

光電測光の

整約の手引き

—— 直流法とフォトンカウンターの2つの観測法を考慮した ——

主な内容

- 大気減光の補正 解説と例題
- 標準システム Λ の変換 解説と例題
- 差測光法 解説と例題
- 減光係数決定のための標準星リスト
- 変換係数決定のための標準星団リスト

原著 "Astronomical Photometry"

by AREN A. HENDEN and RONALD H. KAITCHUCK
1982, New York, VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY
の 第4章と付録を中心にした訳

目 次

第4章	データ整約	1
4.1	データ整約の概要	1
4.2	不感時間の補正	3
4.3	器械等級と色の計算	7
4.4	減光補正	8
	a. 大気量の計算	8
	b. 1次減光	10
	c. 2次減光	12
4.5	ゼロ点の値	13
4.6	標準システムの等級と色	14
4.7	変換係数	15
4.8	差別光法	17
4.9	(U-B)の問題	20
⑨補	2.6 差別光法	23

付 録

A.	1次減光係数決定のための標準星	27
B.	2次減光係数決定のための星対	33
D.	JohnsonのUBV標準星団	37
	D.1 プレアデス	39
	D.2 プレセペ	41
	D.3 IC 4665	43
F.	不感時間係数の求め方	45

G.	減光係数の求め方	47
G.1	差測光法の減光補正	47
G.2	全天測光の場合の減光補正	51
G.3	2次減光係数の求め方	57
H.	変換係数の求め方	59
H.1	直流法の場合	59
H.2	フォトンカウンターの場合	65

復刻 PDF 版作成にあたって

34 年前に翻訳し、手書きで作成したこの「手引き」ですが、今回復刻することにしました。それは、AAVSO ジャーナルに載った Boyd 氏による記事を日本語訳して、CCD 測光の時代に合ったシステム変換の方法を日本語で紹介することになった機会に、それには書かれていない基本的な部分について、わかりやすい解説を必要とする人もきっといるに違いないと考えたからです。

この「手引き」は光電測光の UBV 測光に即して書かれてありますが、1次と2次の大気減光とシステム変換の原理と方法は、CCD 時代の今も全く変わるところはありません。この辺りについては 30 余年たっても日本語の文献は依然存在しないので、この復刻版が少しでもお役に立てば幸いです。この中で第 4 章部分は、永井和男さんがワープロ入力して公表してくださっているもので、そちらの方が、この手書き文書よりも遥かに読みやすいと思います。

<http://eclipsingbinary.web.fc2.com/seiyaku.pdf>

さて、34 年前の翻訳では、不出来な箇所がいくつもあると思いますが、次に 2 つの用語だけは、ここで次のようにより適した日本語に訂正しておきたいと思います。この「手引き」をお読みくださる場合は、読み替えてくださるようお願いいたします。

以前の訳語(原語)	今回の訳語
「差測光」(defferential photometry)	「相対測光」
「大気量」(airmass)	「空気量」

した。そ
時代に合
いない
えたから

減光と
り辺りに
もお役
てくださ

語だけ
お読み

2018 年 11 月 2 日

訳者 大島 修

以前の訳語(原語)	今回の訳語
「差測光」(defferencial photometry)	「相対測光」
「大気量」(airmass)	「空気量」

第 4 章

データ 整 約

光電測光のデータを扱には、3つの段階がある。それは、収集、整約、解析と呼ばれている。

データ収集のテクニックは、第9章で扱い、そこで実際のデータを得る前に十分研究することにする。

ここでは、第9章より以前に、データの整約を扱う。それは、有効にデータの集収を行なうためには、整約の過程に合わせた観測の型の知識が必要であるからである。カウント数またはメータのふれから、標準システムの等級に結びつけるまでをデータ整約といい、こめ入った過程ではあるが、多くの研究には必要な過程である。この章を注意深く読み、付録の例題を解いてみれば、3色測光のデータを標準システムへ変換できるようになるであろう。

3つめの データ解析は、この本では扱わず、個人に残しておく。等級と色の決定といった以上の、周期・軌道要素・その他の量の解析は、研究の目的によって異なるので、他の文献を参考にして下さい。

4.1 データ整約の概要

星と空のナチュラルシステムでの測定があるとする。そのデータを整約する方法は、多くのやり方がある。ほとんどの方法に共通する一般的なあらすいは、次

の通りである。

1. フォトンカウンターを使用した時は、その値を一貫したものに直すこと。任意の時間間隔あたりのカウント数を、秒あたりのカウント数に直す。このカウント数には、不感時間の補正をほどこすべきである。直流法では、セットしたアンプのゲインを、校正表を使って正確なゲインの値に直さねばならない。これは、8.6節で述べる。
 2. 星から空を差し引く。これは、数に対数值(等級)に直す前に行なわなければならない。
 3. 器械等級と色(以下「器械等級」とはナチュラシステムでの等級の意味で用いる)を計算する。差測光(Differential Photometry)では、変光星と比較星の間の等級差を計算する。
 4. 減光係数を決定し、減光補正をほどこす。このステップは、差測光ではしばしば不要である。器械等級のままでよいなら、オ4ステップへ飛べ。
 5. 標準星を使ってゼロ点定数を決め、必要ならば変換係数も決定する。
 6. 器械等級と色の値を、標準システムに変換する。
 7. その夜の値を見積るため、変換した等級と色を受け入れられている値と比べる。差測光では、減光を補正した後で比較星の値が一定になっているかどうかを調べる。
 8. この観測を役立てたり、公表したりするために必要な、時間の換算等の補助的な計算を行なう。
- オ1, 2, 3, 5, 6, 7のステップは、付録Hに実際に示した。オ4ステッ

プの実例は、付録Gに示した。オ8ステップは、オ5章で詳しく述べる。

以下、これらのステップのいくつかについての考えかと、その困難性を概観し、差別光についてデータ整約の実例を示す。

4.2 不感時間の補正

フォトンカウントシステムの大きな弱点の1つは、接近したパルス どうしを正確にカウントできないことである。フォトマル、プリアンプ、カウンターが1つのパルスを検出した後すぐに、くっついてくるパルスに応答できない短い時間が存在する。これを不感時間 (dead time) と呼ぶ。

もし2つ以上のパルスが、装置の不感時間より短い時間内に到着したら、これらのパルスは単一のパルスとして検出される。明るい光源からの光子は、暗い光源からのものより、平均的にはより接近した間かくでやってくる。明るい光源からはじめの10ナノ秒間に4個のパルスが到着したとしても、次の10ナノ秒ではゼロであったりするように、これらのパルスは平均した間かくでやってくるわけではない。

フォトマルやプリアンプ、カウンターの不感時間は、カタログ上の値を信用してはならない。それは、実際の観測ではとても期待できない充分な十分な均一なパルスをもとにして測ったものであるから。

不感時間の長い装置ほど、不正確である。一般的には、カウンターは少なくとも100 MHzのレスポンスを持ったもの、プリアンプはできるだけ速いものを使うべきである。Goeth Link 天文台では、オ7章のTaylorのプリアンプは、システムの中で最も遅い部分である。ふつう、フォトマルの不感時間はプリアンプやカウンターに比べると、とるに足らない。

この不感時間の問題は、明るい光源に対して、カウントを非直線的にする。

不感時間を補正する式は、形は簡単であるが、解くのは難しい。その式は、

次のようになる。

$$n = N e^{-\tau N} \quad (4.1)$$

ここで、 n は秒あたりのカウント数。 N は数えあとしのない「真の」カウント数。 τ は不感時間係数であり、観測カウント数が真のカウント数の $1/e$ に落ちる時の値 $\tau = 1/N$ として定義される。

式 4.1 を変形して

$$\frac{n}{N} = e^{-\tau N} \quad (4.2)$$

両辺の自然対数をとると

$$\ln(n/N) = -\tau N$$

または

$$\ln(N/n) = \tau N \quad (4.3)$$

N に対する $\ln(N/n)$ のグラフを書けば、 τ はそのベストフィット直線の傾きである。しかし、我々は N を知らないため、 τ について解くことはできない。

そこで、低いカウント数では、不感時間の補正は無視してよいということを利用する。フォトマルに達する光を、既知の係数 ($=b$ とする) だけ減らすものを用いる。そうすれば、このアテネッタを入れたら、フォトマルには $1/b$ の光だけが達する。このアテネッタとして何を用いるか、は後で議論する。

そのアテネッタを入れて、光源が星を観測すると、測られるカウント数 n_L は小さく、真のカウント値 N_L にかなり近くなる。アテネッタをはずせば、真のカウント値 N_H は b 倍だけ増すことになる。すなわち

$$N_H = b N_L \simeq b n_L \quad (4.3a)$$

しかし、観測されたカウント数は、不感時間のロスのためいくらかは小さい。観測された値の比、 $b n_L$ 対 n_H は不感時間係数に關係する。式 4.3 を次のように書く。

$$\ln\left(\frac{b n_L}{n_H}\right) = \tau b n_L \quad (4.4)$$

異なる明るさの光源を、アテネックを入れた場合と入れない場合について観測し、 b_{NL} に対する $\ln(b_{NL} / n_H)$ をプロットすれば、その値から b を求めることができる。

普通使われるアテネックとして、次の3つの方法がある。それぞれについて考えてみよう。

1. 口径を絞る方法

この方法は、望遠鏡を明るい星に向け、鏡筒の前と円形の穴をあけた板でおおいうやり方である。小さい穴の絞りを通したカウント数を n_L とし、穴2の大きい絞りを通したカウント数を n_H とする。 b はこの2つの穴の面積の比である。

この方法は、反射望遠鏡には使えない方がよい。それは、副鏡のサポーター（スプライダー金具）が入ってくる光をさまたげないように光軸からはずした小さい穴でなければならぬから。そうでなければ、 b を計算する際に副鏡サポーターの面積を注意深く考慮しなければならない。これは副鏡セルの断面が円形であり、かつサポート板が無視できるくらい薄くなければ、難しい。

2. 剥光器のダイヤフラムを使う方法

この方法は、光源が星ではいけない。光源は、表面が均一な明るさを持つ拡がった対象でなければならない。この目的のためには、均一に照明された白い板を望遠鏡の前に置けばよい。剥光器の中のダイヤフラムを使用し、小さい穴に対する値を n_L 、大きい穴に対する値を n_H とする。ダイヤフラムの穴の面積の比が b である。

この方法の問題点は、板を均一に照明すること、ダイヤフラムの大きさを正確に知らなければならないこと、また、そのダイヤフラムの組合せだけで、2回以上の測定を行なには、光源の明るさを変えなければならない

1)。フォトマルがオーバーロードしないように充分気をつければ、白昼の空を光源に使用することができる。

3. NDフィルターを使う方法

この方法は、フィルタースライドにNDフィルターを入れて使うものである。光路上にNDフィルターを入れた場合と入れない場合で、星を測定する。フィルターの濃度が w である。

この方法の問題点は、ほんとうに中性なフィルターはない、ということである。つまり、フィルターを通る光量が、星の色に依存するということである。このことが、この方法をやっかいなものにしているが、一度この色効果を校正すれば、このNDフィルター法は不感時間係数を求めるのに便利な方法である。

フィルターの色依存性を校正するために、大きく色の異なる星のいくつかを、フィルターを入れた場合と入れない場合で測定する。実例を示した付録Cで、選ばれた星が比較的晴いのは、不感時間の補正を無視できるためである。それぞれの星の等級差($v_1 - v_0$)は次式によって計算する。

$$v_1 - v_0 = -2.5 \log (n_1 / n_0) \quad (4.5)$$

ここで n_1 はフィルターを入れた場合の、 n_0 は入れない場合のカウント数である。(B-V)に対する($v_1 - v_0$)を、それぞれの星についてプロットする。その結果は、水平に近い線になる。インディアナ大学で使っているフィルターの場合、最小二乗法での結果は、次の通りである。

$$v_1 - v_0 = -0.008 (B - V) + 3.934$$

これは、色にほとんど依存していないようである。係数 w は、フィルターを通したときと通さないときの強度の比である。つまり、

$$v_1 - v_0 = -2.5 \log (I_1 / I_0) \quad (4.6)$$

または

$$b = I_0 / I_1 = 10^{0.4(v_1 - v_0)} \quad (4.7)$$

こうして、不感時間係数は、明るい星を使った観測によって求めることができる。

不感時間係数を求める例を付録Fに示した。その係数がかわければ、与えられたカウント数について、式4.1を解くわけであるが、それにはくり返し法が使われる。まず、Nの代りに観測されたカウント数 n_0 を使い、補正したカウント数 n_1 を計算する。次に新しいNとして $n_1 + (n_0 - n_1)$ を代入する。このくり返しを、要求する精度で n_n が n_{n+1} に等しくなるまで行なう。

不感時間を補正する例題は、付録のH.2節に示す。

4.3 器械等級と色の計算

1.7節で、器械等級と色を計算するのに必要な式を、含まれている定数の物理的解釈と共に示した。特に、UBVシステムに合わせて、式1.10と1.12を書けば

$$v = C_v - 2.5 \log d_v \quad (4.8)$$

$$b - v = C_{bv} - 2.5 \log (d_b / d_v) \quad (4.9)$$

$$u - b = C_{ub} - 2.5 \log (d_u / d_b) \quad (4.10)$$

ここで、 d は観測されたフレまたはカウント数である。これらの器械的な値は、4.5節で変換式のゼロ点シフトに値を与えるために使われるので、定数 C は任意である。直流法では、式4.8～4.10は次のようにあらわす。

$$v = -2.5 \log (d_v) + G_v \quad (4.11)$$

$$b - v = -2.5 \log (d_b / d_v) + G_b - G_v \quad (4.12)$$

$$u - b = -2.5 \log (d_u / d_b) + G_u - G_b \quad (4.13)$$

ここで、 G はフィルターごとのゲイン、 d はセッとしたゲインでのペンレコードのフレである。

フォトンカウンターでは、

$$V = -2.5 \log (\dot{C}_v) \quad (4.14)$$

$$b-v = -2.5 \log (\dot{C}_b / \dot{C}_v) \quad (4.15)$$

$$u-b = -2.5 \log (\dot{C}_u / \dot{C}_b) \quad (4.16)$$

ここで $\dot{C}$ は、フィルターごとのカウント数である。

どちらの方法に於て、実例を付録 H で示す。

4.4 減光補正

減光は、星の光が地球大気を通る間に失われるものであることを覚えておく。すべての出版公表された結果は、この補正を行なっていて、大気外等級と呼ばれる地球大気の外での星のみかけの等級とあらわしている。

サ 1.8 節で、議論され、付録 J で導かれる式は、この減光の扱いにもとづいている。この節で行う説明の多くの部分は、Hardie¹⁾ による。

ほとんどの減光補正は、大気量に関連した 1 次減光による。ずっとよい精度を必要とするなら、二次減光を考慮しなければならない。

4.4 a 大気量の計算

高度 30° 以上では、観測者と星の間の大気総量は、付録 J で導かれるように簡単な平行平面近似でよく、0.2% 以下の精度がある。高度が 30° 以上、つまり天頂距離が 60° 以下では、この近似は次式であらわされる。

$$X = \sec Z \quad (4.17)$$

ここで

$$\sec Z = (\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos H)^{-1} \quad (4.18)$$

ϕ は観測地の緯度、 δ は星の赤緯、 H は時角である。星の光が横切る大気量が X である。この量は、星が天頂にあるとき最小になり

$$\sec Z = \sec 0^\circ = 1$$

この大気の流れ量は、伝統的に大気量 (air mass) と呼ばれているが、この言葉は、むしろ大きな空気の円柱の量を連想する。

天頂距離が、 60° より大きいときは、平行平面という近似は破れる。地球が球である効果に、もっと近づいた近似が必要になる。最も一般的に使用される多項式近似は、Bemporad (1904年) によって集められたデータに基づいて考えられ、Hardie¹⁾ によって次のように示された。

$$X = \sec Z - 0.0018167 (\sec Z - 1) - 0.002875 (\sec Z - 1)^2 - 0.0008083 (\sec Z - 1)^3 \quad (4.19)$$

ここで Z は、真のではなく、みかけの天頂距離である。式 4.19 は、大気量が 6.8 のところで、Bemporad のデータに 0.1% 以上の精度でフィットする。これは水平線より 10° 高いだけであり、ふつう観測したいと思う高度よりは低いである。

しかし、これらのデータは、世紀の変わりめに行なった 1 地点だけでの、平均的な空の条件を示しているにすぎないので、実際の大気量に対して 0.1% の精度があるということは期待できない。

例題：

北緯 40° にいる観測者が、 σ Leo ($RA = 11^h 20^m.6$, $Dec = 6^\circ 8' 21''$) をみかけの時角 $3^h (= 45^\circ)$ で観測した。観測者と σ Leo の間の大気量はいくらか。

式 4.18 から

$$\sec Z = [\sin(40^\circ) \sin(6.1392^\circ) + \cos(40^\circ) \cos(6.1392^\circ) \cos(45^\circ)]^{-1} \\ = 1.6466$$

式 4.17 から

$$X = \sec Z = 1.6466$$

比較のために、精度を上げて式 4.19 を使ると

$$\begin{aligned}
 X &= 1.6466 - 0.0018167(0.6466) - 0.002875(0.6466)^2 \\
 &\quad - 0.0008083(0.6466)^3 \\
 &= 1.6440
 \end{aligned}$$

この2つの結果は、約 0.1% で合っていることに注意せよ。

4.4 b 1次減光

地球大気の中での光の吸収には、多くの要因が重要な役割を果すので、減光に関する厳密なモデルをつくることは、とても難しい。

それを1次近似すると、最も大きく吸収に寄与する大気量という変数を計算するということになる。この近似は、次式のようになる。

$$v_o = v - k'_{vr} X \quad (4.20)$$

$$(b-v)_o = (b-v) - k'_{br} X \quad (4.21)$$

$$(u-b)_o = (u-b) - k'_{ub} X \quad (4.22)$$

ここで、 k' は 大気量1あたりの等級であらわした1次減光係数である。小文字の o は、大気外の値を示す。上式を変形して

$$v = k'_{vr} X + v_o \quad (4.23)$$

$$(b-v) = k'_{br} X + (b-v)_o \quad (4.24)$$

$$(u-b) = k'_{ub} X + (u-b)_o \quad (4.25)$$

こうして、減光係数の値は、1つの星を大気量の変化に対しておいていき、 X に対する色指数、等級をプロットしていくことで決定できる。この直線の傾きが、減光係数であり、切片が大気外の等級 または 色指数である。

以上は、理想的な場合である。実際には、時には星の方向の大気量は多少変わるし、空も変化していくかも知れない。さらに、もし大気が静的であるとし

ても、空のいろんな部分で減光は一定ではない。平均曲線のまわりに分散をおこすその変化は、部分的なゆらぎのためかもしらなれないし、もっと大きな、東西方向での変化の ようなスケールでの変化かもしらなれない。さらに、大気は含まれている水蒸気とダストによっても変化する。オ4.4c節で説明するように、その他の複合的な要因にもよって、減光は色に依存したものになる。

以上の議論によって 気も落してはいけな。減光を正確に測定することは、骨のおける問題であり、実際の観測では高精度に決定することはほとんどない。したがって、2, 3 %の精度で減光係数の値を知ることで、ほとんどのプロの天文学者は満足している。おすすめる減光係数決定のための観測方法は、オ9章で述べる。1次減光係数を決めるいくつかの方法があるが、ほとんど共通した2つの方法は、比較星を用いる場合と、目的星の近くにあるAO星を使う場合である。以下に、それを議論する。

減光は、場所によって変化する可能性をもっているので、最良の選採は、減光星として、観測する変光星の比較星を使うことである。これは2つの利点がある。つまり、減光の測定は、変光星から時間的にも空間的にも遠くはなれてはいけなということ。そして、変光星とほとんど同じ色の比較星を使っていけば、2次の減光は無視できるからである。

この方法は、その夜のほとんどで1つの変光星の観測にあてるプログラムにだけ合っている。そして、減光係数を決定するためには、大気量の広い範囲で比較星を十分な数だけ測定することが一番大切である。例題をG.1節に示す。

1次減光係数を決めるもう一つの方法は、観測している空の領域をおおるAO星たちを使うことである。こうすれば、最小二乗法を使って減光を直接に決定できる。この方法は、短時間で実行できるという利点がある。

しかし、最小二乗法は複雑であり、もしコンピュータを使っ たとしても、その

場合は、測定をプロットせずに計算してしまおうとする誘惑にかられる。そんなことをすれば、観測中にハイズが横切ったためにたった一つ悪い測定があっただけで、結果に大きくひびくし、その欠陥が明らかにならない。実例をG.2のi)に示す。

4.4 c 2次の減光

J.3節で説明するように、減光係数の中に色に依存する項を含めると、1次減光係数を次のように修正することになる。

$$k'_v \rightarrow k'_v + k''_v (b-v) \quad (4.26)$$

$$k'_{bv} \rightarrow k'_{bv} + k''_{bv} (b-v) \quad (4.27)$$

式4.20と4.21は次のようになる。

$$v_0 = v - k'_v X - k''_v (b-v) X \quad (4.28)$$

$$(b-v)_0 = (b-v) - k'_{bv} X - k''_{bv} (b-v) X \quad (4.29)$$

$k''_{ub} = 0$ と定義すれば、式4.22はそのままである。式4.28と4.29は、大きく色が異なる星対を使えば、2次減光係数について解くことができる。2つの星が接近しているため、大気量は同じであると近似的にみれば

$$v_0 - v_1 = (v_1 - k'_v X - k''_v (b-v)_1 X) - (v_2 - k'_v X - k''_v (b-v)_2 X)$$

は、

$$\Delta v_0 = \Delta v - k''_v \Delta(b-v) X \quad (4.30)$$

$$\Delta v = k''_v \Delta(b-v) X + \Delta v_0$$

同様にして

$$\Delta(b-v) = k''_{bv} \Delta(b-v) X + \Delta(b-v)_0 \quad (4.31)$$

ここで、 Δ は ある大気量 X での2つの星の色または等級の差とあらわしている。式4.30と4.31の解は、 $\Delta(b-v)X$ に対する Δv または $\Delta(b-v)$ をプロットすることで容易にえられ、その傾きが2次減光係数である。こうして一度2次減光係数が決まれば、その星対をもう一度、一次減光係数を決定するために使うことができる。

経験的にも理論的にも、 U に関する2次係数は基本的に無視してよい。さらに式4.31を使って求めた値は、比較的一定であり、色変換係数よりもしくはは決定する必要はないであろう。

1次および2次減光の実例を、付録 G に示す。その決定に用いた星対を付録 B に示す。これらの星対のほとんどは、キットピーク国立天文台で調べられたリストの中から、赤道付近のものをえらんだ。赤い星は、ほとんど暗い星であり、測定はより困難であることを注意せよ。明るい星対はみつけ出すことが難しい。

4.5 ゼロ点の値

第2章から次式をえる。

$$V = \epsilon (B - V) + V_0 + \xi_v \quad (4.32)$$

$$(B - V) = \mu (b - v)_0 + \xi_{bv} \quad (4.33)$$

$$(U - B) = \psi (u - b)_0 + \xi_{ub} \quad (4.34)$$

この3つの式は、これからよく使う式である。変形して

$$\xi_v = V - v - \epsilon (B - V) \quad (4.35)$$

$$\xi_{bv} = (B - V) - \mu (b - v)_0 \quad (4.36)$$

$$\xi_{ub} = (U - B) - \psi (u - b)_0 \quad (4.37)$$

言い換えれば、ゼロ点定数は、標準システムの値から大気外の器補等級と色を引いたものに等しい。ゼロ点は、それぞれの標準星について、式4.35~4.37を解くことによって計算される意味をもつ。

図4.1は、Goeth Link 天文台で18ヶ月間にフотンカウンターで測られた、3つのゼロ点をプロットしたものです。特に ξ_v にみられるくり違ひは鏡を再メッキしたときにおこっている。それは、感度が約0.5等変わったことを示

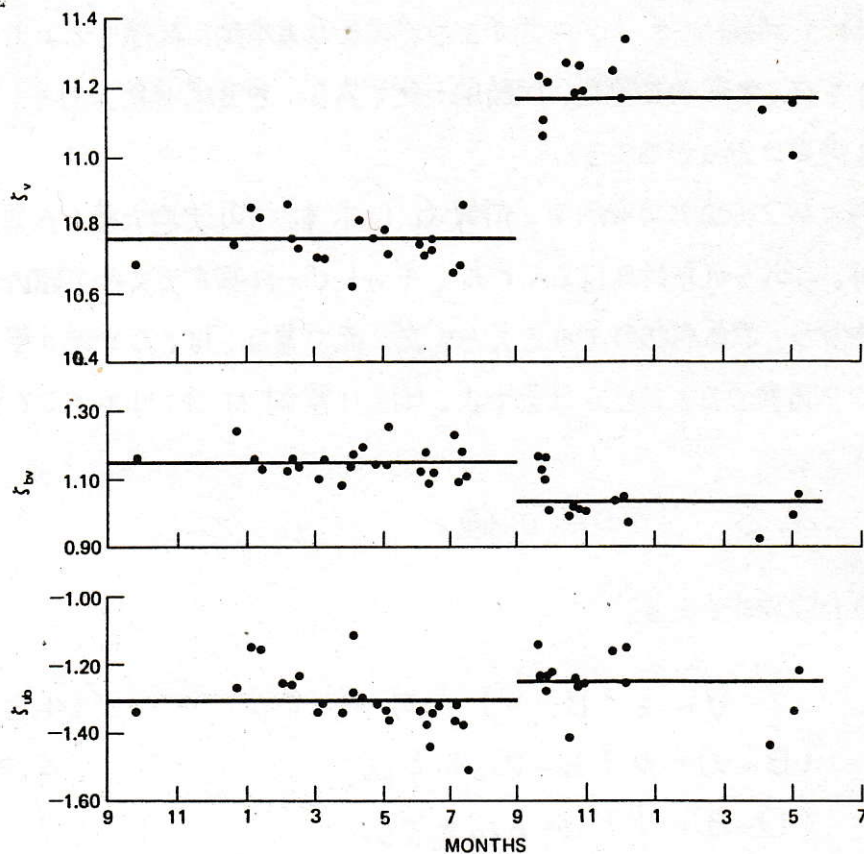


Figure 4.1 Example of zero points.

している。ばらつきは、主にゼロ点を計算するのに標準星をいしき使わなかったことと、空の透明度が異なるためによつておこる。ゼロ点の値は、夜ごとに決めなければならない。

4.6 標準システムの等級と色

一度変換係数を決めれば、夜ごとの減光値とゼロ点の移動と共に、式4.28, 4.29, 4.22を大気外の器械等級と色を決めるのに使うことができる。その値を、式4.32~4.34に代入すれば、標準システムの等級と色を求めることができる。このようにしてある標準星の値を求めると、それは受け入れられてゐる値とは同じでないかも知れないが、それは統計的バラツキとその夜の質のせいであらう。しかし、幾夜かの平均値をといば、より値を示すことであらう。

4.7 変換係数

標準システムAの変換係数は、等級と色がわかっている標準システムEいくつかを測定することで、式4.32～4.34を使って直接的に決定することができる。これは、Vの係数Eを決定するのに使われる方法である。

$$V - V_0 = \epsilon(B - V) + \xi_v \quad (4.38)$$

(B-V) に対する (V - V₀) をプロットしたもののベストフィット直線の傾きが、求める係数 ϵ である。

ここで、V₀ に対する V をプロットするのではなく、この2つの等級の差 V - V₀ をプロットしたのは、その方がどちらか一方の等級の小さな変化を拡大できるのでより正確に値を決定できるからである。例えば、v が 8.79 から 8.80 へ 1% 以下の変化があったとする。V が 8.85 であるとするば、V - V₀ = 0.06 から 0.05 へ変わり、これは 20% の違いになる。

一方、色指数に関する2つの式は、差の形になっている。しかし、これらの式を、大気外の器機的色について解くことにより、差の形にもっていくことができる。すなわち、b-v について考えれば、

$$(b-v)_0 = \frac{(B-V) - \xi_{bv}}{\mu} \quad (4.39)$$

また、式4.33の両辺から大気外の器機的色 (b-v)₀ を引けば

$$\begin{aligned} (B-V) - (b-v)_0 &= \mu(b-v)_0 - (b-v)_0 + \xi_{bv} \\ &= (\mu - 1)(b-v)_0 + \xi_{bv} \end{aligned}$$

この式の右辺に式4.39を代入して整理すれば

$$(B-V) - (b-v)_0 = \left(1 - \frac{1}{\mu}\right)(B-V) + \frac{\xi_{bv}}{\mu} \quad (4.40)$$

(U-B) についても、同様にして次式を得る、

$$(U-B) - (u-b)_0 = (1 - \frac{1}{\psi})(U-B) + \frac{\xi_{ub}}{\psi} \quad (4.41)$$

式 4.40 と 4.41 は 4.38 と共に、変換係数を決定するために使う式である。
式 4.38 と 4.40 では (B-V) に対して、式 4.41 では (U-B) に対して
それぞれの式の左辺の値をプロットすれば、変換係数をあらわす傾きが得られる。

実際には、変換係数を求めるために、ふつう 2 つの方法が使われる。

1. Johnson のリスト (付録 C) から、標準星をいくつか選んで測光し、
変換係数を求める。

この方法では、大きく色が異なった明るい星を使うことができる。しかしこの方法は、減光係数を正確に知らなければならぬという難点がある。最低 10 個、できれば 20 個以上の標準星を、(B-V) と (U-B) の広い範囲で選び出し、天頂付近にあるとき観測する。

Johnson のリストは、 ± 0.02 等の誤差が含まれているので、それ以上の精度を得られた結果に求めてはならない。

2. 標準星として 標準星団 (付録 D) の星を使う。

この方法は、減光係数を正確に知らなくてもよいが、星が暗いという欠点がある。ほとんどの星団は 4 等から 6 等以下であるということ、特に赤い星は、高温の青い星よりも暗いということから、より誤差が大きくなるということである。他の問題は、星団の測光に関しては Johnson の値自体に系統的誤差があるために、ある星団の観測から求めた変換係数と他の星団から求めたものとの間で、差があるということである。これは、小さな欠点ではあるが、心に留めておいて下さい。

望遠鏡が 25 cm 以下であれば、1 の方法をすすめる。それより大きい望

遠鏡であれば、2の方法がよいであろう。ふつうは、観測シーズンの始めと終りに、1夜か2夜、変換係数を注意深く求める。その観測には、条件のより夜の半分の費やしなさい。変換係数は、時間的に大へんゆっくり変化するので、ふつうは平均値を使えば十分である。2の方法では、できれば異なる星団を使って係数を求めてみるとよい。

付録Hには、1の方法を直流法で、2の方法をフォトンカウンターを使った実例で示した。

4.8 差別光法 (Differential Photometry)

差別光法のデータ整約は、これまでの説明とはいく分異なった扱いをする。ほとんどの光電測光の初心者にとっては、差別光法がその出発点であろうから、この方法の整約過程を詳しく述べよう。

観測は、9.3c節ですすめる方法に従ってなされたとする。変光星の測定は比較星の測定によってはさまれている。

表. 4.1 は食連星 UZ Leo の観測の一部のリストである。この例では、直流法が用いられた。オ1, 2, 3 らんは、それぞれ、天体名、観測時刻の世界時、フィルターをあらわす。オ4 らんは、アンプのゲインを等価であらわしたものの、オ5, 6 らんは、星と空のパンレコーダーのふれである。

1. オ1ステップは、星から空を引くことである。その結果がオ7 らんに出ている。フォトンカウンターの場合は、特に明るい星のとき、空を引く前に不感時間の補正(4.2節)をほどこす。

2. オ7 らんの観測は、次のようなパターンで行なわれた。

CVV... VVCVV... VVCVV... VVCVV... VVC...

オ1ブロック オ2ブロック オ3ブロック オ4ブロック

TABLE 4.1. Differential Photometry Data

Object	UT	Filter	Gain	Star	Sky	Net	Δv	Δb	Δu	ΔV	$\Delta(B - V)$	$\Delta(U - B)$
Comp. UZ Leo	2:40	V	10.505	40.2	12.0	28.2						
		B	10.505	50.0	12.0	38.0						
		U	11.938	44.3	24.0	20.3				0.628		
		V	11.034	41.2	15.1	26.1	0.628	0.689	0.717		0.057	0.033
Block 1	2:42	B	11.034	48.4	15.1	33.3				0.633		
		U	12.432	50.7	33.6	17.1						
		V		41.1		26.0	0.633	0.689	0.743		0.052	0.064
		B		48.4		33.3				0.616		
Comp.	2:45	U		50.3		16.7	0.616	0.676	0.698		0.056	0.026
		V		41.5		26.4						
		B		48.8		33.7						
		U		51.0		17.4						
UZ Leo	2:59	V	10.505	41.0	12.0	29.0						
		B	10.505	51.2	12.0	39.2						
		U	11.938	46.2	24.5	21.7				0.634		
		V	11.034	41.8	15.3	26.5	0.634	0.687	0.762		0.049	0.075
Block 2	3:01	B	11.034	49.2	15.3	33.9				0.626		
		U	12.432	51.4	34.6	16.8						
		V		42.0		26.7	0.626	0.677	0.693		0.047	0.016
		B		49.5		34.2						
Comp.	3:04	U		52.5		17.9	0.622	0.661	0.693		0.036	0.038
		V		42.1		26.8				0.622		
		B		50.0		34.7						
		U		52.5		17.9						
Block 2	3:04	V	10.505	41.2	11.8	29.4						
		B	10.505	51.0	11.8	39.2						
		U	11.938	45.3	24.0	21.3						
		V		45.3		21.3						

Average: $\Delta V = 0.626 \pm 0.007$ (s.d.)
 $\Delta(B - V) = 0.049 \pm 0.007$
 $\Delta(U - B) = 0.042 \pm 0.024$

ここで、CとVは、比較星と変光星の測定(フィルターをそれぞれかえている)。データは、変光星の数夜の測定を2つの比較星の測定ではさんだブロック構造になっている。それぞれのブロックは、ブロックの初めと終りに割った比較星の平均値を使って整約を行なう。ブロックごとに、それぞれの変光星の測定の ΔU , Δb , Δu の値を求めるために、式2.38~2.40または式2.35~2.37を使う。(→ P. 23以下を参照のこと)

この手順を、おぼてのブロックについて行なう。

あるブロックの終りにある比較星の測定が、次のブロックの最初のものとして2回役目を果している。#8, 9, 10らは、等級差を計算したものである。いくつかの結果をチェックしてみて下さい。

多くの場合、差測光法では、減光補正は無視するので整約はこの段階でストップする。多くの研究計画では、標準システムに変換することは不要である。

しかし、変光星と比較星が 1° 以上はなれていけば、減光補正をほどこすことは賢明なことである。この補正を行なう実例を、付録Gにのせた。表4.1のデータの場合、この補正は不要である。

変換係数が既知であると、等級差もその器械のものから標準システムへと変換することができる。

3. この例に使った器械では、 $\varepsilon = -0.004$, $\mu = 0.927$, $\psi = 1.178$ である。式2.41と2.42を使って、それぞれの星について $\Delta(b-u)$ と $\Delta(u-b)$ を計算する。式2.49と2.50は、 $\Delta(B-V)$ と $\Delta(U-B)$ を計算するのに使う。式2.48で ΔV を計算する。

#11, 13らの結果をいくつかチェックしてみして下さい。

等級と色が、ナチュラルシステムのものと標準システムに変換したもののとの差は、事実上無視できることに注意せよ。これは、フォトマルとフィルターが、標準システムとよく合っていることを意味している。

もし、比較星の値を標準システムに直してあるなら、式 2.51 ~ 2.53 により変光星の実際の等級と色を計算できる。この例では、別な夜に比較星を標準システムに直してあり

$$V = 8.952 \pm 0.038 \text{ (標準偏差)}$$

$$(B-V) = 0.287 \pm 0.012$$

$$(U-B) = 0.039 \pm 0.058$$

そして、 $\alpha_{11}, 12, 13$ さんの $\Delta V, \Delta(B-V), \Delta(U-B)$ の値を平均すれば、 $UZ\ Leo$ の等級と色を計算できる。すなわち

$$V = 8.95 + 0.63 = 9.58$$

$$(B-V) = 0.28 + 0.05 = 0.34$$

$$(U-B) = 0.04 + 0.04 = 0.08$$

これらの値の確率誤差は、比較星と変光星の標準偏差の幾何平均をとることにより求められる。すなわち、

$$\text{確率誤差} = 0.675 \sqrt{\sigma_{cc}^2 + \sigma_{変}^2}$$

結局

$$V = 9.58 \pm 0.03 \text{ (確率誤差)}$$

$$B-V = 0.34 \pm 0.01$$

$$U-B = 0.08 \pm 0.04$$

$U-B$ に誤差が大きいのは、比較星も $UZ\ Leo$ も共に、 U で暗いためである。

4.9 $(U-B)$ の問題

第2章で $(U-B)$ の2次減光係数は、勝手に0であると定義した。しかし k_{ub} は k_{bv} より大きな補正を行なうことができる。それは、 U の減光は、次のようなことに依存するからである。

1. バルマー不連続
2. 2次の色の項 (the second-order color term)
3. オリジナルのUBVのデータは、 k_{ub} は一定と仮定したため、
伝統的に、非線形の残差がある。

これらの問題のために、U-Bの色は不正確で、十分定義されていない、不幸にも、現存システムは伝統的になってしまっていて、UBVシステムを再び定義し直すことは、とても難しい。

最もよい解決法は、1次と2次の減光を考慮して $(u-b)_0$ の値を正しく計算し、その u , b , v のデータを、現存する非理想的なUBVシステムに変換することである。

以下、Moffat and Vogt²⁾によって述べられた、そのような変換法を示す。この種の補正は、込み入っていて、光電測光に経験をつんだ人が試みるべきであろう。

Moffat and Vogt は、どんな星でも $(U-B)$ の残差は、大気量 X に対して、大へん直線的であることを見出した。つまり、

$$\Delta[(U-B) - (u-b)_0] = \gamma_1 + \gamma_2 X \quad (4.42)$$

この式をプロットすると、 γ_1 と γ_2 が直線関係にあることを示している。すなわち

$$\gamma_2 = \beta \gamma_1$$

そこで

$$\beta \simeq -0.27$$

したがって、式4.42を次のように書き直す。

$$\Delta[(U-B) - (u-b)_0] = \gamma_1(1 + \beta X) \quad (4.43)$$

ここで、 β は定数であり、 γ_1 はスペクトル型または色についての関数である。こうして、 $(U-B)$ の違いを補正する問題は、 γ_1 を決定することに基づかれる。しかし、 γ_1 は $(U-B)$ と非線形な関係であり、さらに、 $(U-B)$ の一義的な関数でもない。しかし、 γ_1 は、Johnson and Morgan³⁾の赤化フリーパラメータと似たパラメータ g の直線的かつ一義的な関数である。つまり

$$\gamma_1 = \rho g \quad (4.44)$$

ここで

$$g = (U-B) - 1.05(B-V) \quad (4.45)$$

$(U-B)$ を補正するためには、次の手順による。

1. それぞれの標準星について、式4.45によって g を決める。
2. それぞれの標準星について、次の式によって γ_1 を決める。

$$\gamma_1 = \frac{(U-B) - (u-b)_0}{1 + \beta X} \quad (4.46)$$

3. g に対する γ_1 をプロットし、式4.44により ρ を求める。
4. すべての未知の星について、 $(U-B)$ を次式で補正する。

$$(U-B) = \psi(u-b)_0 + \xi_{ub} + \rho g(1 + \beta X) \quad (4.47)$$

この手順によって、 $(U-B)$ の外部平均誤差を、約0.02等へらすことができる。これを行わないと、平均誤差は約3倍になる。 k''_{bv} が $(B-V)$ の式に含まれるのと同様に、 k''_{ub} をすべての式に含ませる。

REFERENCES

1. Hardie, R. H. 1962. In *Astronomical Techniques*. Edited by W. A. Hiltner. Chicago: Univ. of Chicago Press, chapter 8.
2. Moffat, A. F. J., and Vogt, N. 1977. *Pub. A.S.P.* **89**, 323.
3. Johnson, H. L., and Morgan, W. W. 1953. *Ap. J.* **117**, 313.

ここで 4.8 節で必要な式が説明されている。2.6 節を抜き出して訳す。

補

2.6 差測光法

差測光法の実際の観測は、一連の測定データから成る。つまり、変光星と比較星について、3色フィルターを通した物あたりのカウント数(フォトンカウンターの場合)、あるいはペンレコーダのぶれ(直流流の場合)で与えられる。

V, B, U の各フィルターを通した測定値を d_v , d_b , d_u とし、2番めの小文字で、変光星(x)と比較星(c)を区別すれば、各フィルターごとの変光星と比較星の等級差は、次の式であらわされる。

$$\Delta v = -2.5 \log \frac{d_{vx}}{d_{vc}} \quad (2.35)$$

$$\Delta b = -2.5 \log \frac{d_{bx}}{d_{bc}} \quad (2.36)$$

$$\Delta u = -2.5 \log \frac{d_{ux}}{d_{uc}} \quad (2.37)$$

この3つの式は、フォトンカウンターの場合である。直流法を使った場合は、おそらくアンプのゲインの差を考慮しなければならぬだろう。すなわち、

$$\Delta v = -2.5 \log \frac{d_{vx}}{d_{vc}} + G_{vx} - G_{vc} \quad (2.38)$$

$$\Delta b = -2.5 \log \frac{d_{bx}}{d_{bc}} + G_{bx} - G_{bc} \quad (2.39)$$

$$\Delta u = -2.5 \log \frac{du_x}{du_c} + G_{ux} - G_{uc} \quad (2.40)$$

上の3つの式で、付け足した項は、変光星と比較星に使ったアンプのゲインを等級であらわしたものの差である。オ8章では、このゲインのキャリブレーションのやり方を議論する。

変光星と比較星との色指数の差として、上で使ったのと同じ測定値を使うことは可能である。すなわち

$$\begin{aligned} \Delta(b-v) &= (b_x - v_x) - (b_c - v_c) \\ &= (b_x - b_c) - (v_x - v_c) \\ &= \Delta b - \Delta v \end{aligned} \quad (2.41)$$

同様に

$$\Delta(u-b) = \Delta u - \Delta b \quad (2.42)$$

初心者は、これより先のデータ整頓に進まなくてよいだろう。ここまでの差測光で可能なたくさんの価値ある観測対象があるからであり、それはオ10章で述べる。

まれに、差測光にも小さな減光補正をほどこす必要があるかも知れない。というのは、変光星と比較星はほとんどの場合、掩蔽していて、大気量は等しいとみなせるからである。しかし、時には適切な比較星が、1°以内に見つからない場合がある。この場合は、2つの星で大気量は異なると考えなければならぬ。そして、式2.35~2.37 (または式2.38~2.40) は、大気減光の補正をほどこし、次のようにあらわされる。

$$(\Delta v)_0 = \Delta v - k'_v (X_x - X_c) \quad (2.43)$$

$$(\Delta b)_0 = \Delta b - k'_b (X_x - X_c) \quad (2.44)$$

$$(\Delta u)_0 = \Delta u - k'_u (X_x - X_c) \quad (2.45)$$

ここで、 X_x は変光星の、 X_c は比較星の、観測した時刻での大気量である。

色指数の差は、次のように書直される。

$$\Delta(b-v)_0 = \Delta(b-v) - k'_{bv}(X_x - X_c) - k''_{bv}\Delta(b-v)\bar{X} \quad (2.46)$$

$$\Delta(u-b)_0 = \Delta(u-b) - k'_{ub}(X_x - X_c) \quad (2.47)$$

ここで、 $\bar{X}$ は変光星と比較星の大気量の平均である。

以上の等級と色の差は、使った測光システムでの器械的な値であるという点を強調しておく。しかし、UBV標準システムでの差測光に直すことができる。その手順は、比較星をいくつかのUBV標準星と比べて観測することである。そして、比較星の V 、 $(B-V)$ 、 $(U-B)$ を決定する。うまくいけば、これはたった一夜だけで観測できる。他の夜は全て、変光星と比較星の観測だけでよい。標準システムでの変光星と比較星との等級と色の差は、次式で求められる。

$$\Delta V = (\Delta v)_0 + \epsilon \Delta(B-V) \quad (2.48)$$

$$\Delta(B-V) = \mu \Delta(b-v)_0 \quad (2.49)$$

$$\Delta(U-B) = \psi \Delta(u-b)_0 \quad (2.50)$$

2つの星がよく似た色であれば、式4.48の ϵ 項はほとんど0になる。さらに、IP21と標準のUBVフィルタを使った測光器では μ と ψ はほぼ1である。つまり、キャリブレーションしていない測光器でも、した測光器と同じ等級と色を示す。比較星を標準システムでの値に直したことの真の利点は、次式によって変光星の実際の標準システムでの等級と色を計算できることである。

$$V_x = V_c + \Delta V \quad (2.51)$$

$$(B-V)_x = (B-V)_c + \Delta(B-V) \quad (2.52)$$

$$(U-B)_x = (U-B)_c + \Delta(U-B) \quad (2.53)$$

MEMO

付 録 A

1次減光係数決定のための標準星

このリストには、1次減光係数を決めるのに役に立つ星をのせた。星を選択するにあたっては、いくつかの出典から次の基準によって選んだ。

1. V等級で4.0等より暗いこと
2. $-0.15 \leq B-V \leq +0.15$
3. $-0.15 \leq U-B \leq +0.15$
4. 接近した可視あるいは分光重星でないこと
5. 特異なスペクトルをもたないこと
6. 変光星であることがわかっている星でないこと

以下の表の座標は、SAO星表の1950年分点のものと固有運動を補正して1985年の値である。表 A.1は北天の、A.2は南天の星をリストした。等級と色の値は、最右らんに次の記号であらわした文献によった。

AZ-TNT = Iriarte et al.¹⁾ COUSINS = Cousins²⁾

JOHNSON = Johnson³⁾

もっと暗い星が必要な時は、Landolt⁴⁾の赤道帯の標準星リストが役立つ。

REFERENCES

1. Iriarte, B., Johnson, H. L., Mitchell, R. I., and Wisniewski, W. K. 1965. *Sky and Tel.* 30, 25.
2. Cousins, A. W. J. 1971. *Roy. Obs. Annals*, No. 7.
3. Johnson, H. L. 1963. In *Basic Astronomical Data*. Edited by K. AA Strand. Chicago: Univ. of Chicago Press, p. 208.
4. Landolt, A. U. 1973. *A. J.* 78, 959.

TABLE A.1. Northern First-Order Extinction Stars

HR	R.A.	(1950.0)	DEC.	R.A.	(1985.0)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
0063	14 28.3	+38 24	14.9	16 18	38 35	54	0.61	0.07	A2V	THE AND	JOHNSON
0068	15 42.5	+36 30	29.7	17 32	36 42	9	4.50	0.07	A2V	SIG AND	AZ-TNT.
0343	1 8 2.6	+54 53	4.3	1 10	9 55	4 14	4.36	0.17	A7V	THE CAS	JOHNSON
0378	1 15 13.0	+3 21	6.2	1 17	1 33	2 9	5.15	0.07	A3V	89 PSC	COUSINS
0383	1 16 42.7	+27 0	6.8	1 18	38 32	9	4.76	0.03	A3V	UPS PSC	AZ-TNT.
0580	1 59 7.2	+72 10	50.8	2 2	8 72	20 57	3.98	0.01	A1V	50 CAS	AZ-TNT.
0620	2 5 27.7	+37 37	22.8	2 7	34 37	20	4.83	0.12	A4V	58 AND	AZ-TNT.
0664	2 14 20.0	+33 37	1.5	2 16	24 33	46 44	4.01	0.03	A0V	GAM TRI	AZ-TNT.
0718	2 25 29.8	+8 14	13.1	2 27	21 8 23	36	4.28	0.06	B9III	CHI2 CET	JOHNSON
0879	2 55 33.3	+39 27	50.7	2 57	47 39	36 13	4.70	0.05	A2V	PI PER	AZ-TNT.
0932	3 6 27.7	+74 12	22.1	3 10	16 74	20 19	4.87	0.03	A0V	ZET ARI	AZ-TNT.
0972	3 12 1.3	+20 51	37.9	3 14	2 20	59 25	4.89	0.02	A0IV	32 PER	AZ-TNT.
1002	3 18 5.0	+43 9	2.0	3 20	26 43	16 34	4.94	0.06	A3V	GAM CAM	AZ-TNT.
1148	3 45 2.9	+71 10	51.6	3 48	45 71	17 16	4.66	0.03	B9V	LAM PER	AZ-TNT.
1261	4 2 50.9	+50 13	3.3	4 5	27 50	18 43	4.29	0.02	A2	8 PER	AZ-TNT.
1324	4 14 28.4	+50 10	28.9	4 17	6 50	15 37	4.65	0.05	A7V	KAP TAU	AZ-TNT.
1387	4 22 23.1	+22 10	51.9	4 24	28 22	15 38	4.23	0.12	A3V	68 TAU	COUSINS
1389	4 22 35.6	+17 48	55.2	4 24	36 17	53 41	4.29	0.04	A3	PI2 ORI	AZ-TNT.
1448	4 31 28.5	+5 27	54.9	4 33	20 5	32 16	5.68	0.05	A0V	PI1 ORI	COUSINS
1544	4 47 53.0	+8 48	57.6	4 49	47 8 52	31	4.35	0.01	A0V	38 ORI	COUSINS
1570	4 52 8.4	+10 4	22.5	4 54	3 10 7	44	4.66	0.08	B8V	136 TAU	COUSINS
1724	5 14 5.2	+1 53	36.5	5 15	54 1	55 53	6.42	0.02	B9	60 ORI	COUSINS
1807	5 23 57.1	+6 49	38.7	5 25	50 6 51	25	6.42	0.02	A2	22 CAM	AZ-TNT.
1872	5 31 38.8	+3 44	3.5	5 33	29 3 45	27	5.35	0.04	A1	2 LYN	COUSINS
2034	5 50 11.0	+27 36	8.5	5 52	22 27	36 35	4.61	0.02	A0.5I	14 MON	COUSINS
2103	5 56 15.2	+0 32	59.7	5 58	3 0 33	8	5.21	0.00	A0.5I	16 LYN	AZ-TNT.
2174	6 6 21.2	+2 30	32.8	6 8	10 2 30	10	5.73	0.06	A0V		COUSINS
2209	6 13 20.4	+69 20	27.1	6 17	11 69	19 40	4.79	0.03	A2V		COUSINS
2238	6 15 12.7	+59 1	54.2	6 18	17 59	1 2	4.47	0.01	A0		COUSINS
2404	6 32 3.8	+7 36	45.8	6 33	57 7 35	6	6.44	0.01	A0		COUSINS
2543	6 49 2.1	+3 6	10.6	6 50	52 3 3	38	6.38	0.04	A0		COUSINS
2594	6 52 51.4	+8 23	23.1	6 54	45 8 20	39	6.28	0.04	A2V		AZ-TNT.
2595	6 53 58.3	+45 9	40.7	6 56	31 45	6 53	4.90	0.04	A0		COUSINS
2659	6 59 2.2	+4 53	26.2	7 0	53 4 50	24	6.63	0.06	B9		COUSINS
2654	7 1 44.8	+1 33	50.6	7 3	33 1 30	41	6.56	0.01	A0		COUSINS
2710	7 9 11.3	+5 44	20.7	7 11	3 5 40	49	6.08	0.02	A0		COUSINS
2751	7 14 44.3	+49 33	22.1	7 17	23 49	29 33	5.04	0.08	A3III		AZ-TNT.

NORTHERN FIRST ORDER EXTINCTION STARS

	(1950.0)			(1985.0)								
HR	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
2818	7 22 56.8	+49 18 46.7	7 25 35	49 14 34	4.63	-0.02	-0.02	-0.02	A1V	21 LYN	AZ-TNT.	
2946	7 38 47.2	+58 49 47.0	7 41 44	58 44 49	4.99	-0.08	-0.08	-0.09	A3III	24 LYN	AZ-TNT.	
3057	7 50 26.4	+26 53 48.7	7 52 34	26 48 20	4.99	-0.09	-0.09	-0.12	A4V	PHI GEM	AZ-TNT.	
3136	7 58 35.2	+5 1 7.3	8 0 26	4 55 17	5.64	-0.08	-0.08	-0.01	A0	COUSINS	COUSINS	
3173	8 4 42.3	+51 39 9.9	8 7 20	51 33 3	4.84	-0.05	-0.05	-0.01	A0	27 LYN	AZ-TNT.	
3410	8 35 06.6	+5 52 45.6	8 36 51	5 45 24	4.17	-0.08	-0.08	-0.02	A0V	DEL HVA	AZ-TNT.	
3442	8 35 22.7	+9 45 2.4	8 37 16	9 37 40	6.52	-0.02	-0.02	-0.04	A0	37 CMC	COUSINS	
3449	8 40 23.7	+21 38 58.8	8 42 25	21 31 24	4.66	-0.02	-0.02	-0.01	A1V	GAM CMC	AZ-TNT.	
3492	8 45 47.1	+6 1 25.1	8 47 38	5 53 38	4.37	-0.05	-0.05	-0.05	A0V	RHO HVA	AZ-TNT.	
3573	8 55 33.2	+1 44 8.5	8 57 21	1 36 08	6.59	-0.06	-0.06	-0.08	A0	COUSINS	COUSINS	
3651	9 9 36.2	+4 4 23.2	9 11 25	3 55 44	6.14	-0.08	-0.08	-0.04	A2V	26 UMA	AZ-TNT.	
3799	9 31 24.6	+52 16 30.2	9 33 48	52 7 8	4.50	-0.08	-0.08	-0.04	A1V	7 SEX	COUSINS	
3906	9 49 37.4	+2 41 17.3	9 51 26	2 31 24	6.02	-0.04	-0.04	-0.08	A1V	21 LMT	JOHNSON	
3974	10 4 29.2	+35 29 21.4	10 6 32	35 19 5	4.49	-0.19	-0.19	-0.07	A7V	OMI UMA	AZ-TNT.	
4248	10 51 6.5	+43 27 24.0	10 53 6	43 16 12	4.71	-0.05	-0.05	-0.06	A1V	60 LEO	AZ-TNT.	
4300	10 59 39.8	+20 26 54.2	11 1 31	20 15 36	4.41	-0.04	-0.04	-0.04	A1V	69 LEO	COUSINS	
4356	11 11 11.9	+0 12 9.9	11 12 59	0 0 43	5.42	-0.02	-0.02	-0.05	A0	SIG LEO	AZ-TNT.	
4386	11 18 33.5	+6 18 13.1	11 20 21	6 6 42	4.06	-0.07	-0.07	-0.12	B9V	55 UMA	AZ-TNT.	
4388	11 16 24.7	+38 27 36.4	11 18 19	38 16 6	4.79	-0.12	-0.12	-0.03	A2V	4 VIR	COUSINS	
4528	11 45 20.8	+8 31 25.3	11 47 8	8 19 44	5.31	-0.02	-0.02	-0.04	A1	7 VIR	COUSINS	
4505	11 57 23.2	+3 56 1.0	11 59 10	3 44 19	5.36	-0.08	-0.08	-0.08	A0	P1 VIR	AZ-TNT.	
4589	11 58 18.6	+6 53 35.1	12 0 6	6 41 53	4.67	-0.13	-0.13	-0.10	A4V	23 COM	COUSINS	
4789	12 32 21.6	+22 54 15.4	12 34 6	22 42 41	4.81	-0.00	-0.00	-0.01	A0	RHO VIR	AZ-TNT.	
4805	12 35 31.4	+3 33 26.5	12 37 18	3 21 53	6.32	-0.01	-0.01	-0.01	A0	COUSINS	COUSINS	
4828	12 39 21.2	+10 30 39.2	12 41 7	10 19 8	4.88	-0.09	-0.09	-0.06	A1V	80 UMA	JOHNSON	
5021	13 16 19.0	+3 57 1.6	13 18 5	3 45 59	6.62	-0.06	-0.06	-0.02	A1V	24 CVN	AZ-TNT.	
5037	13 19 9.0	+2 20 57.8	13 20 55	2 9 58	5.70	-0.05	-0.05	-0.02	A0	TAU VIR	AZ-TNT.	
5062	13 23 16.5	+55 14 53.0	13 24 39	55 3 57	4.03	-0.15	-0.15	-0.09	A5V	P1 SER	AZ-TNT.	
5112	13 32 24.8	+49 16 15.8	13 33 50	49 5 31	4.70	-0.12	-0.12	-0.11	A4V	15 DRA	AZ-TNT.	
5264	13 59 5.9	+1 47 8.5	14 0 52	1 37 0	4.27	-0.09	-0.09	-0.14	A3III	SIG HER	AZ-TNT.	
5859	15 42 55.0	+5 36 10.0	15 44 38	5 29 37	5.58	-0.04	-0.04	-0.03	A0V	60 HER	AZ-TNT.	
5972	16 0 8.4	+22 55 31.0	16 1 38	22 50 42	4.83	-0.07	-0.07	-0.05	A3V	69 HER	AZ-TNT.	
6161	16 28 4.2	+68 52 34.8	16 28 0	68 48 0	5.01	-0.06	-0.06	-0.10	B9IV			
6168	16 32 29.3	+42 32 21.1	16 33 37	42 28 1	4.20	-0.02	-0.02	-0.10	B9V			
6355	17 3 3.4	+12 48 29.1	17 4 40	12 45 38	4.91	-0.12	-0.12	-0.06	A3IV			
6436	17 15 56.7	+37 20 34.1	17 17 9	37 18 21	4.66	-0.05	-0.05	-0.03	A2V			

TABLE A.2. Southern First-Order Extinction Stars

HR	(1950.0) DEC.		(1985.0) DEC.		V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
0125	0 29	0 6	-49	4 47.3	4.77	0.01	0.04	A0V	LAMIPHE	COUSINS
0191	0 41	6.8	-57	44 13.2	4.36	0.00	0.03	A0V	ETA PHE	COUSINS
0444	1 30	33.9	-9	16 16.3	6.59	0.04	0.10	A0	PHE	COUSINS
0558	1 52	17.6	-42	44 30.2	5.11	0.05	0.14	B9	60 CET	COUSINS
0607	2 0	37.6	-0	6 42.3	5.42	0.14	0.13	A5		COUSINS
0653	2 13	0.8	-9	41 52.7	6.54	0.01	0.07	A0		COUSINS
0684	2 17	9.9	-4	34 28.9	6.50	0.07	0.08	A2	DEL HYI	COUSINS
0705	2 20	51.2	-68	53 11.8	4.08	0.03	0.05	A2V	RHO CET	AZ-TNT
0708	2 23	32.0	-12	60 54.3	4.89	0.02	0.04	B9V		COUSINS
0789	2 37	53.6	-43	6 19.7	4.74	0.06	0.06	A2V	EPS HYI	COUSINS
0806	2 38	48.8	-68	28 50.9	4.11	0.06	0.13	B9III	ZET HYI	COUSINS
0837	2 44	45.9	-67	49 35.4	4.83	0.05	0.08	A2		JOHNSON
0875	2 54	6.9	-3	54 45.0	5.16	0.08	0.06	A1V		COUSINS
0892	2 56	10.7	-2	58 51.2	5.23	0.00	0.04	A2	XSI ERI	COUSINS
1272	4 3	31.9	-8	59 23.9	6.26	0.06	0.08	A3V		COUSINS
1383	4 21	11.3	-3	51 34.8	5.18	0.07	0.08	A1V		COUSINS
1522	4 43	53.7	-3	2 35.1	6.33	0.04	0.06	A2		COUSINS
1596	4 55	39.6	-2	17 18.2	6.34	0.09	0.11	A0		COUSINS
1621	4 59	15.3	-20	7 24.0	4.91	0.05	0.15	B9		AZ-TNT
1762	5 18	18.7	-21	17 19.2	4.70	0.05	0.11	A0V		COUSINS
1826	5 26	26.9	-3	20 47.5	4.81	0.14	0.09	A4IV	49 ORI	AZ-TNT
1937	5 36	27.8	-7	14 21.4	5.95	0.10	0.08	A0		COUSINS
2039	5 49	44.5	-9	3 11.3	6.28	0.05	0.06	A0	THE LEP	COUSINS
2071	5 53	7.3	-4	47 41.5	4.67	0.05	0.03	A1V		AZ-TNT
2155	6 3	53.5	-14	55 45.5	6.14	0.01	0.03	A0		COUSINS
2195	6 8	35.4	-6	44 31.6	6.62	0.04	0.08	A0		COUSINS
2210	6 10	13.8	-2	29 26.5	6.66	0.06	0.00	B9		COUSINS
2295	6 20	54.4	-4	39 37.4	6.26	0.03	0.10	A0		COUSINS
2328	6 24	19.3	-7	28 49.6	4.54	0.04	0.02	A0V	CH12CMA	AZ-TNT
2414	6 32	57.6	-22	55 26.1	4.15	0.03	0.03	A0IV	DEL MON	AZ-TNT
2714	7 9	18.6	-0	24 30.4	4.61	0.07	0.08	A3V		COUSINS
3131	7 57	37.5	-18	15 39.2	5.80	0.00	0.00	A0		COUSINS
3383	8 31	29.9	-1	58 46.8	4.14	0.10	0.12	A9II		COUSINS
3426	8 35	53.1	-42	48 47.9	6.62	0.02	0.02	A0		COUSINS
3437	8 38	36.1	-8	52 23.8	4.77	0.12	0.12	A5II		COUSINS
3452	8 39	34.6	-47	8 16.2	4.77	0.12	0.12	A3V	DEL PYX	COUSINS
3556	8 53	22.8	-27	29 18.7	4.88	0.12	0.15			

3615	9	1	39.8	-66	11	46.2	9	2	12	-66	28	6	4.88	8.15	8.14	A5V	ALF VOL	COUSINS			
3787	9	29	26.8	-	8	57	48.8	9	31	13	-	1	7	5	4.56	8.11	8.09	A3111	TAU2HYA	AZ-TNT.	
3832	9	35	24.3	-	9	11	56.8	9	37	7	-	9	21	24	6.48	-8.04	-8.09	A8	34 HYA	COUSINS	
3981	18	5	22.7	-	8	7	35.3	18	7	18	-	8	17	52	4.49	-8.04	-8.07	A8111	ALP SEX	AZ-TNT.	
3989	18	7	38.4	-	8	9	42.8	18	9	22	-	8	28	2	5.98	8.02	-8.06	A8	17 SEX	COUSINS	
4189	18	26	11.9	-	3	29	9.7	18	27	58	-	3	39	54	6.84	8.04	8.05	A8		COUSINS	
4138	18	29	4.4	-71	44	7.8	18	29	57	-71	54	54	4.73	8.03	8.07	A2V		COUSINS			
4293	18	57	51.3	-41	57	26.4	18	59	27	-42	8	43	4.38	8.11	8.13	A21V	BET CRT	COUSINS			
4343	11	9	11.7	-22	33	9.8	11	18	55	-22	44	33	4.48	8.03	8.07	A2111		AZ-TNT.			
5163	13	41	17.9	-	5	14	52.8	13	43	7	-	5	25	24	6.52	8.04	8.02	A8		COUSINS	
5342	14	13	54.5	-	2	57	52.6	14	15	43	-	3	7	36	6.14	8.08	-8.01	A3		COUSINS	
5367	14	17	38.4	-37	39	23.1	14	19	38	-37	49	8	4.84	-8.03	-8.11	A81V	PSI CEN	COUSINS			
5489	14	41	54.7	-34	58	52.6	14	44	3	-35	7	44	4.92	8.02	-8.04	A1	BET CIR	COUSINS			
5678	15	13	34.9	-58	36	58.5	15	16	28	-58	44	41	4.86	8.09	8.08	A3V		COUSINS			
5724	15	22	5.1	-38	33	28.6	15	24	21	-38	48	51	4.68	8.08	-8.07	A81V		COUSINS			
5959	15	58	5.4	-	8	16	17.1	15	59	58	-	8	22	18	5.55	8.04	-8.04	A1	58 LIB	COUSINS	
6031	16	9	15.8	-	9	56	18.2	16	11	18	-18	1	33	4.92	8.09	8.18	A2V	PSI SCO	AZ-TNT.		
6078	16	15	12.8	-28	29	29.3	16	17	22	-28	34	36	4.77	8.02	-8.01	A8V	D SCO	AZ-TNT.			
6446	17	18	8.7	-12	47	52.1	17	19	58	-12	49	56	4.31	8.03	-8.03	A1V	NU SER	AZ-TNT.			
6519	17	28	21.7	-23	55	33.8	17	38	29	-23	57	6	4.81	8.08	-8.07	A1	51 OPH	COUSINS			
6581	17	38	36.1	-12	51	1.8	17	48	34	-12	52	3	4.24	8.08	8.18	A2V	OMI SER	AZ-TNT.			
6938	18	26	28.8	-14	35	58.8	18	28	28	-14	34	34	4.71	8.07	8.04	A3V	GAM SCT	AZ-TNT.			
6963	18	38	42.2	-	5	56	59.9	18	32	34	-	5	55	23	6.36	8.02	-8.05	A8		COUSINS	
7029	19	8	16.5	-	3	46	48.8	19	2	7	-	3	43	34	5.42	8.08	-8.07	A8	14 AQL	COUSINS	
7254	19	6	4.3	-37	59	3.5	19	8	26	-37	55	48	4.12	8.04	8.07	A2V	ALF CRA	COUSINS			
7448	19	33	48.8	-24	59	44.2	19	35	47	-24	55	2	4.59	-8.06	-8.12	B9	52 SGR	AZ-TNT.			
7773	28	17	53.5	-12	55	4.5	28	19	49	-12	48	24	4.76	-8.04	-8.11	B9V	NU CAP	AZ-TNT.			
8075	21	3	8.3	-17	25	57.8	21	5	5	-17	17	32	4.87	-8.01	8.01	A8V	THE CAP	AZ-TNT.			
8431	22	5	28.3	-33	14	8.3	22	7	38	-33	3	43	4.58	8.05	8.05	A2V	MU PSA	COUSINS			
8451	22	7	45.1	-	4	8	23.9	22	9	34	-	3	58	3	6.27	8.08	-8.07	A8	THE AGR	AZ-TNT.	
8573	22	28	8.1	-18	56	4.1	22	29	51	-18	45	17	4.82	-8.06	-8.12	A81V		COUSINS			
8848	23	12	59.7	-	3	46	9.2	23	14	47	-	3	34	41	5.55	8.06	8.05	A2		COUSINS	
8959	23	35	9.9	-45	46	9.1	23	37	2	-45	34	31	4.73	8.08	8.08	A2V	OM2 AGR	AZ-TNT.			
8988	23	48	7.8	-14	49	17.4	23	41	56	-14	37	38	4.51	-8.04	-8.13	B9.5V	DEL SCL	AZ-TNT.			
9016	23	46	19.5	-28	24	24.7	23	48	8	-28	12	44	4.57	8.08	8.08	A8V	2 CET	AZ-TNT.			
9098	8	1	18.8	-17	36	51.4	8	2	58	-17	25	9	4.56	-8.04	-8.12	B91V					

付録 B

2次減光係数決定のための星対

第4.4節で述べたように、2次減光係数は大きく異なる色をもった接近した1組の星対をさまざまな大気量で観測することにより決定できる。

赤道にある明るい星のリストは Crawford, Golson and Landolt¹⁾により出版された。Barnes and Moffett²⁾はこのリストを RとI等級にも拡張し、星を1つ付加した。これらの論文は 37個の星対のフライング4パートがついていて、とても役立つ。

Johnson と Tonantzintla と Cousins の標準星のうち、吸収決定に役立つ 23個の星をとり 表B.1 に 合計60個の星をリストした。

このリストの星を使った減光係数を求める例は、付録Gに述べてある。

REFERENCES

1. Crawford, D. L., Golson, J. C., and Landolt, A. U. 1971. *Pub. A. S. P.* 83, 652.
2. Barnes, T. G., III, and Moffett, T. J. 1979. *Pub. A. S. P.* 91, 289.

TABLE B.1. Second-Order Extinction Pairs

HR	(1950.0)		(1985.0)		V	B-V		U-B	SPEC.	NAME	OBS. KITT PK.
	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.		B-V	U-B				
*) 0011	0 5 10.3	- 2 49 37.3	0 6 57	- 2 37 55	6.45	-0.14	-0.46	88			
	0 5 38.4	- 2 43 33.6	0 7 25	- 2 31 52	6.13	1.34	1.11	K0			
0607	2 0 37.6	- 0 6 42.3	2 2 25	0 3 22	5.42	0.14	0.13	A5		60 CET	COUSINS
	0610	2 1 14.3	- 0 34 45.1	2 3 1 - 0 24 40	5.92	0.88	0.51	G5II		61 CET	COUSINS
0718	2 25 29.8	8 14 13.1	2 27 21	8 23 36	4.28	-0.06	-0.13	B9III		CH12 CET	JOHNSON
	0725	2 26 54.9	9 20 36.9	2 28 47	9 29 57	6.07	1.02	0.86	K2III		COUSINS
2 37 00.0	1 9 13.8	2 38 48	1 18 15	8 19 -0.05	-0.27	89				HD16581	KITT PK.
	2 37 11.0	1 54 57.1	2 38 59	2 3 58	8.31	1.51	1.79	K4		HD16608	KITT PK.
1373	4 20 2.8	17 25 36.8	4 22 3	17 30 30	3.76	0.99	0.83	K1III		DEL TAU	AZ-TNT.
	1389	4 22 35.6	17 48 55.2	4 24 36	17 53 41	4.29	0.04	0.08	A3V	68 TAU	AZ-TNT.
1534	4 46 1.6	3 33 44.7	4 47 51	3 37 24	7.32	-0.06	-0.31	89		HD30544	KITT PK.
	4 46 6.9	3 30 7.0	4 47 57	3 33 46	6.01	1.21	1.15	K0		HD30545	KITT PK.
1826	5 26 26.9	- 3 20 47.5	5 28 11	- 3 19 7	6.38	-0.01	-0.06	B9			COUSINS
	1830	5 26 54.0	- 3 29 5.3	5 28 38	- 3 27 26	5.80	1.15	1.07	G8		COUSINS
2071	5 53 7.3	- 4 47 41.5	5 54 50	- 4 47 23	6.28	0.05	0.06	A0			COUSINS
	2070	5 53 1.0	- 4 37 23.6	5 54 45	- 4 37 4	5.87	1.17	1.22	K2		COUSINS
5 59 47.5	1 5 25.9	6 1 35	1 5 23	8.56	0.00	-0.04	89			HD40983	KITT PK.
	6 0 5.5	1 6 54.7	6 1 53	1 6 51	8.17	0.98	0.76	K0		HD41029	KITT PK.

訳注*) この星は食変光星 (=12 Cam) であることがわかったため使用しないこと。(Lines and Hall, 1981)
I.B.V.S. No. 2103)

SECOND ORDER EXTINCTION PAIRS

HR	(1950.0)			(1985.0)			V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.						
6 50 0.8	1 9 5.3	6 51 49	1 6 30	8.17	-0.06	-0.28	B8				HD50279	KITT PK.
6 49 29.0	1 18 45.5	6 51 17	1 16 12	7.85	1.55	1.72	K5				HD50167	KITT PK.
2710	7 9 11.3	5 44 20.7	7 11 3	5 40 49	6.08	-0.02	-0.05	A0				COUSINS
2713	7 9 27.6	5 33 33.3	7 11 19	5 30 1	6.15	1.15	0.97	K0				COUSINS
7 46 9.6	- 0 8 0.5	7 47 57	- 0 13 16	8.74	0.05	0.05	B9				HD63390	KITT PK.
7 46 3.8	- 0 37 7.4	7 47 50	- 0 42 23	8.43	0.95	0.57	K0				HD63368	KITT PK.
8 45 0.9	0 15 44.1	8 46 48	0 7 59	7.83	0.08	0.09	B9				HD75012	KITT PK.
8 45 44.0	0 44 25.3	8 47 31	0 36 38	7.24	1.48	1.78	K2				HD75138	KITT PK.
9 46 12.4	- 2 28 49.7	9 47 58	- 2 38 36	8.65	-0.17	-0.76	B5				HD84971	KITT PK.
9 45 50.7	- 4 10 24.8	9 47 36	- 4 20 11	8.66	1.16	1.12	K5				HD84916	KITT PK.
3989 10	7 38.4	- 8 9 42.8	10 9 22	- 8 20 2	5.90	0.02	-0.06	A0			17 SEX	COUSINS
3996 10	8 26.6	- 8 10 15.8	10 10 10	- 8 20 37	5.64	1.31	1.41	K2			18 SEX	COUSINS
11 13 38.6	- 3 11 56.9	11 15 25	- 3 23 24	7.41	-0.24	-0.93	B3				HD98981	KITT PK.
11 13 44.4	- 3 29 18.7	11 15 31	- 3 40 46	8.94	0.71	0.32	K0				HD98007	KITT PK.
4854	12 44 29.9	6 13 27.0	12 46 16	6 1 59	6.36	-0.06	-0.05	B9			HD111133	KITT PK.
12 44 42.8	7 16 50.7	12 46 29	7 5 22	8.46	1.16	1.21	K0				HD111165	KITT PK.
13 33 6.7	- 5 54 3.6	13 34 56	- 6 4 46	8.07	-0.16	-0.63	B8				HD118246	KITT PK.
13 32 27.4	- 6 42 44.3	13 34 17	- 6 53 28	8.18	1.07	0.95	K2				HD118129	KITT PK.

5501	14 42 57.2	Ø 55 38.4	14 44 44	Ø 46 48	5.70 -0.03	-0.06	B9	HD129956	KITT PK.
	14 43 3.7	- Ø 6 17.2	14 44 51	- Ø 15 6	8.37 1.50	1.86	K5	HD129975	KITT PK.
	15 43 30.2	- 1 38 56.3	15 45 18	- 1 45 27	5.40 -0.03	-0.42	B8	HD140873	KITT PK.
	15 43 22.6	- 1 17 25.8	15 45 11	- 1 23 57	8.80 1.66	2.02	K5	HD140850	KITT PK.
	17 41 48.6	5 44 6.7	17 43 31	5 43 13	8.31 0.05	-0.14	B9	HD161261	KITT PK.
	17 41 45.4	5 16 16.6	17 43 28	5 15 23	7.80 1.28	1.10	K2	HD161242	KITT PK.
	18 33 55.8	- 3 7 13.0	18 35 45	- 3 5 26	9.12 0.28	-0.10	B9	HD171732	KITT PK.
	18 33 56.0	- 2 31 36.0	18 35 45	- 2 29 49	9.06 1.13	1.05	K2	HD171731	KITT PK.
7313	19 15 16.6	1 56 26.7	19 17 2	2 0 15	6.18 0.01	0.01	A0	23 AQL	COUSINS
7319	19 15 59.8	Ø 59 34.1	19 17 46	1 3 25	5.09 1.15	1.01	K211		COUSINS
	20 34 44.6	- Ø 4 41.2	20 36 32	Ø 2 39	8.12 0.17	-0.32	B8	HD184790	KITT PK.
	20 34 33.2	- Ø 41 33.6	20 36 21	- Ø 34 13	8.16 1.20	0.93	K5	HD184914	KITT PK.
7878	21 33 25.7	5 15 7.2	21 35 10	5 24 31	6.23 -0.09	-0.39	B8	HD196426	KITT PK.
	21 33 44.4	5 54 46.0	21 35 29	6 4 11	8.72 1.66	2.04	K5	HD196395	KITT PK.
	22 33 25.7	5 15 7.2	22 35 11	5 26 0	8.32 -0.06	-0.35	B9	HD205556	KITT PK.
	22 33 44.4	5 54 46.0	22 35 30	6 5 39	7.72 1.26	1.32	K2	HD205584	KITT PK.
	22 4 6.3	2 11 43.1	22 5 52	2 21 58	6.52 -0.06	-0.23	B9	HD209905	KITT PK.
	22 3 29.4	1 0 48.2	22 5 16	1 11 2	8.94 1.21	1.17	K2	HD209796	KITT PK.
8451	22 7 45.1	- 4 8 23.9	22 9 34	- 3 58 3	6.27 0.00	-0.07	A0		COUSINS
8451	22 7 57.4	- 4 30 48.9	22 9 46	- 4 20 28	6.00 0.98	0.84	K0		COUSINS
8988	23 40 7.8	-14 49 17.4	23 41 56	-14 37 38	4.51 -0.04	-0.13	B9.5V	OM2 AQR	AZ-TNT.

付 録 D

Johnson の UBV 標準星団

Johnson と Morgan が UBV システムをつくったとき、彼らは標準星のリストをつけた。このリストは、合衆国でみえる全天をカバーし、星の等級をキャリブレーションする主要な方法に利用される。

同時に Johnson は 3 個の星団の内あるいは近くの星を観測した。これらの標準星団も、変換係数決定に使われる。

変換係数を決めるために、星団を使う利点は

1. お互いの星が互いに 1° 以内にあるため、一次減光補正は大へん小さい。
2. 1 枚のファインディングチャートにのり、星をかえるにもごくわずかな移動でよい。したがって、多くの星を短時間で観測しやすい。

しかし、この方法の欠点として

1. ほとんどの星は、主系列上にあり、かつ同じ距離にあるため、赤い星は青い星より、ほとんどいつも暗い。
2. 空を測定するための星のない領域を見つけるのが難しい。
3. 星が密集していて 他星が入り込むため大きなダイヤモンドは使えない
4. 互いの星団は天空では離れた領域にあり、全天の標準星のリストとは別に標準システムにすえられたため、変換に際して困難がある。

多くの観測者にとっては、色係数を決めるために星団を使うことは、とても有

用である。観測シーズンの間に、時々全天法と星団法の両方を使って変換係数を決定することをもすすめる。

Johnson は、これらの星団を観測する際、その領域の標準星として 1 個から 3 個の星を選び、その標準星と比べて他の星を差別化した。そして、その標準星を、全天の標準星を使って UVV システムに結びつけた。したがって、星団は 2 段階の手順によって UVV システムにすえられた。観測に使用した装置は、UVV システムを定義したものと厳密に同じではあ、たけいど。

以下、それぞれの星団について同じ様式で述べる。星団の簡単な説明とファイニングチャートと 26 個の星のリストと引用文献である。

これらの星は、より多い Johnson のリストの中から選んだ。Johnson の観測と同じくらい多く、広い範囲の等級とスペクトル型を含ませた。

星の座標は、SAO 星表から採った、または、星が 10 等より暗い時は引用文献の星表から採った。星には、リストの右側にアルファベットの文字で、ついているときは BD 番号をつけて、名前をつけた。

D.1 プレアデス

この有名な肉眼で見える星団は、大へん若い星団で、多くの明るい青い星と星雲を含む。中央の1°内に、約600個の14等以上の星がある。

この星団は、若いために10等以上では、赤い星はたった3個しか観測されない。この3つの星、特にD星は、測定の際に大きな重みをかけてあり、観測者はこのことに注意すべきである。

約250個の星が、Lowell天文台の53cmと103cm反射鏡で観測された。すべての星は、この領域の標準星であるE星、I星、アルキオーネと比較して差別光された。

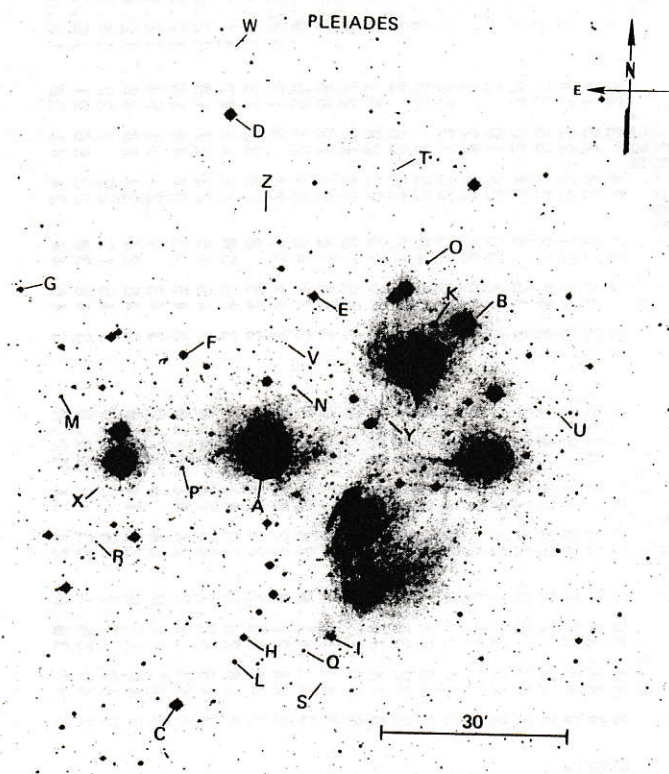


Figure D.1. The Pleiades cluster standards. Copyright by the National Geographic Society—Palomar Observatory Sky Survey. Reproduced by permission.

TABLE D.1. Pleiades Cluster Standards

HR	(1950.0)		(1985.0)		V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.						
1165	3 44 30.4	23 57 7.6	3 46 35	24 3 35	2.87	-0.09	-0.34	B7II	A	JOHNSON
1145	3 42 13.6	24 18 42.9	3 44 18	24 25 17	4.31	-0.11	-0.46	B6V	B	JOHNSON
1172	3 45 22.9	23 16 8.8	3 47 27	23 22 34	5.45	-0.07	-0.32	B8V	C	JOHNSON
	3 45 7.0	24 50 9.1	3 47 12	24 56 35	6.46	1.70	2.07	K5	D	JOHNSON
	3 44 0.3	24 22 0.4	3 46 5	24 28 30	6.82	0.03	-0.07	B9V	E	JOHNSON
	3 45 31.1	24 11 36.4	3 47 36	24 18 2	6.95	0.12	0.09	A0	F	JOHNSON
	3 47 28.8	24 20 42.1	3 49 34	24 27 2	7.42	0.13	0.12	A2	G	JOHNSON
	3 44 38.7	23 27 23.1	3 46 43	23 33 51	7.72	1.23	1.12	K0	H	JOHNSON
	3 43 36.2	23 28 12.2	3 45 40	23 34 42	8.11	0.35	0.29	A0	I	JOHNSON
	3 42 35.6	24 18 30.4	3 44 40	24 25 3	8.60	0.35	0.11	A2	K	JOHNSON
	3 44 44.2	23 23 26.6	3 46 48	23 29 54	8.79	1.15	0.81	K0	L	JOHNSON
	3 46 55.8	24 4 2.5	3 49 0	24 10 24	9.16	0.16	0.15	A0	M	JOHNSON
	3 44 11.1	24 7 26.0	3 46 16	24 13 55	9.46	0.47	0.02	F8	N	JOHNSON
	3 42 41.0	24 28 22.0	3 44 46	24 34 55	9.70	0.55	0.05	F8	O	JOHNSON
	3 45 27.5	23 53 48.0	3 47 32	24 0 13	10.02	0.56	0.09	F8	P	JOHNSON
	3 43 55.7	23 25 50.0	3 46 0	23 32 19	10.52	0.64	0.16	F9	Q	JOHNSON
	3 46 25.5	23 41 19.0	3 48 30	23 47 42	11.35	0.78	0.38	G2	R	JOHNSON
	3 43 42.3	23 20 40.0	3 45 46	23 27 10	12.02	0.99	0.54	G8	S	JOHNSON
	3 43 8.3	24 42 47.0	3 45 13	24 49 18	12.05	1.01	0.84	G5	T	JOHNSON
	3 41 5.0	24 5 17.0	3 43 9	24 11 54	12.51	0.81	0.30	G1	U	JOHNSON
	3 44 19.0	24 14 18.0	3 46 24	24 20 46	12.61	1.18	1.00	G9V	V	JOHNSON
	3 43 7.7	25 0 51.0	3 45 13	25 7 22	14.36	1.01	0.47		X	JOHNSON
	3 46 26.1	23 49 58.0	3 48 30	23 56 21	15.72	1.15	0.98		Y	JOHNSON
	3 44 39.0	24 34 52.0	3 46 44	24 41 20	16.42	0.60	0.25		Z	JOHNSON

Catalog:

Hertzsprung, E., 1947. *Ann. Leiden Obs.* 19, 1A.

Photometry:

Johnson, H. L., and Morgan, W. W. 1953. *Ap. J.* 117, 313.Johnson, H. L., and Mitchell, R. I. 1958. *Ap. J.* 128, 31.

Chart:

Red Palomar chart MLP 357 (E-641).

D.2 プレセペ

このプレセペは、M44または「みづぼちの巣」と呼ばれ、最も大きくかく近い散開星団である。プレアデスほどではないが、肉眼でも見える。

Johnson は、このプレセペ星団の領域にある 150 個の星を観測した。この表にのせた 26 個の星は、そのうちの一部である。この測光には、領域の標準星は 2 個使われ、それは B 星と F 星である。星団のすべての星が、その 2 つの標準星と比較され差測光された。

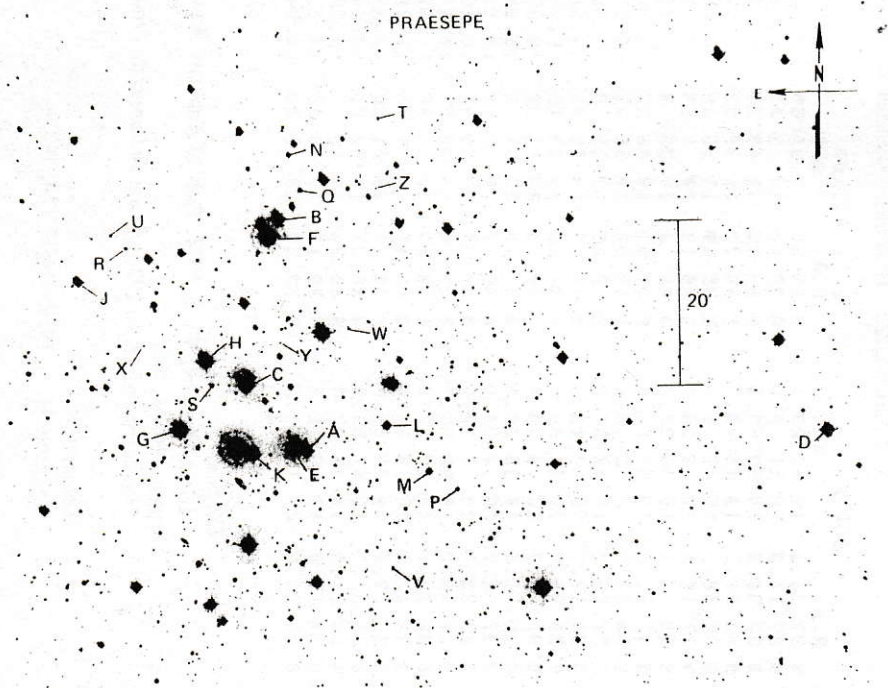


Figure D.2. The Praesepe cluster standards. Copyright by the National Geographic Society—Palomar Observatory Sky Survey. Reproduced by permission.

TABLE D.2. Praesepe Cluster Standards

HR	(1958.8)		(1985.8)		V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
	R.A.	DEC.	R.A.	DEC.						
3429	8 37 35.1	19 43 23.1	8 39 35	19 35 55	6.38	0.17	0.16	A2	A, 2171	JOHNSON
3428	8 37 14.8	20 11 8.8	8 39 14	20 3 41	6.39	0.98	0.83	K0II	B, 2158	JOHNSON
3428	8 37 30.8	19 50 52.9	8 39 30	19 43 25	6.44	1.02	0.90	K0II	C, 2166	JOHNSON
	8 32 27.1	19 45 48.3	8 34 27	19 38 32	6.58	0.67	0.25	G0II	D, 2118	JOHNSON
	8 36 58.7	19 43 6.6	8 38 59	19 35 40	6.59	0.96	0.72	K0II	E, 2150	JOHNSON
	8 37 19.1	20 8 56.6	8 39 19	20 1 29	6.51	0.81	0.82	A0	F, 2159	JOHNSON
	8 38 4.4	19 45 32.3	8 40 4	19 38 3	6.78	0.17	0.14	A6V	G, 2175	JOHNSON
	8 37 51.1	19 53 51.6	8 39 51	19 46 23	6.85	0.20	0.15	A9II	H, 2172	JOHNSON
	8 38 57.9	20 3 13.1	8 40 58	19 55 42	6.90	0.96	0.74	K0II	J, 2185	JOHNSON
	8 37 26.2	19 42 36.1	8 39 26	19 35 8	7.54	0.16	0.13	F0II	K, 2163	JOHNSON
	8 36 17.1	19 46 10.8	8 38 17	19 38 45	8.50	0.25	0.07	A9V	L, 2144	JOHNSON
	8 35 54.9	19 40 38.8	8 37 55	19 33 15	9.00	0.32	0.03	A5	M, 2139	JOHNSON
	8 37 8.7	20 18 48.9	8 39 9	20 11 22	9.67	0.44	-0.02	F6V	N, 2156	JOHNSON
	8 35 39.9	19 38 30.8	8 37 40	19 31 6	10.01	1.01	0.78	G5	P, 2056	JOHNSON
	8 37 2.7	20 14 34.8	8 39 3	20 7 7	10.11	0.49	-0.00		Q	JOHNSON
	8 38 33.7	20 7 22.8	8 40 34	19 59 52	10.72	0.60	0.10		R, 2181	JOHNSON
	8 37 48.2	19 50 53.8	8 39 48	19 43 24	10.87	0.68	0.19		S	JOHNSON
	8 36 22.1	20 23 17.8	8 38 23	20 15 52	11.31	0.70	0.24		T	JOHNSON
	8 38 42.0	20 8 54.0	8 40 42	20 1 23	11.71	0.78	0.38		U	JOHNSON
	8 36 13.8	20 28 55.0	8 38 21	29 21 30	12.37	0.46	-0.05		V	JOHNSON
	8 36 37.3	19 57 51.0	8 38 37	19 50 25	12.64	1.00	0.76		W	JOHNSON
	8 38 24.3	19 55 37.0	8 40 24	19 48 7	13.70	0.81	0.40		X	JOHNSON
	8 37 13.0	19 56 12.0	8 39 13	19 48 45	14.61	0.95	0.69		Y	JOHNSON
	8 36 23.0	20 14 51.0	8 38 23	20 7 26	14.94	1.48	1.10		Z	JOHNSON

Catalog:

Klein-Wassink, W. J. 1927. *Pub. of Kapetyn Astronomical Laboratory at Gröningen*, No. 41, 5.
 Vanderlinden, H. L. 1933. *Étude de l'amas de Praesepe*. Gembloux: Joulès Duculot.

Photometry:

Johnson, H. L. 1952. *Ap. J.* 116, 640.

Chart:

Blue Palomar chart MLP 426 (O-1311).

D.3 IC 4665

この散星団 IC 4665 は、Johnson により 1954 年に観測された。

この星団自体は、青い星を数個しかもたないもので、そのうちのいくつか以外は星団の中心から 1° 以内の視野にある星である。

この領域の標準星は A 星であり、全ての星は A 星に対して差測光された。これらの星のうちいくつかは、マクドナルド天文台とウィルソン山天文台で観測されたが、ほとんどはローウェル天文台で観測された。

この領域は、いくつかの明るい赤い星を含んでいるので、他の 2 つの星団領域で問題になる色変換のさりの誤差を少なくする。

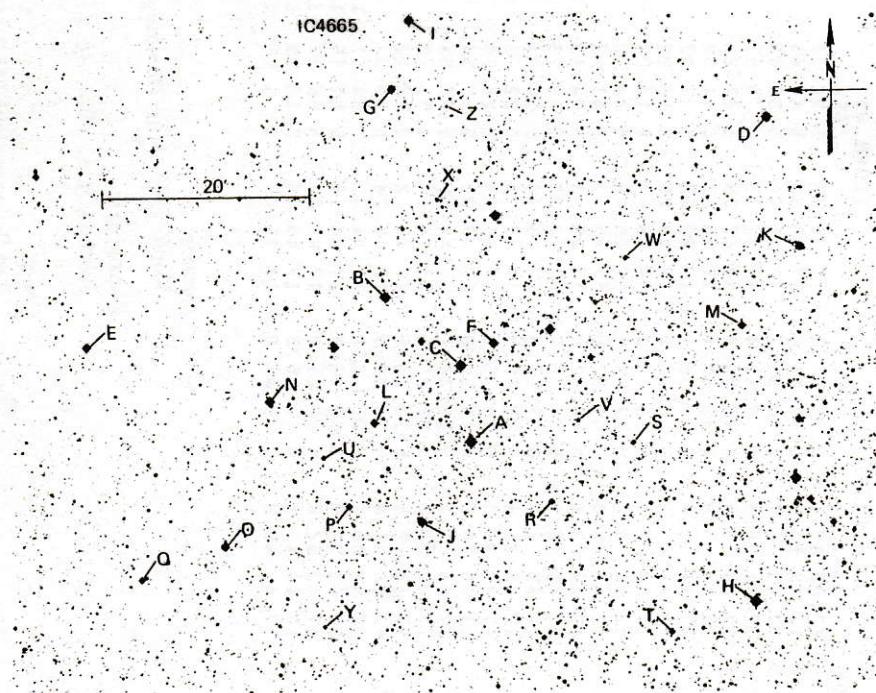


Figure D.3. The IC 4665 cluster standards. Copyright by the National Geographic Society—Palomar Observatory Sky Survey. Reproduced by permission.

TABLE D.3. IC 4665 Regional Standards

HR	R.A. (1950.0)	DEC. (1950.0)	R.A. (1985.0)	DEC. (1985.0)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
17 43 40.1	5 32 54.5	17 45 23	5 32 7	6.85	0.01	-0.54	B4V	A,3483	JOHNSON	
17 44 14.0	5 47 31.0	17 45 56	5 46 45	7.12	0.02	-0.48	B8	B,3490	JOHNSON	
17 43 43.7	5 40 35.2	17 45 26	5 39 48	7.34	0.02	-0.46	B9	C,3484	JOHNSON	
17 41 36.9	6 4 51.4	17 43 19	6 3 57	7.43	0.33	0.15	A2	D,3514	JOHNSON	
17 46 16.3	5 42 59.4	17 47 59	5 42 20	7.49	0.02	-0.41	B9	E,3504	JOHNSON	
17 43 29.9	5 42 46.4	17 45 12	5 41 58	7.59	0.00	-0.49	B6V	F,3482	JOHNSON	
17 44 9.8	6 8 18.1	17 45 52	6 7 32	7.74	-0.01	-0.55	B9	G,3525	JOHNSON	
17 41 45.4	5 16 16.6	17 43 28	5 15 23	7.83	1.28	1.10	K2	H,3469	JOHNSON	
17 44 2.1	6 15 14.2	17 45 44	6 14 27	7.89	1.03	0.77	K0	I,3524	JOHNSON	
17 44 8.8	5 24 54.8	17 45 43	5 24 8	7.94	0.45	-0.01	F0	J,3488	JOHNSON	
17 41 24.8	5 51 57.2	17 43 7	5 51 2	8.05	0.07	-0.17	A0	K,3466	JOHNSON	
17 44 19.4	5 34 57.4	17 46 2	5 34 12	8.22	0.11	-0.30	B9	L,3491	JOHNSON	
17 41 48.6	5 44 6.7	17 43 31	5 43 13	8.31	0.06	-0.16	B9	M,3471	JOHNSON	
17 45 1.7	5 37 14.6	17 46 44	5 36 31	8.33	1.73	2.08	K5	N,3498	JOHNSON	
17 45 21.0	5 22 43.3	17 47 4	5 22 1	8.40	1.23	1.04	K2	O,3500	JOHNSON	
17 44 30.3	5 26 35.1	17 46 13	5 25 50	8.89	0.11	-0.27	B9V	P,3493	JOHNSON	
17 45 55.3	5 19 32.0	17 47 38	5 18 51	8.96	1.25	1.07		Q,3503	JOHNSON	
17 43 7.4	5 26 44.1	17 44 50	5 25 55	9.10	0.26	0.10		R,3479	JOHNSON	
17 42 33.6	5 32 33.6	17 44 16	5 31 42	9.39	0.31	0.17	A2V	S,3473	JOHNSON	
17 42 19.0	5 13 14.0	17 44 2	5 12 22	9.68	1.27	1.04		T,3472	JOHNSON	
17 44 41.0	5 31 39.0	17 46 24	5 30 54	9.81	0.68	0.23	A0	U,3496	JOHNSON	
17 42 55.0	5 35 1.0	17 44 37	5 34 11	10.10	0.12	0.01		V,3477	JOHNSON	
17 42 34.0	5 52 46.0	17 44 16	5 51 55	10.21	1.29	1.27		W,3474	JOHNSON	
17 43 52.0	5 57 21.0	17 45 34	5 56 34	10.51	0.45	0.15	A2	X,3485	JOHNSON	
17 44 41.0	5 13 15.0	17 46 24	5 12 30	10.75	0.37	0.22		Y,3495	JOHNSON	
17 43 45.0	6 6 44.0	17 45 27	6 5 56	11.33	0.53	-0.05		Z,3523	JOHNSON	

Catalog:

Kopff, 1943. *Mitt. Hamburg Sternw.* 8, 93.

Photometry:

Johnson, H. L. 1954. *Ap. J.* 119, 181.

Chart:

Red Palomar chart MLP 569 (E-780).

付 録 F

不感時間係数の求め方

この例題は、フォトンカウントシステムの不感時間 (dead time) 係数をどのようにして計算するかを示す。オ4.2節では、この例題の基礎になることからより詳しく述べてある。

不感時間係数を決定するために必要なものは、補正をしなくてもよいほど暗いいくつかの星と、大きく補正しなければならない明るいいくつかの星である。それは、この例で用いたシステムでは、毎秒100,000カウントの星と毎秒800,000カウントの星である。この例の8つの星は、係数を決めるのに最少限必要な個数である。

それぞれの星は NDフィルターをつけて測光され、インディアナ大学で使われているフィルターでは $v_1 - v_0$ は次の関係がある。

$$v_1 - v_0 = -0.008(B - V) + 3.934 \quad (F.1)$$

データは表F.1にある。以下のステップで係数を求める。

1. 表F.1のオ25人に与えられた色指数を使って、F.1式からそれぞれの星の $v_1 - v_0$ を計算する。
2. 式4.7を使って、強度比 $b (= I_0/I_1)$ を計算する。
3. 光路中にフィルターを入れて測ったカウント数 (n_L) とフィルターなしのもの (n_H) を使って、式4.3により フィルターなしの真のカウント数を計算する。すなわち、

$$N_H = b n_L$$

4. すべての星について次の量を計算する。ただし $\ln$ は自然対数。

$$A = \ln \left(\frac{N_H}{n_H} \right)$$

TABLE F.1. Dead-Time Coefficient Data

Collected Data				Calculated Results			
Star	$B - V$	n_L	n_H	$v_1 - v_0$	b	N_H	A
HR8334	0.51	10,670	374,200	3.930	37.32	398,200	0.0622
HR8465	1.55	25,170	824,700	3.922	37.04	932,200	0.1225
HR8469	0.23	5190	190,100	3.932	37.40	194,100	0.0208
HR8494	0.27	11,720	407,300	3.932	37.39	438,200	0.0731
HR8498	1.46	12,400	427,400	3.922	37.06	459,600	0.0726
HR8585	0.01	17,190	582,700	3.934	37.46	643,900	0.0999
HR8622	-0.20	6170	224,200	3.936	37.52	231,500	0.0320
HR8694	1.05	21,430	708,100	3.926	37.17	796,600	0.1178

5. 式 4.4 により N_H 対 A のプロットを行なう。

$$A = \tau N_H$$

この直線の傾きが、 τ すなわち不感時間係数である。グラフを図 F. 1 に示す。

この 8 個の星を使った例では、最小二乗法を使って傾き $\tau = 1.40 \times 10^{-7}$ 秒である。この不感時間を使う例題は 付録 H に出ている。

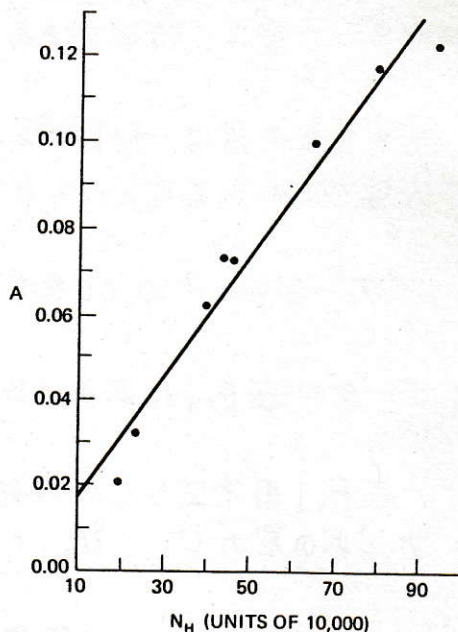


Figure F.1. A versus N_H , where $A = (N_H/n_H)$.

付 録 G

減光係数の求め方

減光係数を決定するのに使われる手順は、ある程度まで観測プログラムのタイプによって異なる。

差測光法(differential photometry)では、大気減光の補正は通常無視できる。しかし、変光星と比較星が大きく離れているときは、減光を補正するのは賢明である。この場合、比較星を測ること自体で減光係数を決めることができる。

観測プログラムが、空のさまざまな位置で多くの異なる星を測る場合はまた別な手順が必要になる。この場合、はなれた標準星の一群と、減光係数を決めるために観測しなければならない。

また、2次減光係数を決定するために、観測のタイプによらず、別の星の組を観測しなければならない。

以下、実際のデータを使って、それぞれの手順を示す。

G. 1. 差測光法の減光補正

差測光法に適用する2次減光の補正は、十分小さいので無視できる。したがって1次減光についてだけ考えよう。上に述べたように比較星の測定により1次減光係数を求めることができる。この方法をうまく成功させるには、比較星を大気量の広い範囲でいつも観測することが必要である。

また、この方法は大気の透明度が一定であり、電子回路が一夜の間にゲインのドリフトがないという前提に立っている。この条件は通常よく晴れた夜とよく設計された回路があれば十分である。

比較星が昇ってくるとき、あるいは沈んでいくとき、検出される光の量は、だんだん増していく、あるいは減っていくが、それは地球大気によって吸収されるからである。

式2.1 ~ 2.3 を使って、それぞれのフィルターを通してそれぞれの光量における比較星の器械等級 (instrumental magnitude; = ナチュラシステムでの等級) を計算できる。これらの等級は、それぞれのフィルターごとに、式4.20 を使って大気減光の補正をされる。すなわち、

$$v_0 = v - k'_v X \quad (G.1)$$

$$b_0 = b - k'_b X \quad (G.2)$$

$$u_0 = u - k'_u X \quad (G.3)$$

ここで、 v, b, u は 器械等級、 v_0, b_0, u_0 は減光を補正した器械等級、 k'_v, k'_b, k'_u は 1 次減光係数である。

この係数は、もちろん未知である。しかし、 X に対する v をプロットすれば、その直線の傾きから k'_v を求めることができる。同様に X に対する b, X に対する u をプロットすれば、それぞれ、傾きから k'_b, k'_u を求めることができる。

TABLE G.1. Comparison Star Data

Star: $\alpha = 2^h 07^m, \delta = 40^\circ 23'$					Observatory: $39^\circ 33'$ north latitude		
HA	X	Counts per Second			Instrumental Magnitudes		
		v Filter	b Filter	u Filter	v	b	u
2:42E	1.165	5660	7550	1413	-9.382	-9.695	-7.876
1:53	1.076	5854	7948	1530	-9.419	-9.751	-7.962
1:14	1.032	5878	8110	1596	-9.423	-9.772	-8.008
0:30	1.005	5887	8143	1638	-9.425	-9.777	-8.036
0:09W	1.001	5897	8088	1611	-9.427	-9.770	-8.018
0:14	1.001	5883	8083	1617	-9.424	-9.769	-8.022
1:00	1.021	5838	8006	1588	-9.416	-9.759	-8.002
1:43	1.062	5655	7821	1528	-9.381	-9.733	-7.961
2:24	1.127	5568	7511	1424	-9.364	-9.689	-7.884
3:15	1.252	5415	7195	1297	-9.334	-9.643	-7.782
4:01	1.423	5187	6819	1188	-9.287	-9.584	-7.687
4:31	1.579	5042	6450	1033	-9.256	-9.524	-7.535

1. この例で使われる比較星は 赤経が $2^h 07^m$, 赤緯が $40^\circ 23'$ である。この観測所は北緯 $39^\circ 33'$ である。表 G.1 のオ1らんは、比較星を観測した時の時角をあらわしている。オ2らんは、式 4.17 と 4.18 によって計算した大気量 X をあらわす。

オ2らんのいくつかの例を計算しチェックしてみて下さい。それが難しければ、オ4.4節の例を参考にして下さい。

2. オ3, 4, 5らんは空の明るさを差し引いたフィルターごとの秒あたりのカウント数を示している。これらはカウント数が低いので、不感時間の補正はほどこしていない。もし直流法で観測した場合は、これらのらんはフレ幅とセットしたアンプのゲインをあらわすことになる。オ6, 7, 8らんは、式 2.1, 2.2, 2.3 によって計算した器械等級である。直流法の場合は、カウント数に対して、フレ幅に等級であらわしたアンプのゲインをたす。すなわち

$$\begin{aligned} v &= -2.5 \log(dv) + G_v \\ b &= -2.5 \log(db) + G_b \\ u &= -2.5 \log(du) + G_u \end{aligned}$$

3. X に対する v , X に対する b , X に対する u をプロットしたのが 図 G.1 である。最小二乗法により次の値を得る。

$$\begin{aligned} k'_v &= 0.306 \\ k'_b &= 0.441 \\ k'_u &= 0.840 \end{aligned}$$

4. これで、変光星と比較星の間の等級差を、式 2.35 ~ 2.37 (または 式 2.38 ~ 2.40) と 式 2.43 ~ 2.45 を使って減光の補正をほどこすことができる。色指数は、式 2.41 と 2.42 を使って計算できる。これらの色は次式と 式 2.46 と 2.47 により、減光の補正を行なう。

$$k'_{bv} = k'_b - k'_v$$

$$k''_{bv} = k''_b - k''_v$$

式4.26の第3項は、 k''_{bv} が小さいので 無視する。
 さらに、もし変光星と比較星が同じ色に近ければ、 $\Delta(b-v)$
 はほとんどゼロである。しかし、もし望むなら G.3節で述べ
 るように k''_{bv} を決定することにより、その項を含ませることも
 できる。

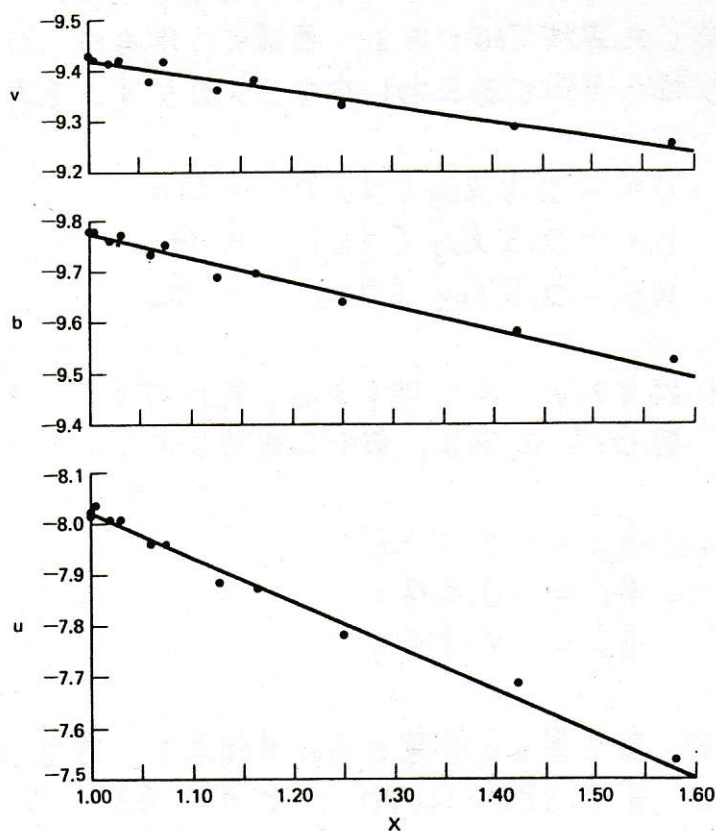


Figure G.1. Instrumental magnitudes versus air mass.

G.2 全天測光の場合の減光補正

この節で述べる手順は、空のさまざまな位置で星を測った場合に適用するものである。それぞれの星は、大気量の限られた範囲でしか観測していないため、前節の手順は使えない。

標準システムへの変換係数が既知の場合と、未知の場合とで2つのやり方がある。

i) 変換係数が未知の場合

この観測の手順は極めて簡単です。その夜のいさな時間に、付録のAまたはCのリストから、早期A型星を観測する。このタイプの星を選んだ理由は次の通りである。式4.20を4.32に代入すると

$$V = v - k'_v X + \epsilon(B-V) + \xi_v$$

または

$$V - v = -k'_v X + \epsilon(B-V) + \xi_v \quad (G.4)$$

となる。早期A型星では、 $B-V$ は大へん小さいし、 ϵ も小さいから、その積は極端に小さくなる。こうして、上の式は

$$V - v = \xi_v - k'_v X \quad (G.5)$$

と近似される。

早期A型星について、 X に対する $V-v$ をプロットすれば、その傾きは k'_v をあらわす。

また、式4.29を4.23へ代入すると

$$(B-V) = \mu(b-v) - \mu(b-v) k''_{bv} X - \mu k'_{bv} X + \xi_{bv} \quad (G.6)$$

普通 μ は、ほとんどの測光器で 1 に大へん近く、 k''_{bv} は大へん小さいので、上式は次のように近似される。

$$(B-V) - (b-v) \simeq -k'_{bv} X + \xi_{bv} \quad (G.7)$$

X に対して $(B-V) - (b-v)$ をプロットすれば、その傾きから k'_{bv} が求められる。同様にして、式 4.22 を 4.34 に代入して

$$(U-B) = \psi(u-b) - \psi k'_{ub} X + \xi_{ub} \quad (G.8)$$

ここで、ほとんどの測光器で、 $\psi \simeq 1$ であるから、次式のように近似できる。

$$(U-B) - (u-b) = -k'_{ub} X + \xi_{ub} \quad (G.9)$$

X に対する $(U-B) - (u-b)$ をプロットすれば、その傾きが k'_{ub} である。

1. 表 G.2 は 1 晩に得られた減光星の一群のデータである。いくつかの星は、その夜の間に、後でちがいがわかるほど異なる大気量で観測されたので、1 度以上でている。観測時間のほとんどは、目的の星に使われた。その星は、この表には出ていない。

オ 2, 3, 4 らんは、付録 A からとったデータである。オ 5 らんは、式 4.17 と 4.18 で計算した大気量、オ 6, 7, 8 らんは、空を差し引き不感時間の補正をほどこした後のフィルターごとのカウント数である。

オ 9 らんの数字を ψ についての式 4.14 を使ってチェックしてみて下さい。

TABLE G.2. Extinction Star Measurements

Star	V	$B - V$	$U - B$	X	Counts per Second			$V - v$	$(B - V) - (b - v)$	$(U - B) - (u - b)$
					v	b	u			
80 UMa	4.03	0.15	0.09	1.042	399,726	799,296	140,792	18.014	0.912	-1.805
109 Vir	3.74	0.00	-0.03	1.269	524,038	1,152,529	201,823	18.038	0.856	-1.922
B Ser A	3.67	0.06	0.07	1.161	559,793	1,209,184	195,872	18.040	0.896	-1.906
τ Her	3.89	-0.15	-0.56	1.080	452,832	1,204,795	380,022	18.030	0.910	-1.813
γ Oph	3.75	0.04	0.04	1.868	454,939	887,150	122,538	17.895	0.765	-2.109
π Ser	4.83	0.07	0.05	1.097	194,252	407,561	71,059	18.051	0.875	-1.846
68 Oph	4.42	0.04	0.02	1.931	234,468	456,535	65,537	17.845	0.764	-2.088
68 Oph	4.42	0.04	0.02	1.340	260,411	559,110	94,773	17.959	0.870	-1.907
π Ser	4.83	0.07	0.05	1.082	192,633	402,426	71,980	18.042	0.870	-1.819
109 Vir	3.74	0.00	-0.03	1.673	458,829	974,150	148,048	17.894	0.817	-2.076
γ Oph	3.75	0.04	0.04	1.245	501,527	1,102,259	180,078	18.001	0.895	-1.927
57 Cyg	4.77	-0.14	-0.58	1.006	197,291	515,202	175,144	18.008	0.902	-1.752

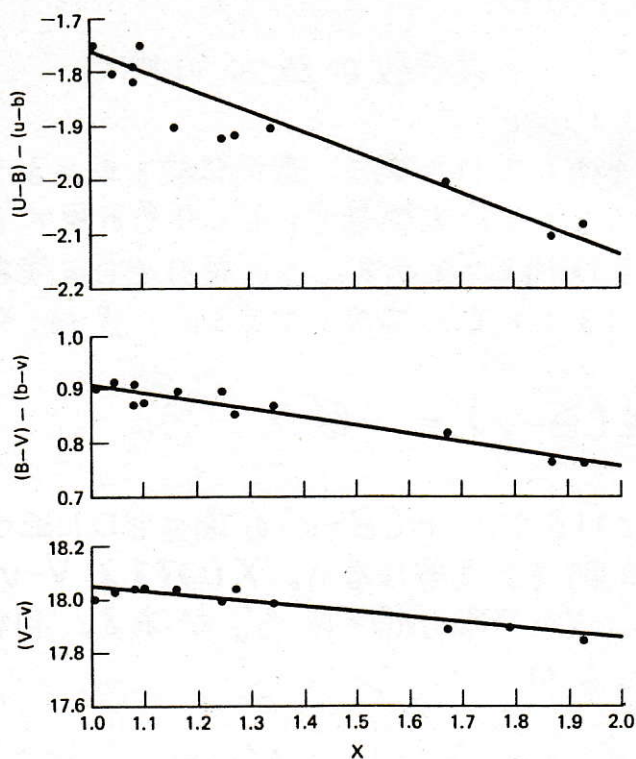


Figure G.2. Extinction plots when transformation coefficients are unknown.

2. オ10, 11を、式4.15と4.16を使ってチェックしてみ
て下さい。

3. 図G.2は X に対する $(V-U)$, X に対する $(B-V)$
- $(b-v)$, X に対する $(U-B)$ - $(u-b)$ を示す。最少
二乗法により次の値を得る。

$$k'_{uv} = 0.200$$

$$k'_{bv} = 0.153$$

$$k'_{ub} = 0.353$$

ii) 変換係数が既知の場合

変換係数がわかっている場合、減光係数を求める手順は簡単であ
る。それは、さまざまな大気量で、どんな色の星でも5個かそれ以
上の標準星を観測することである。その夜のゼロ点定数 ($\xi_v, \xi_{bv},$
 ξ_{ub}) を決定することも、同時にできる。式G.4を変形して

$$V-U - \epsilon(B-V) = -k'_{uv}X - \xi_v \quad (G.10)$$

ϵ は、わかっているので、 $\epsilon(B-V)$ の項をゼロに近づけるために早
期A型星を観測する必要はない。 X に対する $V-U - \epsilon(B-V)$ をプ
ロットすれば、その直線の傾きは k'_{uv} である。同様に $k'_{bv} \sim 0$
として式G.6は

$$(B-V) - \mu(b-v) = -\mu k'_{bv}X + \xi_{bv} \quad (G.11)$$

X に対する $(B-V) - \mu(b-v)$ をプロットした直線の傾きが k'_{bv}
である。式G.8を変形して

$$(U-B) - \psi(u-b) = -\psi k'_{ub} X + \xi_{ub} \quad (G.12)$$

再び X に対する $(U-B) - \psi(u-b)$ をプロットした直線の傾きが k'_{ub} である。

1. 表 G.3 は、一晩に観測した 10 個の標準星のデータである。最初の 4 つの星は、付録 C からとっている。オウランは大気量、オ6, 7, 8 星は、式 4.14, 4.15, 4.16 による器械等級と色である。変換係数は別の夜に決定されていて、次の値であることがわかっている。

$$\varepsilon = -0.084$$

$$\mu = 1.083$$

$$\psi = 1.006$$

オ9 星の数字をチェックするために、2, 3 の星で式 G.10 の左辺を計算してみよう。同様に、オ10, 11 星をチェックするために、式 G.11, G.12 の左辺を計算してみよう。

TABLE G.3. Observations of Standard Stars

Star	V	$(B-V)$	$(U-B)$	X	v	$(b-v)$	$(u-b)$	$V-v-\varepsilon(B-V)$	$(B-V)-\mu(b-v)$	$(U-B)-\psi(u-b)$
i Psc	4.13	0.51	0.00	2.183	-13.721	-0.001	2.183	17.851	0.511	-2.196
HR8832	5.57	1.01	0.89	1.262	-12.502	0.334	2.741	18.157	0.648	-1.867
10 Lac	4.88	-0.20	-1.04	1.183	-13.206	-0.794	0.709	18.069	0.660	-1.753
ϵ Aqr	3.77	0.01	0.04	1.562	-14.199	-0.564	2.033	17.970	0.621	-2.005
α Del	3.77	-0.06	-0.22	1.103	-14.312	-0.694	1.612	18.077	0.692	-1.842
B Aql	3.71	0.86	0.48	1.191	-14.344	0.190	2.269	18.126	0.654	-1.803
γ Oph	3.75	0.04	0.04	1.514	-14.293	-0.514	2.002	18.046	0.597	-1.974
τ Her	3.89	-0.15	-0.56	1.361	-14.179	-0.721	1.288	18.056	0.631	-1.856
ϵ Crb	4.15	1.23	1.28	1.754	-13.862	0.618	3.342	18.115	0.561	-2.082
β SerA	3.67	0.06	0.07	2.340	-14.177	-0.352	2.286	17.852	0.441	-2.230

2. x に対する $V-u-\epsilon(B-V)$, x に対する $(B-V)-\mu(b-u)$, x に対する $(U-B)-\psi(u-b)$ を図 G.3 に示す。
 それぞれの直線から、次の値が求められる。

$$k'_{uv} = 0.212$$

$$k'_{bu} = 0.163$$

$$k'_{ub} = 0.373$$

同時に、ゼロ点定数である切片も求められる。

$$\xi_v = 18.359$$

$$\xi_{bu} = 0.875$$

$$\xi_{ub} = -1.381$$

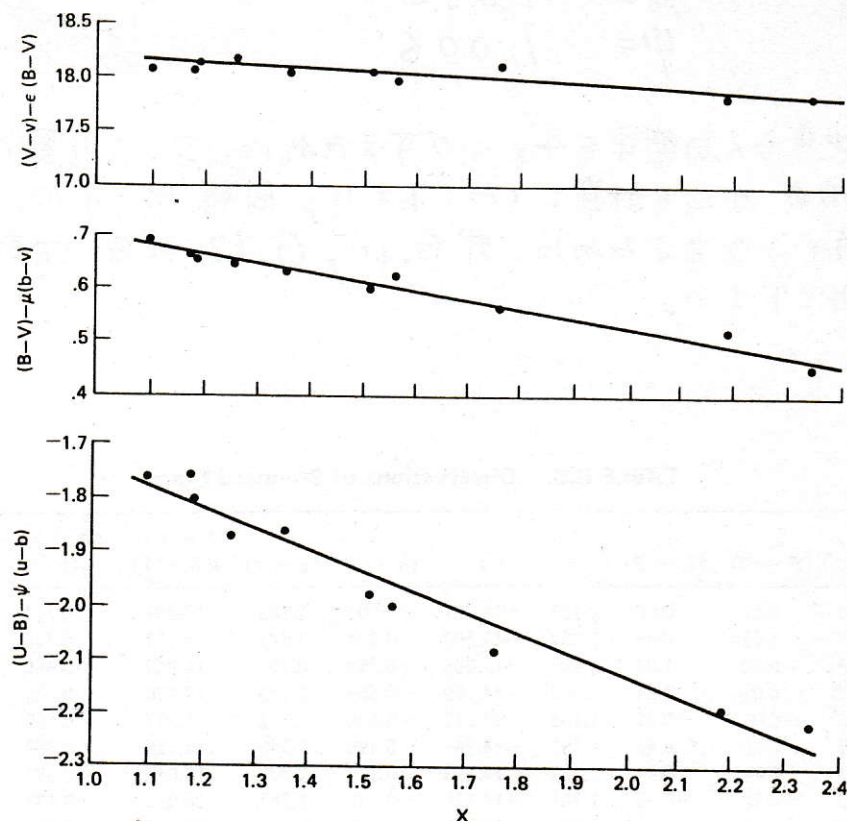


Figure G.3. Extinction plots when transformation coefficients are known.

G.3 2次減光係数の求め方

k_{bv} は大へん小さく k_{ub} はゼロと定義したので、この例題では k'_{bv} を求めることに集中しよう。

経験的に k'_{bv} は大へん小さくてよく安定していることがわっている。したがって k'_{bv} は年に1, 2回だけ決めればよい。その手順は、接近していてかつダイヤフラムで分離できる大へん色の異なる一組の星のペアを、さまざまな大気量で観測することである。それぞれの星を小文字の1と2であらわし、式4.29を色指数の差にすれば

$$(b-v)_{01} - (b-v)_{02} = (b-v)_1 - k'_{bv} X_1 (b-v)_1 - k'_{bv} X_1 - (b-v)_2 - k'_{bv} X_2 (b-v)_2 - k'_{bv} X_2$$

$X_1 \simeq X_2$ であるから

$$\Delta(b-v)_0 = \Delta(b-v) - k'_{bv} X \Delta(b-v) \quad (G.13)$$

$\Delta(b-v)_0$ は一定であるので $X \Delta(b-v)$ に対する $\Delta(b-v)$ をプロットすれば、その直線の傾きが k'_{bv} である。

1. この例で使った星のペアは HD 30544 と HD 30545 である。こゝらは、他のペアとともに付録 B にある。表 G.4 の $\alpha_1, 2, 3$ らんは、式4.15と4.16によって計算した、それぞれの星の色指数である。 α_3 らんは $(\alpha_1 \text{ らん} - \alpha_2 \text{ らん})$ である。 α_4 らんは観測時刻における平均の大気量である。 α_5 らんは α_3 らんと α_4 らんの積になっている。

TABLE G.4. Observations of HD30544 and HD30545

HD30544 (b - v)	HD30545 (b - v)	$\Delta(b - v)$	X	$\Delta(b - v)X$
-0.628	0.458	-1.086	2.079	-2.258
-0.676	0.396	-1.072	1.786	-1.915
-0.718	0.376	-1.094	1.551	-1.697
-0.756	0.344	-1.100	1.367	-1.504
-0.778	0.339	-1.117	1.279	-1.429
-0.783	0.335	-1.118	1.231	-1.376

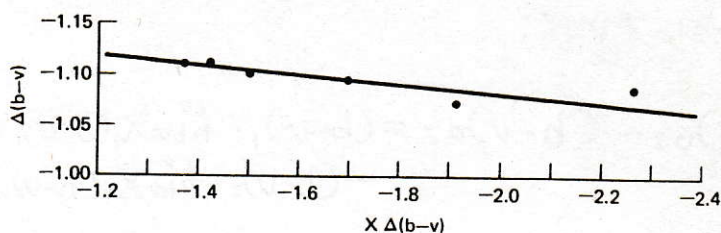


Figure G.4. Second order extinction plot.

2. $X \Delta(b-v)$ に対する $\Delta(b-v)$ をプロットしたのが図 G.4 である。それから、次の値を得る。

$$k''_{bv} = -0.042$$

付 録 H

変換係数の求め方

H.1 直流法の場合

変換係数は、しばしば天頂付近にある星団に含まれる標準星から決定される。この手順は、減光補正の問題を減らすことができる。付録 D は、3つの星団のファインダーチャートと標準星のリストである。しかし、本節では星団は使わずに、子午線付近の標準星を付録 C から選んで使った。このやり方も、うまく行くけれど、変化しやすい空の条件下では、星団法よりも普通は劣った結果になる。

60 cm 望遠鏡が使われ、次のフォトンカウンターの例とは全く異なる望遠鏡と検光器の組合せである。

1. 最初のステップは、フィルターをかえてそれぞれの星を測ることである。空も、星と同じアンプのゲインと同じダイヤフラムで測定される。実際には、全ての測定に同一のダイヤフラムが用いられた。

アンプのゲインが、2組のスイッチから成る場合、ゲインの合計値ではなく、それぞれのゲインスイッチの位置を記録すべきである。これは、見かけ上同じになるゲインが、スイッチの組合せにより1つ以上できるので、必要なのである。つまり、それぞれのスイッチの組合せは、ゲイン校正表で決められるように1つ1つが異なる値になる。

表 H.1 は 観測した星の座標と等級、色を示す。今は右側の3つの星は無視しよう。この事例では、9つの星が使われただけであるが、できるだけたくさんの星を観測することを勧める。

表 H.2 は、実際の観測データを示す。

TABLE H.1. Standard Stars

Star	RA	Dec.	V	Standard		V	Calculated	
				B - V	U - B		B - V	U - B
11 LMi	9 ^h 34 ^m	35° 56'	5.41	0.77	0.45	5.43	0.77	0.38
21 LMi	10 06	35 22	4.48	0.18	0.08	4.52	0.16	0.15
λ UMa	10 16	43 03	3.45	0.03	0.06	3.47	0.02	0.11
α Leo	10 07	12 05	1.36	-0.11	-0.36	1.35	-0.05	-0.37
ϵ Leo	9 44	23 58	2.98	0.81	0.46	2.95	0.78	0.43
ν UMa	9 48	59 14	3.82	0.29	0.10	3.77	0.28	0.09
31 Leo	10 06	10 12	4.36	1.45	1.75	4.33	1.43	1.82
72 Leo	11 13	23 18	4.60	1.66	1.85	4.64	1.70	1.81
β Leo	11 48	14 43	2.14	0.09	0.07	2.13	0.08	0.05

TABLE H.2. Stellar Measurements

Star	Filter	Deflection	Sky	Net	Gain	v	$b - v$	$u - b$
11 LMi	v	41.0	10.9	30.1	5/2	3.306	0.189	2.433
	b	36.2	10.9	25.3	5/2			
	u	37.8	10.9	26.9	7.5/2			
21 LMi	v	36.3	7.6	28.7	5/1	2.378	-0.462	2.214
	b	51.5	7.6	43.9	5/1			
	u	36.6	14.1	22.2	5/2.5			
λ UMa	v	35.5	5.8	29.5	5/0	1.325	-0.613	2.184
	b	57.7	5.8	51.9	5/0			
	u	36.6	8.7	27.9	5/1.5			
α Leo	v	37.5	6.4	31.1	2.5/0.5	-0.738	-0.643	1.847
	b	67.8	6.4	61.4	2.5/0.5			
	u	55.7	10.7	45.0	2.5/2			
ϵ Leo	v	52.3	6.0	46.3	5/0	0.836	0.212	2.487
	b	44.1	6.0	38.1	5/0			
	u	35.9	11.5	24.4	5/2			
ν UMa	v	40.6	6.7	33.9	5/0.5	1.668	-0.312	2.220
	b	51.9	6.7	45.2	5/0.5			
	u	35.5	12.0	23.5	5/2			
31 Leo	v	46.0	13.7	32.3	5/1	2.250	0.925	3.727
	b	34.6	13.0	21.6	5/1.5			
	u	27.5	10.2	17.3	7.5/2.5			
72 Leo	v	52.7	13.0	39.7	5/1.5	2.513	1.167	3.650
	b	44.6	10.3	34.3	5/2.5			
	u	45.0	14.1	30.6	10/1			
β Leo	v	53.3	13.8	39.5	2.5/1.5	0.019	-0.527	2.178
	b	78.0	13.8	64.2	2.5/1.5			
	u	69.2	14.1	55.1	5/1			

2. 次のステップは、表H.2の中央らんにある正味のフレ幅を求めるため、空を差し引くことである。2つのゲインスイッチの位置は中央らんに示し、斜線で区切っている。この例に用いられたアンプは、粗い方のスイッチは校正の必要はない。細かい方のスイッチの補正は、オ8.6節で述べた手順によって決められた。下の表は、その細かい方のゲインの値である。アンプのゲインは、表から読んだ細かいゲインと粗いゲインの合計である。

細かいゲインスイッチの位置	実際のゲイン(等級)
0	0
0.5	0.494
1.0	1.023
1.5	1.510
2.0	2.003
2.5	2.496

3. 次に、上で求めた等級と色に大気減光の補正をほどこす。それぞれの星の大気量 X を求めなければならぬ。3つのフィルターごとの測定は、2,3分以内に行なわれたので、星ごとに1つの X の値を使えばよい。

表H.3の中央らんはそれぞれの星の観測時の時角を示す。この実例では、望遠鏡は時角の読み出し装置を持っている。もし、その装置がないときは、オ5.3節で述べたようにして時角を求める必要がある。表中の東西の表示は、 X の計算には違い

TABLE H.3. Extinction Correction and Transformation Coefficient Determination

Star	HA	X	v_0	$(b - v)_0$	$(u - b)_0$	$V - v_0$	$(B - V) - (b - v)_0$	$(U - B) - (u - b)_0$
11 LMi	1:23W	1.044	2.909	-0.124	1.898	2.501	0.895	-1.449
21 LMi	0:47W	1.014	1.993	-0.766	1.695	2.487	0.946	-1.615
λ UMa	0:33W	1.014	0.940	-0.917	1.665	2.510	0.948	-1.605
α Leo	1:24W	1.160	-1.179	-0.991	1.253	2.539	0.881	-1.613
ϵ Leo	1:18W	1.069	0.430	-0.109	1.940	2.550	0.919	-1.479
ν UMa	1:18W	1.118	1.243	-0.647	1.648	2.577	0.938	-1.547
31 Leo	1:06W	1.152	1.812	0.579	3.137	2.551	0.871	-1.387
72 Leo	0:11W	1.026	2.123	0.859	3.125	2.476	0.801	-1.275
β Leo	0:58E	1.102	-0.400	-0.858	1.614	2.540	0.948	-1.544

があらわれないので、実際には必要ない。例として 21 LMi
も考えてみよう。

$$\begin{aligned}\text{時角} &= H = 0:47 \\ &= \frac{47 \text{ 分}}{60 \text{ 分/時間}} \times (15^\circ / \text{時間}) \\ &= 11.75^\circ\end{aligned}$$

$$\delta = 35.37^\circ \quad (\text{表 H.1 からの赤緯})$$

$$\phi = 35.92^\circ \quad (\text{観測所の緯度})$$

$$\begin{aligned}X &= (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos H)^{-1} \\ &= 1.014\end{aligned}$$

が 4.4a 節の式 4.19 で述べた より正確な計算は、測定が天頂付近で行なわれたので必要ない。

減光係数は、付録 G で述べた方法により決定され、次の値になる。

$$k'_{uv} = 0.380$$

$$k'_{bu} = 0.300$$

$$k'_{ub} = 0.512$$

$$k'_{bu} \approx 0$$

減光補正は、 $k'_{ub} = 0$ と仮定して、それぞれの星について次式で計算された。

$$\begin{aligned}v_o &= v - k'_{uv} X \\ (b-v)_o &= (b-v) - k'_{bv} X \\ (u-b)_o &= (u-b) - k'_{ub} X\end{aligned}$$

その計算結果は、表 H.3 の第 4 ~ 6 行にあてはまる。これは
器械等級と色である。この結果のいくつかをチェックしてみよう。

4. ϵ と ξ_v を決定するために、 $(B-V)$ に対する $V-v_0$ をプロットする。 V と $(B-V)$ の値は、表 H.1 にある。 $V-v_0$ の計算された値は、表 H.3 にある。そのグラフは、図 H.1 に示す。最小二乗法により、傾き -0.012 と切片 2.532 を得る。式 4.38 より 次の値を得る。

$$\begin{aligned}\epsilon &= -0.012 \\ \xi_v &= 2.532\end{aligned}$$

5. μ と ξ_{bv} を決定するために、 $(B-V)$ に対する $(B-V)-(b-v)_0$ をプロットする。 $B-V$ は、表 H.1 にあり、 $(B-V)-(b-v)_0$ は計算されていて表 H.3 にある。そのグラフが、図 H.2 である。直線の傾きは -0.059 、切片は 0.940 である。式 4.40 から

$$\begin{aligned}1 - \frac{1}{\mu} &= -0.059 \\ \mu &= 0.944 \\ \frac{\xi_{bv}}{\mu} &= 0.940 \\ \xi_{bv} &= 0.887\end{aligned}$$

そして

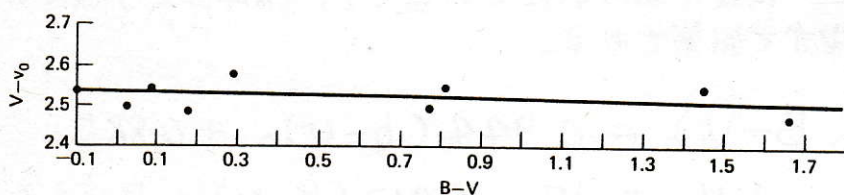


Figure H.1. Plot to determine ϵ and ξ_v .

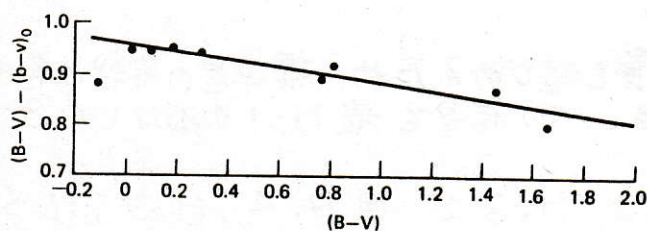


Figure H.2. Plot to determine μ and ξ_{bv} .

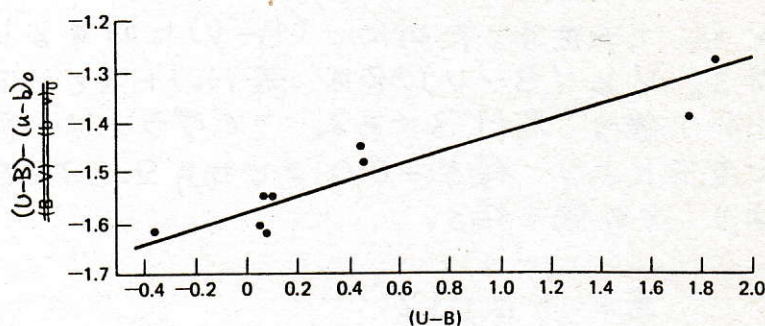


Figure H.3. Plot to determine ψ and ξ_{ub} .

6. 次のステップは、 $(U-B)$ に対する $(U-B) - (u-b)_0$ をプロットすることである。そのグラフを図 H.3 に示す。最小二乗法により、傾き 0.139, 切片 -1.570 を得る。式 4.41 から

$$1 - \frac{1}{\psi} = 0.139$$

$$\psi = 1.161$$

そして

$$\frac{\xi_{ub}}{\psi} = -1.570$$

$$\xi_{ub} = -1.823$$

こうして、同夜に測られたどの星でも、標準システムでの等級と色は、次式で計算される。

$$(B-V) = 0.944 (b-u)_0 + 0.887$$

$$V = V_0 - 0.012 (B-V) + 2.532$$

$$(U-B) = 1.161 (u-b)_0 - 1.823$$

この変換式の質を確かめるため、標準星の等級と色を計算し、既知の値と比べる。その結果を表 H.1 の右はしの 3 つの欄に示す。

図 H.1, H.2, H.3 と 図 H.4, H.5, H.6 を比べてみて下さい。後の 3 つのグラフは、フォトンカウントの例で、大へ

により観測例であることを示していて、変換係数の質もよい。直流法のこの結果は、観測がギリギリの質であり、変換係数はそれほどあてになるものではないことを示している。これは、主に空の条件が悪かったことによる。

星団法の方が、空の条件が最良でないとき、より結果を得られる。異なる望遠鏡と測光器が使われたので、この2つの例の色の変換係数は、同じでないことに注意せよ。

オ4章で述べたように、 ϵ , μ , ψ はかなり長い期間一定であるが、 ξ_v , ξ_{bv} , ξ_{ub} は夜ごとに決定する必要がある。

H.2 フォトンカウンターの場合

変換係数は、天頂付近にある星団に含まれる標準星から決定することができる。このやり方は、吸収の影響を大きく与える。付録Dは、3つの星団のファインダーチャートと標準星のリストである。

この例題では、星団IC4665を観測した。40cm望遠鏡が使われ、直流法の例で使ったのとは全く異なる望遠鏡と測光器が使われた。

1. オ1ステップは、それぞれの星をフィルターをかえて測定することである。この間に、空は数回測るだけでよい。同一のダイヤフラムが全測定で用いられた。表H.4は、観測した星の座標、等級、色を示す。今は、右から3つの星は無視する。

表H.5は、実際の観測をのせた。オ3星は毎秒あたりのカウント数で、10秒間に得られたカウント数を10で割ったものである。

2. 次のステップは、不感時間の補正である。不感時間係数 τ はオ4章で述べたものと付録Fの実例の午順で決めた。本例題で使った測光器では、 $\tau = 1.54 \times 10^{-7}$ 秒/カウントである。観測されたカウント数 n は、真のカウント数 N と次の関係がある。

$$n = N e^{-N\tau}$$

TABLE H.4. The Standard Stars

Star	RA	Dec.	Standard			V	Calculated	
			V	B - V	U - B		B - V	U - B
A	17 ^h 45 ^m	5° 32'	6.85	0.011	-0.54	6.84	0.018	-0.554
F	17 45	5 42	7.59	0.002	-0.49	7.58	0.003	-0.491
G	17 45	6 08	7.74	-0.009	-0.55	7.76	-0.007	-0.544
I	17 45	6 15	7.89	1.028	0.77	7.88	1.034	0.735
J	17 45	5 24	7.94	0.449	-0.01	7.95	0.433	-0.019
N	17 46	5 37	8.33	1.728	2.08	8.34	1.711	2.098
O	17 47	5 22	8.40	1.232	1.04	8.40	1.243	0.992
P	17 46	5 26	8.89	0.106	-0.27	8.88	0.099	-0.264
S	17 44	5 32	9.39	0.314	0.17	9.39	0.306	0.221
U	17 46	5 31	9.81	0.676	0.23	9.80	0.701	0.201
V	17 44	5 34	10.10	0.122	0.01	10.11	0.111	0.036
W	17 44	5 51	10.21	1.292	1.27	10.21	1.296	1.301

この方程式を、反復法で解く FORTRAN サブルーチンは、I. 1 節に示してある。解法の本質を例示するために、表 H. 5 の最初の観測値を使って計算してみよう。

観測されたカウント数は 28,925 である。最初の推定として、 N は観測された数と等しいとすると、

$$n = 28,925 e^{-(28,925) 1.54 \times 10^{-7}} \\ = 28,796$$

この数は、実際に観測された数より小さいので、次の N の推定値として、両者の差だけを加えてみよう。すなわち

$$N(\text{2 番目の推定値}) = 28,925 + (28,925 - 28,796) \\ = 29,054$$

再び n を計算すると

$$n = 29,054 e^{-(29,054) 1.54 \times 10^{-7}} \\ = 28,924$$

これは、観測された数との差がわずか 1 である。こうして 3 番目

TABLE H.5. Stellar Measurements

Star	Filter	Counts per Second	Dead-time Corrected	Net	v	$b - v$	$u - b$
A	v	28,925	29,055	29,001	-11.156		
	b	61,718	62,313	62,220		-0.829	
	u	18,575	18,628	18,599			1.311
F	v	14,819	14,853	14,799	-10.426		
	b	32,152	32,312	32,219		-0.845	
	u	9136	9149	9120			1.370
Sky	v	54.1					
	b	93.2					
	u	28.6					
G	v	12,539	12,563	12,510	-10.243		
	b	27,547	27,664	27,575		-0.858	
	u	8287	8298	8270			1.308
I	v	10,708	10,726	10,673	-10.071		
	b	10,139	10,155	10,066		0.064	
	u	911	911	883			2.642
Sky	v	51.8					
	b	84.6					
	u	28.2					
J	v	10,387	10,404	10,352	-10.038		
	b	15,994	16,033	15,949		-0.469	
	u	2917	2918	2891			1.854
N	v	6810	6817	6765	-9.576		
	b	3756	3758	3674		0.663	
	u	115	115	87			4.062
O	v	6613	6620	6568	-9.544		
	b	5310	5314	5230		0.247	
	u	387	387	360			2.906
P	v	4524	4527	4475	-9.127		
	b	9165	9178	9094		-0.770	
	u	2129	2129	2102			1.590
Sky	v	51.4					
	b	82.8					
	u	26.6					
S	v	2826	2827	2776	-8.609		
	b	4856	4860	4781		-0.590	
	u	723	723	698			2.090
U	v	1926	1926	1875	-8.183		
	b	2416	2416	2337		-0.239	
	u	373	373	347			2.070
V	v	1508	1508	1457	-7.909		
	b	3028	3029	2950		-0.766	
	u	542	542	516			1.893
W	v	1296	1296	1245	-7.738		
	b	1034	1034	955		0.288	
	u	76	76	50			3.211
Sky	v	50.2					
	b	75.8					
	u	25.2					

の推定値として

$$N(\text{3番めの推定値}) = 29,054 + 1$$

$$\begin{aligned} n &= 29,055 e^{-(29,055)1.54 \times 10^{-7}} \\ &= 28,925 \end{aligned}$$

この値は、観測された値と同じであるから、真のカウント値は29,055であることになる。この数字は、表H.5のオ4らんにあてはる。

3. 空のカウント数も、オ4らんの値から差し引く。星の測定が、2つの空の測定の間にはさまれているときは、空の測定値を平均したものを差し引く。

大気内の器械等級と色は、オ4.14～4.16で計算できる。

その計算は、表H.5のオ6,7,8らんにあてはる。そのいくつかをチェックしてみよう。

4. 3番めのステップは、上で決められた等級と色に大気減光の補正をほどこす。それぞれの星について、大気量Xを決める。3つのフィルターの測定は、2,3分以内に行なわれているので、星ごとに1つのXの値でよい。

表H.6のオ2らんは、それぞれの星の時角を示す。この例で使った望遠鏡には、時角の読み出し装置がついている。これが無いものでは、オ5.3c節で述べたようにして時角を計算してやらなければならない。表中の東面の記述は、Xの値に直してもたらないので、本当は不要である。

例として、Aの星を考えてみよう。

$$\begin{aligned} \text{時角} &= H = 1:54 \\ &= \left(1 + \frac{54}{60}\right) \times 15^\circ \\ &= 28.50^\circ \end{aligned}$$

$$\delta = 5.53^\circ \quad (\text{表H.4の3の赤緯})$$

TABLE H.6. Extinction Correction and Transformation Coefficient Determination

Star	HA	X	v_0	$(b-v)_0$	$(u-b)_0$	$V-v_0$	$(B-V) - (b-v)_0$	$(U-B) - (u-b)_0$
A	1:54E	1.353	-11.439	-1.146	0.855	18.289	1.157	-1.395
F	1:50E	1.339	-10.705	-1.161	0.919	18.295	1.163	-1.409
G	1:46E	1.320	-10.519	-1.171	0.863	18.259	1.162	-1.413
I	1:43E	1.311	-10.345	-0.141	2.200	18.235	1.169	-1.430
J	1:38E	1.313	-10.312	-0.736	1.412	18.252	1.185	-1.422
N	1:34E	1.300	-9.847	0.528	3.624	18.177	1.200	-1.544
O	1:31E	1.297	-9.815	0.065	2.468	18.215	1.167	-1.428
P	1:27E	1.288	-9.396	-1.066	1.156	18.286	1.172	-1.426
S	1:19E	1.270	-8.874	-0.862	1.662	18.264	1.176	-1.492
U	1:18E	1.269	-8.448	-0.471	1.642	18.258	1.147	-1.412
V	1:13E	1.259	-8.172	-1.054	1.469	18.272	1.176	-1.459
W	1:08E	1.247	-7.999	0.118	2.791	18.209	1.174	-1.521

$$\phi = 39.17^\circ \quad (\text{観測所の緯度})$$

$$X = (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos H)^{-1} \\ = 1.353$$

測定は、天頂付近で行なわれたので、オ4.4節(式4.19)で述べたようなより正確にXを求める方法は必要ない。

減光係数は、付録 G で述べた方法で決められた。

$$\begin{aligned} k'_{uv} &= 0.209 \\ k'_{bv} &= 0.162 \\ k'_{ub} &= 0.337 \\ k''_{bv} &= -0.088 \end{aligned}$$

減光補正は、 $k''_{ub} = 0$ と仮定してそれぞれの星について次式で計算される。

$$\begin{aligned} v_0 &= v - k'_{bv} X \\ (b-v)_0 &= (b-v)(1 - k''_{bv} X) - k'_{bv} X \\ (u-b)_0 &= (u-b) - k'_{ub} X \end{aligned}$$

この計算結果は、表H.6のオ4~6うんに出てくる。これは器械的等級と色である。いくつかチェックしてみよう。

5. ϵ と ξ_v を決定するために、 $(B-V)$ に対する $V-v_0$ をプロットする。 V と $(B-V)$ の値は表 H. 4 にある。表 H. 6 に $V-v_0$ の計算した値が出てくる。グラフを図 H. 4 に示す。最小二乗法により、傾き -0.057 、切片 18.284 を得る。式 4.38 から次の値を得る

$$\epsilon = -0.057$$

$$\xi_v = 18.284$$

6. μ と ξ_{bv} を決定するために、 $(B-V)$ に対する $(B-V)-(b-v)_0$ をプロットする。 $(B-V)$ は表 H. 4 に出てくる。 $(B-V)-(b-v)_0$ の値は表 H. 6 に出てくる。グラフを図 H. 5 に示す。最小二乗法により傾き 0.011 と切片 1.164 を得る。式 4.40 から次の値を得る。

$$1 - \frac{1}{\mu} = 0.011$$

$$\mu = 1.011$$

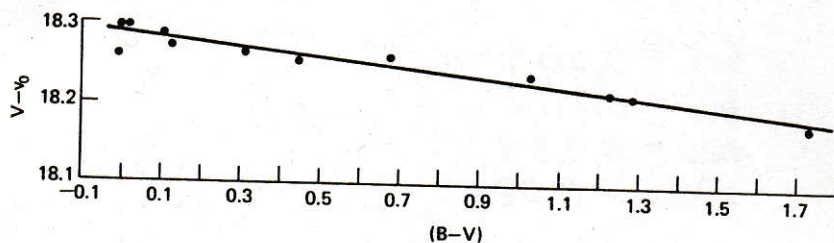


Figure H.4. Plot to determine ϵ and ξ_v .

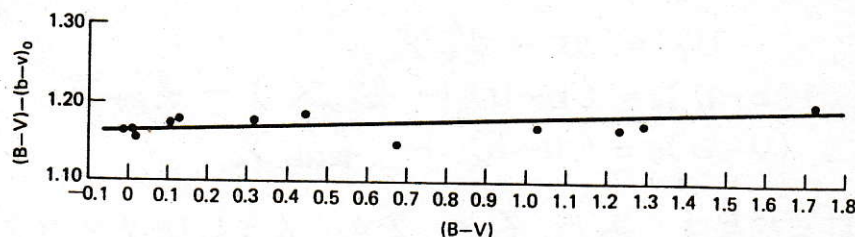


Figure H.5. Plot to determine μ and ξ_{bv} .

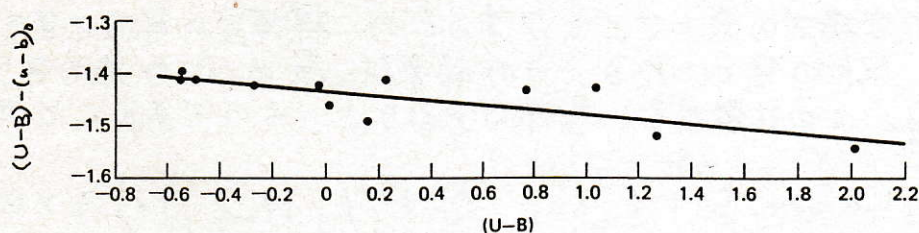


Figure H.6. Plot to determine ψ and ξ_{ub} .

また

$$\frac{\xi_{bv}}{\mu} = 1.164$$

$$\xi_{bv} = 1.177$$

17. 46のステップは $(U-B)$ に対する $(U-B)-(u-b)_0$ をプロットすることである。グラフを図H.6に示す。傾きは -0.045 ，切片は -1.432 となる。式4.41から

$$1 - \frac{1}{\psi} = -0.045$$

$$\psi = 0.957$$

また

$$\frac{\xi_{ub}}{\psi} = -1.432$$

$$\xi_{ub} = -1.370$$

こうして、同夜の「未知」の星の標準システムでの等級と色を計算することができる。おなれち

$$(B-V) = 1.011 (b-v)_0 + 1.177$$

$$V = v_0 - 0.057 (B-V) + 18.284$$

$$(U-B) = 0.957 (u-b)_0 - 1.370$$

この変換式の質をチェックするため、標準星の等級と色を計算して、既知の値と比べる。その結果は、表 H.4 の右の3つのみにある。この比較から、変換はかなりよいものであることがわかる。

図 H.4, H.5, H.6 と 図 H.1, H.2, H.3 を比べてみよう。後の3つは、直流法の例であるが、観測の方法がよくないこと、その結果として変換式はやや疑問があることを示している。

異なる望遠鏡と測光器が使われたために、2つの例の色の係数は同じでないことに注意しよう。

オ4章で説明したように、係数 ε , μ , ψ はかなり長期間にわたって一定である。しかし、 ξ_v , ξ_{bv} , ξ_{ub} は夜ごとに決定しなければならぬ。

訳にあたって

この手書きのテキストは、A. A. Henden and R. H. Karttuck
による "Astronomical Photometry" (1982年) の第
4章と付録 を主 に訳したものです。

1984年の夏の二夜、私もその一員である天文同好会「夜とう虫」のメ
ンバーが光電測光の整約について勉強会を持ち、そのテキストとして原書
の 付録 G と H をコピーして使いました。

ちょうどその一週間前に、JAPOAのオ1回夏期合宿で Hardie の
"Photoelectric Reduction" を輪読したとよく似ています。
この合宿はとても楽しい雰囲気の中で活発な討議も行なわれ充実したものでし
たが、Hardie のテキスト自体は、光電測光を志す者の必読文献であるこ
とは承知した上でも、あまり初心者向け（それも日本の空の条件下で観測す
る場合）ではないと感じました。

その経験から「夜とう虫」の勉強会では、英文が読みやすく、実に具体
的に書かれたこの本の例題をテキストにしたわけです。そして、メンバー
から、後で読み直す場合に日本語があればなあという声が出、またJAP
OAを中心とした光電測光を志す人たちにとっても役立つのではないかと
考え、そしてなにより私自身の勉強のために、付録の例題以外に本文の解
説と役に立ちそうな標準星のリストを含め訳したわけです。

読んで下さる方には、何よりもまず、極度に下手なこの文字とこを承て
いない訳については、私の限界としておわびする以外にありません。しか
し、この欠陥も、原著の親切な書き方、豊富な例題、有用なリストがおぎ
なってくれるものと信じます。少しでもこの訳がお役に立てば幸いです。

1984年 暑い晴天のよく続いた夏の終り

尼崎にて 大島 修

第1コピー刷 1984.8. 30部
第2コピー刷 1988.8. 20部
第3コピー刷 1989.8. 20部

第4刷 2008.8.25