

## 標準システムへの変換

木下 大輔 < daisuke@naoj.org >

彗星の明るさや色を測定した場合、自分の観測結果を他人の結果と比べるにはどうしたらいいだろうか？ 使う観測装置をまったく同じものにすればよいが、実際にはまったく同じ応答を示す望遠鏡や検出器やフィルターを作ることはできない。ここでは測定された彗星の明るさを標準システムでの値に変換することを考える。

### (1) 測光標準星の観測

標準システムへの変換を行うためには、測光標準星の観測が必要である。ここではLandolt のリストに載っている星(Landolt, 1992) を観測することを考える。Landoltのリストの星は、

<http://www.ls.eso.org/lasilla/sciops/2p2/Landolt/>

にて参照できる。複数のフィルターを用い、異なる大気量でこれらの星を観測する。観測後のデータの整約についてはII-7の「CCD 観測入門」を、測光についてはII-2の「光度観測」を参照のこと。以下の例では  $V$ ,  $R$ ,  $I$  の三色について観測を行った場合を考える。

### (2) 機器等級

Landolt のリストに載っていて等級と色の分かっている星、それぞれについて、すべてのフィルターのデータで測光を行い、カウント値  $d_v$ ,  $d_r$ ,  $d_i$  を求める。機器等級と色指数  $v$ ,  $v - r$ ,  $r - i$  は以下のように表される。

$$v = -2.5 \log d_v \quad (1)$$

$$v - r = -2.5 \log \left( \frac{d_v}{d_r} \right) \quad (2)$$

$$r - i = -2.5 \log \left( \frac{d_r}{d_i} \right) \quad (3)$$

### (3) 大気量

大気による天体の光の吸収は、観測した場所によっても、観測した日によっても異なるため、常に考慮する必要がある。大気量  $X$  は天頂距離  $z$  を用いて以下のように表される。(  $z > 30^\circ$  の場合)

$$X = \sec z \quad (4)$$

しかし、彗星の観測は低空で行われることもまれではないので、 $z < 30^\circ$  の場合は以下の式を用いる。

$$X = \sec z - 0.0018167(\sec z - 1) - 0.002875(\sec z - 1)^2 - 0.0008083(\sec z - 1)^3 \quad (5)$$

## (4) 大気減光係数の決定

ここでは単純に大気減光は大気量だけに依存していると考え、大気減光係数を決定する。大気圏外機器等級は通常、以下のように表される。

$$v_0 = v - k'_v X \quad (6)$$

$$(v - r)_0 = (v - r) - k'_{vr} X \quad (7)$$

$$(r - i)_0 = (r - i) - k'_{ri} X \quad (8)$$

ここで、 $k'_v$ 、 $k'_{vr}$ 、 $k'_{ri}$  は大気減光係数である。これらは、大気量を横軸に、等級や色指数を縦軸にとったグラフを作成し、その傾きを求めることで得られる。

## (5) ゼロ点とシステム変換係数の決定

標準システムでの等級や色指数は、例えば次のように表すことができる。

$$V = \varepsilon(V - R) + v_0 + \zeta_v \quad (9)$$

$$(V - R) = \mu(v - r)_0 + \zeta_{vr} \quad (10)$$

$$(R - I) = \psi(r - i)_0 + \zeta_{ri} \quad (11)$$

ここで、 $\varepsilon$ 、 $\mu$ 、 $\psi$  は変換係数であり、 $v_0$ 、 $v_{vr}$ 、 $r_{ri}$  は等級と色指数のゼロ点である。 $\zeta_v$  を求めるには  $V - R$  を横軸に、 $V - v_0$  を縦軸にとってプロットし、直線でフィットすればよい。 $\mu$  と  $v_{vr}$  については、まず、式を以下のように変形する。式(10) は、

$$(v - r)_0 = \frac{1}{\mu} \{ (V - R) - \zeta_{vr} \} \quad (12)$$

と書ける。式(10)の両辺から  $(v - r)_0$  を引くと、

$$\begin{aligned} (V - R) - (v - r)_0 &= \mu(v - r)_0 - (v - r)_0 + \zeta_{vr} \\ &= (\mu - 1)(v - r)_0 + \zeta_{vr} \\ &= \left(1 - \frac{1}{\mu}\right)(V - R) + \frac{\zeta_{vr}}{\mu} \end{aligned} \quad (13)$$

となる。 $\mu$  と  $v_{vr}$  を求めるは、 $(V - R)$  を横軸に、 $(V - R) - (v - r)_0$  を縦軸にプロットし、直線でフィットすればよい。 $\psi$  と  $r_{ri}$  についても、同様に、式(11) は、

$$(R - I) - (r - i)_0 = \left(1 - \frac{1}{\psi}\right)(R - I) + \frac{\zeta_{ri}}{\psi} \quad (14)$$

と変形できるので、 $(R - I)$  を横軸に、 $(R - I) - (r - i)_0$  を縦軸にプロットし、直線でフィットすればよい。このようにして、大気減光係数  $k$ 、ゼロ点、システム変換係数  $\varepsilon$ 、 $\mu$ 、 $\psi$ 、

が求めれば、目的天体の機器等級や色指数から、式(9) から(11) を用いて標準システムでの等級や色指数を求めることができる。さらに詳しいことはHenden & Kaitchuck (1990)などを参照されたい。

#### (6) 実際の作業

では、実際の作業はどうすればよいのかについて、最後に少しだけ触れる。Henden & Kaitchuck (1990)にはAppendix Hに実際の計算例が載っている。NOAO (アメリカ国立光学天文台) が作成し、保守しているIRAF (Image Reduction Analysis Software) という天文学データ解析ソフトウェアパッケージがある。この解析ソフトウェアは巨大なものだが、そのなかにphotcal というパッケージが入っており、これを用いて標準システムへの変換を行うことができる。計算機を用いて解析を効率的に行うには、このIRAFのphotcalパッケージを用いるのも選択肢の一つである。利用するタスクは、

- noao.digiphot.apphot.phot
- noao.digiphot.photcal.mkimsets
- noao.digiphot.photcal.mknobsle
- noao.digiphot.photcal.mkconfig
- noao.digiphot.photcal.fitparams

などである。詳しい使い方はIRAFのヘルプファイルや、マニュアルに載っているので、参照されたい。また、筆者も使い方を以下のウェブサイトにて示している。

[http://chiron.mtk.nao.ac.jp/%7Edaisuke/ja/Research/Astronomy/  
ImageProcessing/TransformationCoe\\_cients/photcal.html](http://chiron.mtk.nao.ac.jp/%7Edaisuke/ja/Research/Astronomy/ImageProcessing/TransformationCoe_cients/photcal.html)

#### 参考文献

- [1] Henden, A. A., Kaitchuck, R. H., 1990, *Astronomical Photometry - A Text and Handbook for the Advanced Amateur and Professional Astronomer*, Willmann-Bell, Inc., ISBN 0-943396-25-5.
- [2] Landolt, A. U., 1992, UBVR photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator, *AJ*, 104, 340.
- [3] IRAFのウェブサイト<http://iraf.nao.ac.jp/>