral type	(H76)
449	A1	---	r_SpType	*[1234GKSX]? Source of spectral type	(H77)

-----

Note on RAhms, DEdms, RAdeg, DEdeg: right ascension and declination are expressed for epoch J1991.25 (JD2448349.0625 (TT)) in the ICRS (International Celestial Reference System, consistent with J2000) reference system.

There are 263 cases where these fields are missing (no astrometric solution could be found)

Note on VarFlag: the values are

1: < 0.06mag ; 2: 0.06-0.6mag ; 3: >0.6mag

Note on r\_Vmag: the source is

G = ground-based, H=HIP, T=Tycho

Note on AstroRef: this flag indicates that the astrometric parameters in H3-4 and H8-30 refer to:

A to Z: the letter indicates the component of a double or multiple system

\*: the photocentre of a double or multiple system

+: the centre of mass

Note on F2: values exceeding +3 indicate a bad fit to the data.

Note on m\_BTmag: this flag indicates the component or combined photometry:

A to Z : the letter indicates the component measured in Tycho

(non-single star)

\* : the photometry refers to all components of the HIPPARCOS entry

- : single-pointing triple or quadruple system

Note on r\_V-I: the origin of the V-I colour, in summary:

'A' for an observation of V-I in Cousins' system;

'B' to 'K' when V-I derived from measurements in other bands/photoelectric systems

'L' to 'P' when V-I derived from HIPPARCOS and Star Mapper photometry

'Q' for long-period variables

'R' to 'T' when colours are unknown

Note on Hp<sub>mag</sub>, e\_Hp<sub>mag</sub>:

the HIPPARCOS magnitude could not be determined for 14 stars.

Note on m\_Hp<sub>mag</sub>: this flag indicates for double or multiple entries:

A to Z : the letter indicates the specified component measured

\* : combined Hp<sub>mag</sub> of a double system, corrected for attenuation

- : combined Hp<sub>mag</sub> of a multiple system, not corrected for attenuation

Note on HvarType: HIPPARCOS-defined type of variability (a blank entry signifies that the entry could not be classified as variable or constant):

C : no variability detected ("constant")

D : duplicity-induced variability

M : possibly micro-variable (amplitude < 0.03mag)

P : periodic variable

R : V-I colour index was revised due to variability analysis

U : unsolved variable which does not fall in the other categories

Note on moreVar: more data about periodic variability are provided

Note on n\_CCDM: the flag takes the following values:

H : determined multiple by HIPPARCOS, previously unknown

I : system previously identified as multiple in HIC <I/196> (annex1)

M : miscellaneous (system identified after publication of HIC)

Note on MultFlag: indicates that further details are given in the Double and Multiple Systems Annex:

C : solutions for the components

G : acceleration or higher order terms

O : orbital solutions

V : variability-induced movers (apparent motion arises from variability)

X : stochastic solution (probably astrometric binaries with short period)

Note on Source: qualifies the source of the astrometric parameters H8-30 with a 'C' in MultFlag:

P : primary target of a 2- or 3-pointing system

F : secondary or tertiary of a 2- or 3-pointing 'fixed' system  
(common parallax and proper motions)

I : secondary or tertiary of a 2- or 3-pointing 'independent' system  
(no constraints on parallax or proper motions)

L : secondary or tertiary of a 2- or 3-pointing 'linear' system  
(common parallax)

S : astrometric parameters from 'single-star merging' process.

Note on Qual: Reliability of the double or multiple star solution:

A=good, B=fair, C=poor, D=uncertain, S=suspected non-single

Note on Chart: the chart was produced:

D : from the STScI Digitized Sky Survey

G : from the Guide Star Catalog

Note on Notes: the flag has the following meaning:

D : double and multiple systems note only (note in hd\_notes.dat file)

G : general note only (note in hg\_notes.dat file)

P : photometric notes only (note in hp\_notes.dat file)

W : D + P

X : D + G

Y : G + P

Z : D + G + P

Note on r\_SpType: the flag indicates the source, as:

1 : Michigan catalogue for the HD stars, vol. 1 (Houk+, 1975) <III/31>

2 : Michigan catalogue for the HD stars, vol. 2 (Houk, 1978) <III/51>

3 : Michigan Catalogue for the HD stars, vol. 3 (Houk, 1982) <III/80>

4 : Michigan Catalogue for the HD stars, vol. 4 (Houk+, 1988) <III/133>

G : updated after publication of the HIC <I/196>

K : General Catalog of Variable Stars, 4th Ed. (Kholopov+ 1988) <II/139>

S : SIMBAD data-base <<http://cdsweb.u-strasbg.fr/Simbad.html>>

X : Miscellaneous

A blank entry has no corresponding information.

---

# A H-R Diagram With the HIPPARCOS Satellite Data Using “The Generic Mapping Tools.”

OKAMOTO Yoshio

A new H-R diagram using most precise stellar parallax data compiled from the European HIPPARCOS satellite observatory was developed for K-12 education particularly for astronomical study. All data and tools are freely downloadable through the Internet as open resources. At the same time, our developed scripts and figures are freely available on our web site as open sources too. Whole making processes are combined into several scripts which can run on general Unix platforms including Linux or MacOS-X operation systems. The diagram is suitable for astronomy class in a high school level particularly in the study of origin and evolution of stars. Moreover, the measurement of stellar parallax based on triangulation is the most important observation in Astronomy, also the concept of “distance ladder” is a fundamental principle which dominates the sun nearer stars to the far horizon of our universe, so the students can study not only the H-R diagram itself but also the essential tactics of Astronomy through this new tool. The similar processes described here enable us to make other educational tools such as seismology or climate changes analysis, employing similar open resources on the Internet.

Key Words : H-R diagram, HIPPARCOS satellite, annual parallax, distance ladder, stellar evolution