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
- 標準システムへの変換　　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　差測光法　17
4.9　(U−B)の問題　20

補 2.6　差測光法　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にお願いします。

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」

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」

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、才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、才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、こみ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じは、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、較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、数を対数値(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」とはナチュラル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、第7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. その夜の質を見積るため、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。

第1,2,3,5,6,7のステップは、付録Hに実例で示した。第4ステッ

プの実例は、付録Gに示した。第8ステップは、第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方と、その困難性を概観し、差測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はなれた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、第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、解くのは難かしい。その式は、

次のようになる。

$$n = N e^{-tN} \qquad (4.1)$$

ここで、nは秒あたりのカウント数。Nは数えおとしのない「真の」カウント数。t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 $1/e$に落ちるときの値 $t = 1/N$ として定義される。

式 4.1 を変形して

$$\frac{n}{N} = e^{-tN} \qquad (4.2)$$

両辺の自然対数をとると

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

または

$$\ln(N/n) = tN \qquad (4.3)$$

Nに対する $\ln(N/n)$のグラフを書けば、t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、t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れば、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、光源か星を観測すると、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

$$N_H = bN_L \simeq b n_L \qquad (4.3a)$$

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tt、bn_L対 n_H は不感時間係数に関係する。式4.3式を次のように書く。

$$\ln\left(\frac{bn_L}{n_H}\right) = t\,bn_L \qquad (4.4)$$

異なる明るさの光源を、アテネッタを入れた場合と入れない場合について観測し、bn_Lに対する $\ln(bn_L / n_H)$をプロットすれば、その傾きからtを求めることができる。

普通使われるアテネッタとして、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、鏡筒の前を円形の穴をあけた板でおおうやり方である。小さい第1の絞りを通したカウント数をn_Lとし、第2の大きい絞りを通したカウントを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、反射望遠鏡には使わない方がよい。それは、副鏡のサポーター（スパイダー金具）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ないから。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、難かしい。

2. 測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。測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

り。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b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、一度この色効果を較正すれば、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較正するために、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暗いのは、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。

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

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b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、

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

または

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

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。

不感時間係数を決める例を付録Fに示した。その係数tがわかれば、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_kがn_{k+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

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

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

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

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。

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

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

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

ここで、Gはフィルターごとのゲイン，dはセットしたゲインでのペンレコーダのフレである。

フォトンカウンターでは、

$$v = -2.5 \log(\dot{C}_v) \qquad (4.14)$$
$$b-v = -2.5 \log(\dot{C}_b/\dot{C}_v) \qquad (4.15)$$
$$u-b = -2.5 \log(\dot{C}_u/\dot{C}_b) \qquad (4.16)$$

ここで $\dot{C}$ は、フィルターごとのカウント数である。

どちらの方法についても、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なわれるものであることを覚えておこう。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をあらわしている。

第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、Hardie[1]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。

4.4a 大気量の計算

高度30°以上では、観測者と星の間の大気の総量は、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。

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

ここで

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

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の量が X である。この量は、星が天頂にあるとき最小になり

$$\sec Z = \sec 0° = 1$$

この大気の総量は、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ついて考えられ、Hardie[1]によって次のように示された。

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

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ろう。

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（$RA = 11^h20^m.6$，$Dec = 6°8'21''$）をみかけの時角3^h（$= 45°$）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

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

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を使うと

$$X = 1.6466 - 0.0018167(0.6466) - 0.002875(0.6466)^2$$
$$- 0.0008083\ (0.6466)^3$$
$$= 1.6440$$

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、とても難かしい。

それを第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。

$$v_0 = v - k'_v X \qquad (4.20)$$
$$(b-v)_0 = (b-v) - k'_{bv} X \qquad (4.21)$$
$$(u-b)_0 = (u-b) - k'_{ub} X \qquad (4.22)$$

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0は、大気外の値を示す。 上式を変形して

$$v = k'_v X + v_0 \qquad (4.23)$$
$$(b-v) = k'_{bv} X + (b-v)_0 \qquad (4.24)$$
$$(u-b) = k'_{ub} X + (u-b)_0 \qquad (4.25)$$

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っていき、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わからないし、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知れない。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。第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を落してはいけない。減光を正確に測定することは、骨のおれる問題であり、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。おすすめする減光係数決定のための観測方法は、第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A0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、最良の選択は、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いてはいけないということ。そして、変光星とほとんど同じ色の比較星を使っていれば、2次の減光は無視できるからである。

この方法は、その夜のほとんどを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うA0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、観測中にヘ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。

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

$$k'_{bv} \longrightarrow k'_{bv} + k''_{bv}\,(b-v) \qquad (4.27)$$

式4.20と4.21は次のようになる。

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

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

$k''_{ub}=0$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、

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

$$\Delta v = k''_v\,\Delta(b-v)X + \Delta v_0 \qquad (4.30)$$

同様にして

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

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をあらわしている。式4.30と4.31の解は、Δ(b−v)X に対する Δv または Δ(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、v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ばしば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。その決定に適した星対を付録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だすことが難かしい。

4.5 ゼロ点の値

第2章から次式をえる。

$$V = \varepsilon(B-V) + v_0 + \xi_v \qquad (4.32)$$

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

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

この3つの式は、これからよく使う式である。変形して

$$\xi_v = V - v - \varepsilon(B-V) \qquad (4.35)$$

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

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

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械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意味をもつ。

図4.1は、Goeth Link天文台で18ヶ月間にフォト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にみられるくい違い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

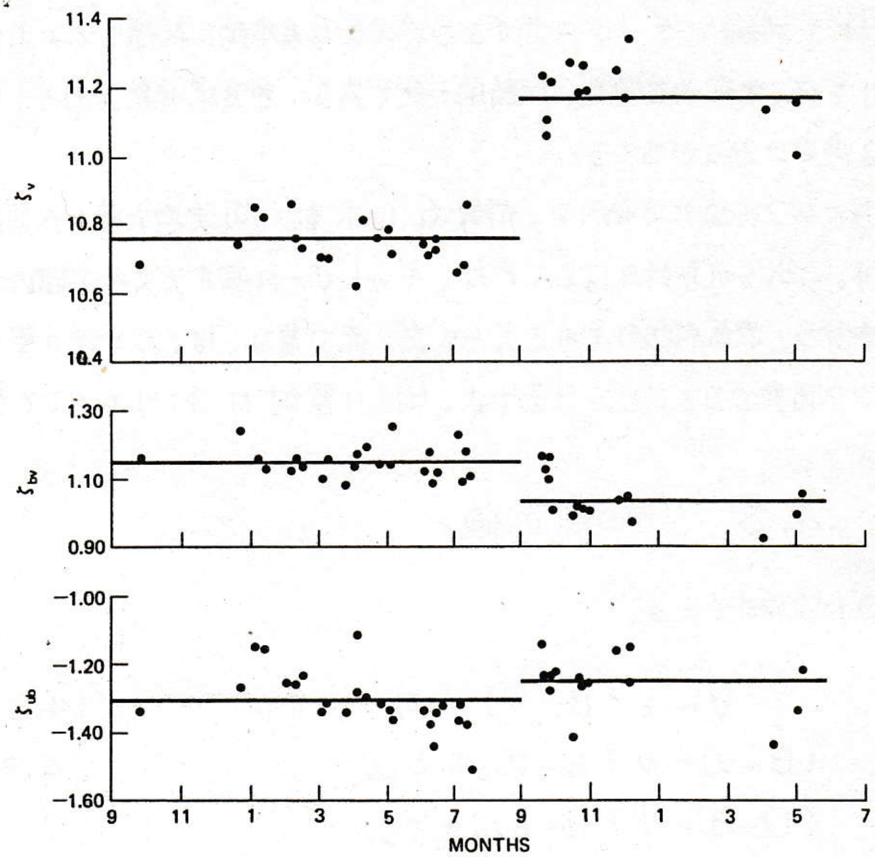

Figure 4.1 Example of zero points.

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少ししか使わなかったことと、空の透明度が異なるためによっておこる。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い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ろう。しかし、幾夜かの平均値をとれば、よい値を示すことであろう。

4.7　変換係数

標準システムへの変換係数は、等級と色がわかっている標準システムをいくつか測定することで、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εを決定するのに使われる方法である。

$$V - v_0 = \varepsilon(B-V) + \xi_v \qquad (4.38)$$

(B−V)に対する(V−v_0)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、v_0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−v_0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傾き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であるとすれば、V−v_0＝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、差の形になっていない。しかし、それらの式を、大気外の器械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、

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

また、式4.33の両辺から大気外の器械的色$(b-v)_0$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

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

(U−B)についても、同様にして次式を得る。

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

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ないという難点がある。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。他の問題点は、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を費やしなさい。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　差測光法（Differential Photometry）

差測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、差測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級であらわしたもの、オ5，6らんは、星と空のペ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。

$$\underbrace{CVV\cdots VVC}_{\text{オ1ブロック}}\overbrace{VV\cdots VV}^{\text{オ2ブロック}}\underbrace{CVV\cdots VVC}_{\text{オ3ブロック}}\overbrace{VV\cdots VV}^{\text{オ4ブロック}}C\cdots$$

TABLE 4.1. Differential Photometry Data

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

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、変光星の数個の測定を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測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Δv, 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。（$\longrightarrow$ P.23以下を参照のこと）

この手順を、すべ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。オ8，9，10らんは、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°以上はなれていれば、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、等級差を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。

オ11，13らんの結果をいくつかチェックしてみて下さい。

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、第11, 12, 13らんの ΔV, $\Delta(B-V)$, $\Delta(U-B)$ 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、

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

結局

$$V = 9.58 \pm 0.03 \quad \text{（確率誤差）}$$

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

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

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、とても難かしい。

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 Vogt[2)]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い出した。つまり、

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

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

$$\gamma_2 = \beta \gamma_1$$

ここで

$$\beta \simeq -0.27$$

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を決定することに集約される。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。ただし、γ_1は、Johnson and Morgan[3)] 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。

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

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。これを行なわないと、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して、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 第2.6節 をぬき出して訳す。

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色フィルタを通した秒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ふれ(直流法の場合)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。

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

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

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

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ないだろう。すなわち、

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

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

$$\Delta u = -2.5 \log \frac{du_x}{du_c} + Gu_x - Gu_c \quad (2.40)$$

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。才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ろう。すなわち

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

同様にして

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

初心者は、これより先のデータ整約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、それは才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、接近していて、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ない。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。

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

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

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

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。

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

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

ここで、$\overline{X}$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ことを強調しておく。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。

$$\Delta V = (\Delta v)_0 + \varepsilon\Delta(B-V) \qquad (2.48)$$

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

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

2つの星がよく似た色であれば、式4.48の第2項はほとんど0になる。さらに、1P21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、キャリブレート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。

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

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

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

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そって選んだ。

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連星でないこと
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いない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 = Cousins[2]

JOHNSON = Johnson[3]

もっと暗い星が必要な時は、Landolt[4]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. (1950.0)	R.A. (1985.0)	DEC. (1985.0)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
0063	0 14 28.3	+38 24 14.9	0 16 18	38 35 54	4.61	0.06	0.07	A2V	THE AND	JOHNSON
0068	0 15 42.5	+36 30 29.7	0 17 32	36 42 9	4.50	0.06	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	0.13	A7V	THE CAS	JOHNSON
0378	1 15 13.0	+ 3 21 6.2	1 17 1	3 32 9	5.15	0.07	0.10	A3V	89 PSC	COUSINS
0383	1 16 42.7	+27 0 6.8	1 18 38	27 11 8	4.76	0.03	0.10	A3V	UPS PSC	AZ-TNT.
0580	1 59 7.2	+72 10 50.8	2 2 8	72 20 57	3.98	-0.01	0.03	A1V	50 CAS	AZ-TNT.
0620	2 5 27.7	+37 37 22.8	2 7 34	37 47 20	4.83	0.12	0.14	A4V	58 AND	AZ-TNT.
0664	2 14 20.0	+33 37 1.5	2 16 24	33 46 44	4.01	0.03	0.01	A0V	GAM TRI	AZ-TNT.
0718	2 25 29.8	+ 8 14 13.1	2 27 21	8 23 36	4.28	-0.06	-0.13	B9III	CHI2 CET	JOHNSON
0879	2 55 33.3	+39 27 50.7	2 57 47	39 36 13	4.70	0.06	0.12	A2V	PI PER	AZ-TNT.
0932	3 6 27.7	+74 12 22.1	3 10 16	74 20 19	4.87	0.03	0.04	A0V		AZ-TNT.
0972	3 12 1.3	+20 51 37.9	3 14 2	20 59 25	4.89	-0.02	-0.01	A0IV	ZET ARI	AZ-TNT.
1002	3 18 5.0	+43 9 2.0	3 20 26	43 16 34	4.94	0.06	0.05	A3V	32 PER	AZ-TNT.
1148	3 45 2.9	+71 10 51.6	3 48 45	71 17 16	4.66	0.03	0.05	A3IV	GAM CAM	AZ-TNT.
1261	4 2 50.9	+50 13 3.3	4 5 27	50 18 43	4.29	0.02	-0.04	B9V	LAM PER	AZ-TNT.
1324	4 14 28.4	+50 10 28.9	4 17 6	50 15 37	4.65	0.05	0.05	A2	B PER	AZ-TNT.
1387	4 22 23.1	+22 10 51.9	4 24 28	22 15 38	4.23	0.12	0.15	A7V	KAP 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.
1448	4 31 28.5	+ 5 27 54.9	4 33 20	5 32 16	5.68	0.05	0.10	A3		COUSINS
1544	4 47 53.0	+ 8 48 57.6	4 49 47	8 52 31	4.35	0.01	0.03	A0V	PI2 ORI	AZ-TNT.
1570	4 52 8.4	+10 4 22.5	4 54 3	10 7 44	4.66	0.08	0.08	A0V	PI1 ORI	AZ-TNT.
1724	5 14 5.2	+ 1 53 36.5	5 15 54	1 55 53	6.42	-0.02	0.02	B8V		COUSINS
1807	5 23 57.1	+ 6 49 38.7	5 25 50	6 51 25	6.42	-0.02	-0.05	B9		COUSINS
1872	5 31 38.8	+ 3 44 3.5	5 33 29	3 45 27	5.35	0.04	0.06	A2	38 ORI	COUSINS
2034	5 50 11.0	+27 36 8.5	5 52 22	27 36 35	4.61	-0.02	0.01	B9.5V	136 TAU	AZ-TNT.
2103	5 56 15.2	+ 0 32 59.7	5 58 3	0 33 8	5.21	0.00	0.01	A1	60 ORI	COUSINS
2174	6 6 21.2	+ 2 30 32.8	6 8 10	2 30 10	5.73	0.06	0.04	A0.5I		COUSINS
2209	6 13 20.4	+69 20 27.1	6 17 11	69 19 40	4.79	0.03	-0.01	A0V	22 CAM	AZ-TNT.
2238	6 15 12.7	+59 1 54.2	6 18 17	59 1 2	4.47	0.01	0.03	A2V	2 LYN	AZ-TNT.
2404	6 32 3.8	+ 7 36 46.8	6 33 57	7 35 6	6.44	-0.01	-0.03	A0	14 MON	COUSINS
2543	6 49 2.1	+ 3 6 10.6	6 50 52	3 3 38	6.38	0.04	0.09	A0		COUSINS
2584	6 52 51.4	+ 8 23 23.1	6 54 45	8 20 39	6.28	0.04	0.06	A0		COUSINS
2585	6 53 58.3	+45 9 40.7	6 56 31	45 6 53	4.90	0.04	0.03	A2V	16 LYN	AZ-TNT.
2629	6 59 2.2	+ 4 53 26.2	7 0 53	4 50 24	6.63	0.06	0.09	A0		COUSINS
2654	7 1 44.8	+ 1 33 50.6	7 3 33	1 30 41	6.56	0.01	-0.07	B9		COUSINS
2710	7 9 11.3	+ 5 44 20.7	7 11 3	5 40 49	6.08	-0.02	-0.05	A0		COUSINS
2751	7 14 44.3	+49 33 22.1	7 17 23	49 29 33	5.04	0.08	0.09	A3III		AZ-TNT.

NORTHERN FIRST ORDER EXTINCTION STARS

HR	R.A. (1950.0)	DEC. (1950.0)	R.A. (1985.0)	DEC. (1985.0)	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	A1IV	21 LYN	AZ-TNT.
2946	7 38 47.2	+58 49 47.0	7 41 44	58 44 49	4.99	0.08	0.09	A3III	24 LYN	AZ-TNT.
3067	7 50 26.4	+26 53 48.7	7 52 34	26 48 20	4.99	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	0.00	0.01	A0		COUSINS
3173	8 4 42.3	+51 39 9.9	8 7 20	51 33 3	4.84	0.05	0.00	A2V	27 LYN	AZ-TNT.
3410	8 35 0.6	+ 5 52 45.6	8 36 51	5 45 24	4.17	0.00	0.02	A0V	DEL HYA	AZ-TNT.
3412	8 35 22.7	+ 9 45 2.4	8 37 16	9 37 40	6.52	-0.02	-0.04	A0	37 CNC	COUSINS
3449	8 40 23.7	+21 38 58.8	8 42 25	21 31 24	4.66	0.02	0.01	A1V	GAM CNC	AZ-TNT.
3492	8 45 47.1	+ 6 1 25.1	8 47 38	5 53 38	4.37	-0.05	-0.05	A0V	RHO HYA	AZ-TNT.
3573	8 55 33.2	+ 1 44 8.5	8 57 21	1 36 0	6.59	0.06	0.08	A0		COUSINS
3651	9 9 36.2	+ 4 4 23.2	9 11 25	3 55 44	6.14	0.00	0.00	A0		COUSINS
3799	9 31 24.6	+52 16 30.2	9 33 48	52 7 8	4.50	0.00	0.04	A2V	26 UMA	AZ-TNT.
3906	9 49 37.4	+ 2 41 17.3	9 51 26	2 31 24	6.02	-0.04	-0.08	A1V	7 SEX	COUSINS
3974	10 4 29.2	+35 29 21.4	10 6 32	35 19 5	4.49	0.19	0.07	A7V	21 LMI	JOHNSON
4248	10 51 6.5	+43 27 24.0	10 53 6	43 16 12	4.71	-0.05	-0.06	A1V	OMI UMA	AZ-TNT.
4300	10 59 39.8	+20 26 54.2	11 1 31	20 15 36	4.41	0.04	0.04	A1V	60 LEO	AZ-TNT.
4356	11 11 11.9	+ 0 12 9.9	11 12 59	0 0 43	5.42	-0.02	-0.05	A0	69 LEO	COUSINS
4386	11 18 33.5	+ 6 18 13.1	11 20 21	6 6 42	4.06	-0.07	-0.12	B9V	SIG LEO	AZ-TNT.
4380	11 16 24.7	+38 27 36.4	11 18 19	38 16 6	4.79	0.12	0.03	A2V	55 UMA	AZ-TNT.
4528	11 45 20.8	+ 8 31 25.3	11 47 8	8 19 44	5.31	0.02	0.04	A1	4 VIR	COUSINS
4585	11 57 23.2	+ 3 56 1.0	11 59 10	3 44 19	5.36	0.00	0.00	A0	7 VIR	COUSINS
4589	11 58 18.6	+ 6 53 35.1	12 0 6	6 41 53	4.67	0.13	0.10	A4V	PI VIR	AZ-TNT.
4789	12 32 21.6	+22 54 15.4	12 34 6	22 42 41	4.81	0.00	-0.01	A3III	23 COM	AZ-TNT.
4805	12 35 31.4	+ 3 33 26.5	12 37 18	3 21 53	6.32	0.01	0.01	A0		COUSINS
4828	12 39 21.2	+10 30 39.2	12 41 7	10 19 8	4.88	0.09	0.06	A1V	RHO VIR	AZ-TNT.
5021	13 16 19.0	+ 3 57 1.6	13 18 5	3 45 59	6.62	0.06	0.02	A1IV		COUSINS
5037	13 19 9.0	+ 2 20 57.8	13 20 55	2 9 58	5.70	0.05	0.02	A0		COUSINS
5062	13 23 16.5	+55 14 53.0	13 24 39	55 3 57	4.03	0.15	0.09	A5V	80 UMA	JOHNSON
5112	13 32 24.8	+49 16 15.8	13 33 50	49 5 31	4.70	0.12	0.11	A4V	24 CVN	AZ-TNT.
5264	13 59 5.9	+ 1 47 8.5	14 0 52	1 37 0	4.27	0.09	0.14	A3III	TAU VIR	AZ-TNT.
5859	15 42 55.0	+ 5 36 10.0	15 44 38	5 29 37	5.58	0.04	0.03	A0V		AZ-TNT.
5972	16 0 8.4	+22 56 31.0	16 1 38	22 50 42	4.83	0.07	0.05	A3V	PI SER	AZ-TNT.
6161	16 28 4.2	+68 52 34.8	16 28 0	68 48 0	5.01	-0.06	-0.10	B9IV	15 DRA	AZ-TNT.
6168	16 32 29.3	+42 32 21.1	16 33 37	42 28 1	4.20	-0.02	-0.10	B9V	SIG HER	AZ-TNT.
6355	17 3 3.4	+12 48 29.1	17 4 40	12 45 38	4.91	0.12	0.06	A3IV	60 HER	AZ-TNT.
6436	17 15 56.7	+37 20 34.1	17 17 9	37 18 21	4.66	0.05	-0.03	A2V	69 HER	AZ-TNT.

6723	17	59	12.9	+ 1	18	17.3	18	Ø	59	1	18	17	4.42	Ø.Ø4	Ø.Ø2	A1V	68 OPH	AZ-TNT.
6789	17	48	18.3	+86	36	34.8	17	37	Ø	86	35	41	4.35	Ø.Ø1	Ø.Ø4	A1V	DEL UMI	AZ-TNT.
6923	18	23	1Ø.7	+58	46	16.5	18	23	41	58	47	28	4.98	Ø.Ø8	Ø.Ø5	A1V	39 DRA	AZ-TNT.
7Ø69	18	44	48.7	+18	7	28.Ø	18	46	21	18	9	46	4.36	Ø.13	Ø.Ø7	A3V	111 HER	AZ-TNT.
7Ø85	18	47	4.2	+ Ø	46	4Ø.6	18	48	51	Ø	49	6	6.24	Ø.Ø3	Ø.Ø1	AØ		COUSINS
7313	19	15	16.6	+ 1	56	26.7	19	17	2	2	Ø	15	6.18	Ø.Ø1	Ø.Ø1	AØ		COUSINS
7371	19	2Ø	24.9	+65	37	5.2	19	2Ø	35	65	41	6	4.59	Ø.Ø2	Ø.Ø6	A2IV	PI DRA	AZ-TNT.
7546	19	46	45.4	+19	Ø	55.5	19	48	18	19	6	12	5.ØØ	Ø.1Ø	Ø.Ø6	A3V	ZET SGE	AZ-TNT.
7592	19	51	2Ø.1	+23	56	52.8	19	52	49	24	2	22	4.58	-Ø.Ø6	-Ø.13	B9.5I	13 VUL	AZ-TNT.
7724	2Ø	11	57.7	+15	2	38.4	2Ø	13	34	15	9	2	4.95	Ø.Ø9	Ø.Ø1	A2V	RHO AQL	AZ-TNT.
773Ø	2Ø	11	43.6	+46	39	48.9	2Ø	12	49	46	46	11	4.82	Ø.1Ø	Ø.14	A3III	3Ø CYG	AZ-TNT.
7736	2Ø	12	39.6	+36	39	7.8	2Ø	13	58	36	45	33	4.99	Ø.12	Ø.ØØ	A2III	29 CYG	AZ-TNT.
774Ø	2Ø	12	14.1	+56	24	5Ø.9	2Ø	13	2	56	31	14	4.3Ø	Ø.11	Ø.Ø8	A3IV	33 CYG	AZ-TNT.
7857	2Ø	31	29.1	+ 9	53	15.Ø	2Ø	33	1Ø	1Ø	Ø	27	6.56	Ø.Ø8	Ø.Ø5	AØ		COUSINS
7871	2Ø	32	58.2	+14	3Ø	2.2	2Ø	34	36	14	37	18	4.69	Ø.11	Ø.11	A3V	ZET DEL	AZ-TNT.
7891	2Ø	36	17.2	+21	1	28.7	2Ø	37	5Ø	21	8	52	4.82	-Ø.Ø2	-Ø.Ø7	B9.5V	29 VUL	AZ-TNT.
8Ø98	21	8	5.4	+ 9	5Ø	38.4	21	9	47	9	59	13	6.Ø7	Ø.Ø2	Ø.Ø4	A2V	6 EQU	COUSINS
8265	21	35	14.1	+ 6	23	33.9	21	36	58	6	33	1	6.2Ø	Ø.Ø2	Ø.Ø1	A1V	3 PEG	COUSINS
8328	21	44	41.8	+ 2	27	14.6	21	46	28	2	36	58	5.64	Ø.ØØ	-Ø.Ø1	AØ	11 PEG	COUSINS
8491	22	13	3Ø.3	+ 8	18	1.5	22	15	14	8	28	29	6.2Ø	Ø.Ø2	-Ø.Ø4	AØ		COUSINS
8641	22	39	24.3	+29	2	46.1	22	41	2	29	13	45	4.79	-Ø.Ø1	Ø.ØØ	A1V	OM PEG	AZ-TNT.
8717	22	52	42.5	+ 8	32	55.9	22	54	28	8	44	8	4.91	Ø.ØØ	-Ø.Ø1	A1V	RHO PEG	AZ-TNT.
8738	22	56	11.2	+ 7	4	21.7	22	57	57	7	15	36	6.33	Ø.Ø6	Ø.Ø1	AØ		COUSINS
9Ø42	23	5Ø	31.Ø	+ 1	48	45.3	23	52	18	2	Ø	26	6.28	Ø.ØØ	-Ø.Ø1	A2	25 PSC	COUSINS

TABLE A.2. Southern First-Order Extinction Stars

HR	R.A. (195Ø.Ø)	DEC. (195Ø.Ø)	R.A. (1985.Ø)	DEC. (1985.Ø)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
Ø125	Ø 29 Ø.6	-49 4 47.3	Ø 3Ø 41	-48 53 11	4.77	Ø.Ø1	Ø.Ø4	AØV	LAMIPHE	COUSINS
Ø191	Ø 41 6.8	-57 44 13.2	Ø 42 4Ø	-57 32 43	4.36	Ø.ØØ	-Ø.Ø3	AØV	ETA PHE	COUSINS
Ø444	1 3Ø 33.9	- 9 16 16.3	1 32 18	- 9 5 29	6.59	-Ø.Ø4	-Ø.1Ø	AØ		COUSINS
Ø558	1 52 17.6	-42 44 3Ø.2	1 53 44	-42 34 12	5.11	-Ø.Ø5	-Ø.14	B9	PHI PHE	COUSINS
Ø6Ø7	2 Ø 37.6	- Ø 6 42.3	2 2 25	Ø 3 22	5.42	Ø.14	Ø.13	A5	6Ø CET	COUSINS
Ø658	2 13 Ø.8	- 9 41 52.7	2 14 43	- 9 32 7	6.54	-Ø.Ø1	-Ø.Ø7	AØ		COUSINS
Ø684	2 17 9.9	- 4 34 28.9	2 18 55	- 4 24 5Ø	6.5Ø	Ø.Ø7	Ø.Ø8	A2		COUSINS
Ø7Ø5	2 2Ø 51.2	-68 53 11.8	2 21 29	-68 43 39	4.Ø8	Ø.Ø3	Ø.Ø5	A2V	DEL HYI	COUSINS
Ø7Ø8	2 23 32.Ø	-12 6Ø 54.3	2 25 13	-12 51 27	4.89	-Ø.Ø2	-Ø.Ø4	B9V	RHO CET	AZ-TNT.
Ø789	2 37 53.6	-43 6 19.7	2 39 13	-42 57 19	4.74	Ø.Ø6	Ø.Ø6	A2V		COUSINS
Ø8Ø6	2 38 48.8	-68 28 5Ø.9	2 39 2Ø	-68 19 51	4.11	-Ø.Ø6	-Ø.13	B9III	EPS HYI	COUSINS
Ø837	2 44 45.9	-67 49 35.4	2 45 18	-67 4Ø 48	4.83	Ø.Ø5	Ø.Ø8	A2	ZET HYI	COUSINS
Ø875	2 54 6.9	- 3 54 45.Ø	2 55 52	- 3 46 18	5.16	Ø.Ø8	Ø.Ø6	A1V		JOHNSON
Ø892	2 56 1Ø.7	- 2 58 51.2	2 57 56	- 2 5Ø 28	5.23	Ø.ØØ	Ø.Ø4	A2		COUSINS
1272	4 3 31.9	- 8 59 23.9	4 5 13	- 8 53 44	6.26	Ø.Ø6	Ø.Ø8	A3V		COUSINS
1383	4 21 11.3	- 3 51 34.8	4 22 55	- 3 46 44	5.18	Ø.Ø7	Ø.Ø8	A1V	XSI ERI	COUSINS
1522	4 43 53.7	- 3 2 35.1	4 45 38	- 2 58 48	6.33	Ø.Ø4	Ø.Ø6	A2		COUSINS
1596	4 55 39.6	- 2 17 18.2	4 57 25	- 2 14 6	6.34	Ø.Ø9	Ø.11	AØ		COUSINS
1621	4 59 15.3	-2Ø 7 24.Ø	5 Ø 46	-2Ø 4 22	4.91	-Ø.Ø5	-Ø.15	B9		AZ-TNT.
1762	5 18 18.7	-21 17 19.2	5 19 48	-21 15 14	4.7Ø	-Ø.Ø5	-Ø.11	AØV		COUSINS
1826	5 26 26.9	- 3 2Ø 47.5	5 28 11	- 3 19 7	6.38	-Ø.Ø1	-Ø.Ø6	B9		COUSINS
1937	5 36 27.8	- 7 14 21.4	5 38 9	- 7 13 12	4.81	Ø.14	Ø.Ø9	A4IV	49 ORI	AZ-TNT.
2Ø39	5 49 44.5	- 9 3 11.3	5 51 24	- 9 2 42	5.95	Ø.1Ø	Ø.Ø8	AØ		COUSINS
2Ø71	5 53 7.3	- 4 47 41.5	5 54 5Ø	- 4 47 23	6.28	Ø.Ø5	Ø.Ø6	AØ		COUSINS
2155	6 3 53.5	-14 55 45.5	6 5 28	-14 55 59	4.67	Ø.Ø5	Ø.ØØ	A1V	THE LEP	AZ-TNT.
2195	6 8 35.4	- 6 44 31.6	6 1Ø 17	- 6 45 Ø	6.14	Ø.Ø1	Ø.Ø3	AØ		COUSINS
221Ø	6 1Ø 13.8	- 2 29 26.5	6 11 59	- 2 3Ø Ø	6.62	Ø.Ø4	Ø.Ø8	AØ		COUSINS
2295	6 2Ø 54.4	- 4 39 37.4	6 22 38	- 4 4Ø 43	6.66	Ø.Ø6	Ø.ØØ	B9		COUSINS
2328	6 24 19.8	- 7 28 49.6	6 26 1	- 7 3Ø 6	6.26	-Ø.Ø3	-Ø.1Ø	AØ		COUSINS
2414	6 32 57.6	-22 55 26.1	6 34 25	-22 57 8	4.54	-Ø.Ø4	-Ø.Ø2	AØV	CHI2CMA	AZ-TNT.
2714	7 9 18.6	- Ø 24 3Ø.4	7 11 5	- Ø 28 1	4.15	Ø.ØØ	Ø.Ø3	AØIV	DEL MON	AZ-TNT.
3131	7 57 37.5	-18 15 39.2	7 59 11	-18 21 25	4.61	Ø.Ø7	Ø.Ø8	A3V		COUSINS
3383	8 31 29.9	- 1 58 46.8	8 33 16	- 2 5 59	5.8Ø	Ø.ØØ	Ø.ØØ	AØ		COUSINS
3426	8 35 53.1	-42 48 47.9	8 37 6	-42 56 1Ø	4.14	Ø.1Ø	Ø.12	A9II		COUSINS
3437	8 38 36.1	- 8 52 23.8	8 4Ø 17	- 8 59 53	6.62	-Ø.Ø2	Ø.Ø2	AØ		COUSINS
3452	8 39 34.6	-47 8 16.2	8 4Ø 43	-47 15 47	4.77	Ø.12	Ø.12	A5II		COUSINS
3556	8 53 22.8	-27 29 18.7	8 54 52	-27 37 21	4.88	Ø.12	Ø.15	A3V	DEL PYX	COUSINS

3615	9	1	39.8	-66	11	46.2	9	2	12	-66	2Ø	6	4.ØØ	Ø.15	Ø.14	A5V	ALF VOL	COUSINS
3787	9	29	26.Ø	- Ø	57	48.Ø	9	31	13	- 1	7	5	4.56	Ø.11	Ø.Ø9	A3III	TAU2HYA	AZ-TNT.
3832	9	35	24.3	- 9	11	56.Ø	9	37	7	- 9	21	24	6.4Ø	-Ø.Ø4	-Ø.Ø9	AØ	34 HYA	COUSINS
3981	1Ø	5	22.7	- Ø	7	35.3	1Ø	7	1Ø	- Ø	17	52	4.49	-Ø.Ø4	-Ø.Ø7	AØIII	ALP SEX	AZ-TNT.
3989	1Ø	7	38.4	- 8	9	42.8	1Ø	9	22	- 8	2Ø	2	5.9Ø	Ø.Ø2	-Ø.Ø6	AØ	17 SEX	COUSINS
41Ø9	1Ø	26	11.9	- 3	29	9.7	1Ø	27	58	- 3	39	54	6.Ø4	Ø.Ø4	Ø.Ø5	AØ		COUSINS
4138	1Ø	29	4.4	-71	44	7.Ø	1Ø	29	57	-71	54	54	4.73	Ø.Ø3	Ø.Ø7	A2V		COUSINS
4293	1Ø	57	51.3	-41	57	26.4	1Ø	59	27	-42	8	43	4.38	Ø.11	Ø.13	A2IV		COUSINS
4343	11	9	11.7	-22	33	9.Ø	11	1Ø	55	-22	44	33	4.48	Ø.Ø3	Ø.Ø7	A2III	BET CRT	AZ-TNT.
5163	13	41	17.9	- 5	14	52.Ø	13	43	7	- 5	25	24	6.52	Ø.Ø4	Ø.Ø2	AØ		COUSINS
5342	14	13	54.5	- 2	57	52.6	14	15	43	- 3	7	36	6.14	Ø.ØØ	-Ø.Ø1	A3		COUSINS
5367	14	17	3Ø.4	-37	39	23.1	14	19	38	-37	49	Ø	4.Ø4	-Ø.Ø3	-Ø.11	AØIV	PSI CEN	COUSINS
5489	14	41	54.7	-34	58	52.6	14	44	3	-35	7	44	4.92	Ø.Ø2	-Ø.Ø4	A1		COUSINS
567Ø	15	13	34.9	-58	36	58.5	15	16	2Ø	-58	44	41	4.Ø6	Ø.Ø9	Ø.Ø8	A3V	BET CIR	COUSINS
5724	15	22	5.1	-38	33	28.6	15	24	21	-38	4Ø	51	4.6Ø	Ø.ØØ	-Ø.Ø7	AØIV		COUSINS
5959	15	58	5.4	- 8	16	17.1	15	59	58	- 8	22	1Ø	5.55	Ø.Ø4	-Ø.Ø4	A1	5Ø LIB	COUSINS
6Ø31	16	9	15.8	- 9	56	1Ø.2	16	11	1Ø	-1Ø	1	33	4.92	Ø.Ø9	Ø.1Ø	A2V	PSI SCO	AZ-TNT.
6Ø7Ø	16	15	12.Ø	-28	29	29.3	16	17	22	-28	34	36	4.77	Ø.Ø2	-Ø.Ø1	AØV	D SCO	AZ-TNT.
6446	17	18	Ø.7	-12	47	52.1	17	19	58	-12	49	56	4.31	Ø.Ø3	Ø.Ø3	A1V	NU SER	AZ-TNT.
6519	17	28	21.7	-23	55	33.Ø	17	3Ø	29	-23	57	6	4.81	Ø.ØØ	-Ø.Ø7	A1	51 OPH	COUSINS
6581	17	38	36.1	-12	51	1.Ø	17	4Ø	34	-12	52	3	4.24	Ø.Ø8	Ø.1Ø	A2V	OMI SER	AZ-TNT.
693Ø	18	26	2Ø.8	-14	35	58.Ø	18	28	2Ø	-14	34	34	4.71	Ø.Ø7	Ø.Ø4	A3V	GAM SCT	AZ-TNT.
6963	18	3Ø	42.2	- 5	56	59.9	18	32	34	- 5	55	23	6.36	Ø.Ø2	-Ø.Ø5	AØ		COUSINS
7Ø29	19	Ø	16.5	- 3	46	4Ø.Ø	19	2	7	- 3	43	34	5.42	Ø.ØØ	-Ø.Ø7	AØ	14 AQL	COUSINS
7254	19	6	4.3	-37	59	3.5	19	8	26	-37	55	4Ø	4.12	Ø.Ø4	Ø.Ø7	A2V	ALF CRA	COUSINS
744Ø	19	33	4Ø.Ø	-24	59	44.2	19	35	47	-24	55	2	4.59	-Ø.Ø6	-Ø.12	B9	52 SGR	AZ-TNT.
7773	2Ø	17	53.5	-12	55	4.5	2Ø	19	49	-12	48	24	4.76	-Ø.Ø4	-Ø.11	B9V	NU CAP	AZ-TNT.
8Ø75	21	3	8.3	-17	25	57.8	21	5	5	-17	17	32	4.Ø7	-Ø.Ø1	Ø.Ø1	AØV	THE CAP	AZ-TNT.
8431	22	5	28.3	-33	14	Ø.3	22	7	3Ø	-33	3	43	4.5Ø	Ø.Ø5	Ø.Ø5	A2V	MU PSA	COUSINS
8451	22	7	45.1	- 4	8	23.9	22	9	34	- 3	58	3	6.27	Ø.ØØ	-Ø.Ø7	AØ		COUSINS
8573	22	28	Ø.1	-1Ø	56	4.1	22	29	51	-1Ø	45	17	4.82	-Ø.Ø6	-Ø.12	AØIV	THE AQR	AZ-TNT.
884Ø	23	12	59.7	- 3	46	9.2	23	14	47	- 3	34	41	5.55	Ø.Ø6	Ø.Ø5	A2		COUSINS
8959	23	35	9.9	-45	46	9.1	23	37	2	-45	34	31	4.73	Ø.Ø8	Ø.Ø8	A2V		COUSINS
8988	23	4Ø	7.8	-14	49	17.4	23	41	56	-14	37	38	4.51	-Ø.Ø4	-Ø.13	B9.5V	OM2 AQR	AZ-TNT.
9Ø16	23	46	19.5	-28	24	24.7	23	48	8	-28	12	44	4.57	Ø.ØØ	Ø.ØØ	AØV	DEL SCL	AZ-TNT.
9Ø98	Ø	1	1Ø.8	-17	36	51.4	Ø	2	58	-17	25	9	4.56	-Ø.Ø4	-Ø.12	B9IV	2 CET	AZ-TNT.

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。

赤道上にある明るい星のリストは Crawford, Golson and Landolt[1] により出版された。Barnes and Moffett[2] 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個の星すべてのファインディングチャートがついていて、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	R.A. (195Ø.Ø)	DEC. (195Ø.Ø)	R.A. (1985.Ø)	DEC. (1985.Ø)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
*) ØØ11	Ø 5 1Ø.3	- 2 49 37.3	Ø 6 57	- 2 37 55	6.45	-Ø.14	-Ø.46	B8		KITT PK.
ØØ14	Ø 5 38.4	- 2 43 33.6	Ø 7 25	- 2 31 52	6.13	1.34	1.11	KØ		KITT PK.
Ø6Ø7	2 Ø 37.6	- Ø 6 42.3	2 2 25	Ø 3 22	5.42	Ø.14	Ø.13	A5	6Ø CET	COUSINS
Ø61Ø	2 1 14.3	- Ø 34 45.1	2 3 1	- Ø 24 4Ø	5.92	Ø.88	Ø.51	G5II	61 CET	COUSINS
Ø718	2 25 29.8	8 14 13.1	2 27 21	8 23 36	4.28	-Ø.Ø6	-Ø.13	B9III	CHI2 CET	JOHNSON
Ø725	2 26 54.9	9 2Ø 36.9	2 28 47	9 29 57	6.Ø7	1.Ø2	Ø.86	K2III		COUSINS
	2 37 Ø.Ø	1 9 13.8	2 38 48	1 18 15	8.19	-Ø.Ø6	-Ø.27	B9	HD16581	KITT PK.
	2 37 11.Ø	1 54 57.1	2 38 59	2 3 58	8.31	1.51	1.79	K4	HD166Ø8	KITT PK.
1373	4 2Ø 2.8	17 25 36.8	4 22 3	17 3Ø 3Ø	3.76	Ø.99	Ø.83	K1III	DEL TAU	AZ-TNT.
1389	4 22 35.6	17 48 55.2	4 24 36	17 53 41	4.29	Ø.Ø4	Ø.Ø8	A3V	68 TAU	AZ-TNT.
	4 46 1.6	3 33 44.7	4 47 51	3 37 24	7.32	-Ø.Ø6	-Ø.31	B9	HD3Ø544	KITT PK.
1534	4 46 6.9	3 3Ø 7.Ø	4 47 57	3 33 46	6.Ø1	1.21	1.15	KØ	HD3Ø545	KITT PK.
1826	5 26 26.9	- 3 2Ø 47.5	5 28 11	- 3 19 7	6.38	-Ø.Ø1	-Ø.Ø6	B9		COUSINS
183Ø	5 26 54.Ø	- 3 29 5.3	5 28 38	- 3 27 26	5.8Ø	1.15	1.Ø7	G8		COUSINS
2Ø71	5 53 7.3	- 4 47 41.5	5 54 5Ø	- 4 47 23	6.28	Ø.Ø5	Ø.Ø6	AØ		COUSINS
2Ø7Ø	5 53 1.8	- 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	Ø.ØØ	-Ø.Ø4	B9	HD4Ø983	KITT PK.
	6 Ø 5.5	1 6 54.7	6 1 53	1 6 51	8.17	Ø.98	Ø.76	KØ	HD41Ø29	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	R.A. (1950.0)	DEC. (1950.0)	R.A. (1985.0)	DEC. (1985.0)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
	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.

55Ø1	14 42 57.2	Ø 55 38.4	14 44 44	Ø 46 48	5.7Ø	-Ø.Ø3	-Ø.Ø6	B9	HD129956	KITT PK.
	14 43 3.7	- Ø 6 17.2	14 44 51	- Ø 15 6	8.37	1.5Ø	1.86	K5	HD129975	KITT PK.
	15 43 3Ø.2	- 1 38 56.3	15 45 18	- 1 45 27	5.4Ø	-Ø.Ø3	-Ø.42	B8	HD14Ø873	KITT PK.
	15 43 22.6	- 1 17 25.8	15 45 11	- 1 23 57	8.8Ø	1.66	2.Ø2	K5	HD14Ø85Ø	KITT PK.
	17 41 48.6	5 44 6.7	17 43 31	5 43 13	8.31	Ø.Ø5	-Ø.14	B9	HD161261	KITT PK.
	17 41 45.4	5 16 16.6	17 43 28	5 15 23	7.8Ø	1.28	1.1Ø	K2	HD161242	KITT PK.
	18 33 55.8	- 3 7 13.Ø	18 35 45	- 3 5 26	9.12	Ø.28	-Ø.1Ø	B9	HD171732	KITT PK.
	18 33 56.Ø	- 2 31 36.Ø	18 35 45	- 2 29 49	9.Ø6	1.13	1.Ø5	K2	HD171731	KITT PK.
7313	19 15 16.6	1 56 26.7	19 17 2	2 Ø 15	6.18	Ø.Ø1	Ø.Ø1	AØ		COUSINS
7319	19 15 59.8	Ø 59 34.1	19 17 46	1 3 25	5.Ø9	1.15	1.Ø1	K2II	23 AQL	COUSINS
	2Ø 34 44.6	- Ø 4 41.2	2Ø 36 32	Ø 2 39	8.12	Ø.17	-Ø.32	B8	HD18479Ø	KITT PK.
	2Ø 34 33.2	- Ø 41 33.6	2Ø 36 21	- Ø 34 13	8.16	1.2Ø	Ø.93	K5	HD184914	KITT PK.
7878	21 33 25.7	5 15 7.2	21 35 1Ø	5 24 31	6.23	-Ø.Ø9	-Ø.39	B8	HD196426	KITT PK.
	21 33 44.4	5 54 46.Ø	21 35 29	6 4 11	8.72	1.66	2.Ø4	K5	HD196395	KITT PK.
	22 33 25.7	5 15 7.2	22 35 11	5 26 Ø	8.32	-Ø.Ø6	-Ø.35	B9	HD2Ø5556	KITT PK.
	22 33 44.4	5 54 46.Ø	22 35 3Ø	6 5 39	7.72	1.26	1.32	K2	HD2Ø5584	KITT PK.
	22 4 6.3	2 11 43.1	22 5 52	2 21 58	6.52	-Ø.Ø6	-Ø.23	B9	HD2Ø99Ø5	KITT PK.
	22 3 29.4	1 Ø 48.2	22 5 16	1 11 2	8.94	1.21	1.17	K2	HD2Ø9796	KITT PK.
8451	22 7 45.1	- 4 8 23.9	22 9 34	- 3 58 3	6.27	Ø.ØØ	-Ø.Ø7	AØ		COUSINS
8451	22 7 57.4	- 4 3Ø 48.9	22 9 46	- 4 2Ø 28	6.ØØ	Ø.98	Ø.84	KØ		COUSINS
8988	23 4Ø 7.8	-14 49 17.4	23 41 56	-14 37 38	4.51	-Ø.Ø4	-Ø.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、器械等級をキャリブレート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も観測した。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. すべての星が互いに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みつけるのが難かしい。
3. 星が密集していて　　他の星が入り込むため大きなダイヤフラムは使えない
4. 互いの星団は天空ではなれた領域にあり、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測光した。そして、その標準星を、全天の標準星を使ってUBV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UBVシステムにすえられた。観測に使用した装置は、UBVシステムを定義したものと厳密に同じではあったけれど。

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ンディングチャートと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測光された。

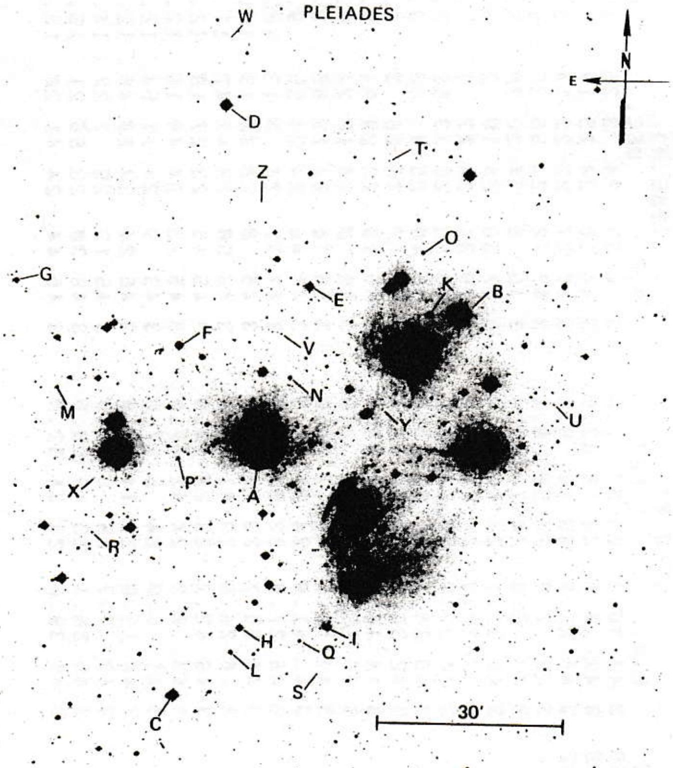

Figure D.1. The Pleiades cluster standards. Copyright by the National Geographic Society—Palomar Observatory Sky Survey. Reproduced by permission.

TABLE D.1. Pleiades Cluster Standards

HR	R.A. (1950.0)	DEC. (1950.0)	R.A. (1985.0)	DEC. (1985.0)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
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		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「みつばちの巣」と呼ばれ、最も大きく かく 近い散開星団である。プレアデスなどではないが、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。

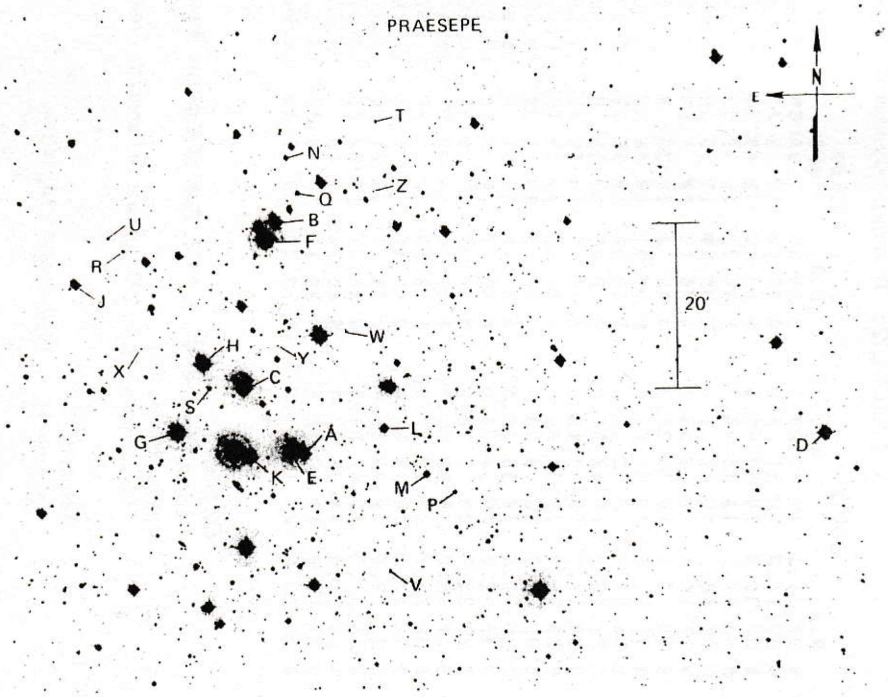

Figure D.2. The Praesepe cluster standards. Copyright by the National Geographic Society—Palomar Observatory Sky Survey. Reproduced by permission.

TABLE D.2. Praesepe Cluster Standards

HR	R.A. (1950.0)	DEC. (1950.0)	R.A. (1985.0)	DEC. (1985.0)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
3429	8 37 35.1	19 43 23.1	8 39 35	19 35 55	6.30	0.17	0.16	A2	A,2171	JOHNSON
3428	8 37 14.0	20 11 8.0	8 39 14	20 3 41	6.39	0.98	0.83	K0II	B,2158	JOHNSON
3428	8 37 30.0	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	6.61	0.01	0.02	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 10.0	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 30.0	8 37 40	19 31 6	10.01	1.01	0.78	G5	P,2056	JOHNSON
	8 37 2.7	20 14 34.0	8 39 3	20 7 7	10.11	0.49	-0.00		Q	JOHNSON
	8 38 33.7	20 7 22.0	8 40 34	19 59 52	10.72	0.60	0.10		R,2181	JOHNSON
	8 37 48.2	19 50 53.0	8 39 48	19 43 24	10.87	0.68	0.19		S	JOHNSON
	8 36 22.1	20 23 17.0	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	29 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 Grönin-gen,* No. 41, 5.

Vanderlinden, H. L. 1933. *Étude de l'amas de Praesepe.* Gembloux: Joules Duculot.

Photometry:

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

Chart:

Blue Palomar chart MLP 426 (O-1311).

D.3　IC 4665

この散開星団IC4665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いの誤差を少なくする。

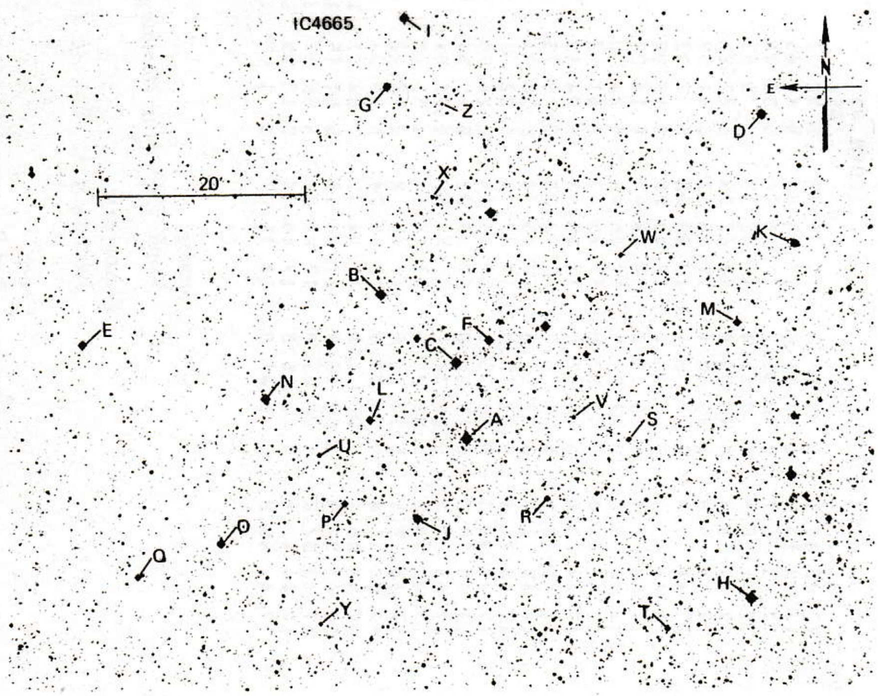

Figure D.3. The IC 4665 cluster standards. Copyright by the National Geographic Society—Palomar Observatory Sky Survey. Reproduced by permission.

TABLE D.3. IC 4665 Regional Standards

HR	R.A. (195Ø.Ø)	DEC. (195Ø.Ø)	R.A. (1985.Ø)	DEC. (1985.Ø)	V	B-V	U-B	SPEC.	NAME	OBS.
	17 43 4Ø.1	5 32 54.5	17 45 23	5 32 7	6.85	Ø.Ø1	-Ø.54	B4V	A,3483	JOHNSON
	17 44 14.Ø	5 47 31.Ø	17 45 56	5 46 45	7.12	Ø.Ø2	-Ø.48	B8	B,349Ø	JOHNSON
	17 43 43.7	5 4Ø 35.2	17 45 26	5 39 48	7.34	Ø.Ø2	-Ø.46	B9	C,3484	JOHNSON
	17 41 36.9	6 4 51.4	17 43 19	6 3 57	7.43	Ø.33	Ø.15	A2	D,3514	JOHNSON
	17 46 16.3	5 42 59.4	17 47 59	5 42 2Ø	7.49	Ø.Ø2	-Ø.41	B9	E,35Ø4	JOHNSON
	17 43 29.9	5 42 46.4	17 45 12	5 41 58	7.59	Ø.ØØ	-Ø.49	B6V	F,3482	JOHNSON
	17 44 9.8	6 8 18.1	17 45 52	6 7 32	7.74	-Ø.Ø1	-Ø.55	B9	G,3525	JOHNSON
	17 41 45.4	5 16 16.6	17 43 28	5 15 23	7.83	1.28	1.1Ø	K2	H,3469	JOHNSON
	17 44 2.1	6 15 14.2	17 45 44	6 14 27	7.89	1.Ø3	Ø.77	KØ	I,3524	JOHNSON
	17 44 Ø.8	5 24 54.8	17 45 43	5 24 8	7.94	Ø.45	-Ø.Ø1	FØ	J,3488	JOHNSON
	17 41 24.8	5 51 57.2	17 43 7	5 51 2	8.Ø5	Ø.Ø7	-Ø.17	AØ	K,3466	JOHNSON
	17 44 19.4	5 34 57.4	17 46 2	5 34 12	8.22	Ø.11	-Ø.3Ø	B9	L,3491	JOHNSON
	17 41 48.6	5 44 6.7	17 43 31	5 43 13	8.31	Ø.Ø6	-Ø.16	B9	M,3471	JOHNSON
	17 45 1.7	5 37 14.6	17 46 44	5 36 31	8.33	1.73	2.Ø8	K5	N,3498	JOHNSON
	17 45 21.Ø	5 22 43.3	17 47 4	5 22 1	8.4Ø	1.23	1.Ø4	K2	O,35ØØ	JOHNSON
	17 44 3Ø.3	5 26 35.1	17 46 13	5 25 5Ø	8.89	Ø.11	-Ø.27	B9V	P,3493	JOHNSON
	17 45 55.3	5 19 32.Ø	17 47 38	5 18 51	8.96	1.25	1.Ø7		Q,35Ø3	JOHNSON
	17 43 7.4	5 26 44.1	17 44 5Ø	5 25 55	9.1Ø	Ø.26	Ø.1Ø		R,3479	JOHNSON
	17 42 33.6	5 32 33.6	17 44 16	5 31 42	9.39	Ø.31	Ø.17	A2V	S,3473	JOHNSON
	17 42 19.Ø	5 13 14.Ø	17 44 2	5 12 22	9.68	1.27	1.Ø4		T,3472	JOHNSON
	17 44 41.Ø	5 31 39.Ø	17 46 24	5 3Ø 54	9.81	Ø.68	Ø.23		U,3496	JOHNSON
	17 42 55.Ø	5 35 1.Ø	17 44 37	5 34 11	1Ø.1Ø	Ø.12	Ø.Ø1	AØ	V,3477	JOHNSON
	17 42 34.Ø	5 52 46.Ø	17 44 16	5 51 55	1Ø.21	1.29	1.27		W,3474	JOHNSON
	17 43 52.Ø	5 57 21.Ø	17 45 34	5 56 34	1Ø.61	Ø.45	Ø.15	A2	X,3485	JOHNSON
	17 44 41.Ø	5 13 15.Ø	17 46 24	5 12 3Ø	1Ø.75	Ø.37	Ø.22		Y,3495	JOHNSON
	17 43 45.Ø	6 6 44.Ø	17 45 27	6 5 56	11.33	Ø.53	-Ø.Ø5		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がらを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。

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

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2らん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。

$$A = t\, N_H$$

この直線の傾きが、t 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 $t = 1.40 \times 10^{-7}$ 秒である。この不感時間を使う例題は付録Hに出ている。

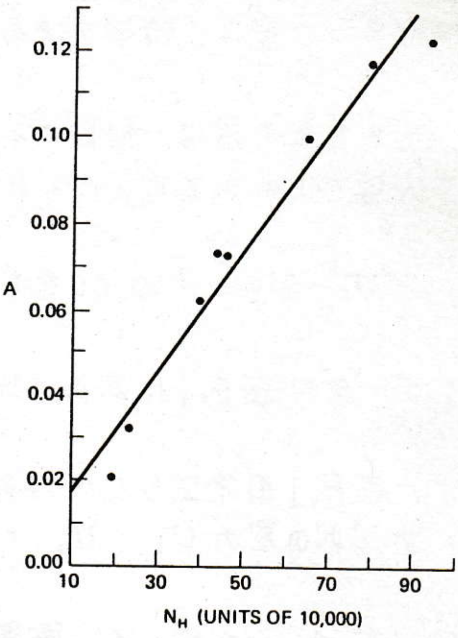

Figure F.1. A versus N_H, where $A = (N_H/n_H)$.

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組を、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大気量における比較星の器械等級（instrumental magnitude; =ナチュラルシステムでの等級）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、

$$v_0 = v - k'_v X \tag{G.1}$$
$$b_0 = b - k'_b X \tag{G.2}$$
$$u_0 = u - k'_u X \tag{G.3}$$

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: $\alpha = 2^h07^m$, $\delta = 40°23'$ Observatory: 39°33′ north latitude

		Counts per Second			Instrumental Magnitudes		
HA	X	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^h07^m，赤緯が$40°23'$である。この観測所は北緯$39°33'$である。表G．Iの才1らんは、比較星を観測した時の時角をあらわしている。才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。
　才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、才4.4節の例を参考にして下さい。

2. 才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。才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

$$v = -2.5\log(d_v) + G_v$$
$$b = -2.5\log(d_b) + G_b$$
$$u = -2.5\log(d_u) + G_u$$

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。

$$k'_v = 0.306$$
$$k'_b = 0.441$$
$$k'_u = 0.840$$

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。

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

式4.26の第3項は、k''_{bv}が小さいので ふつうは無視する。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。

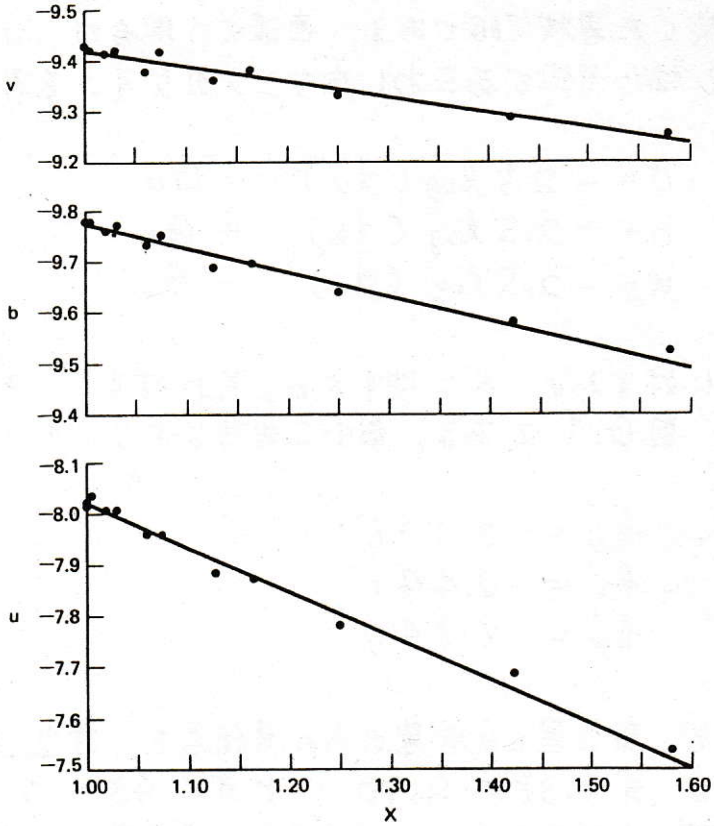

Figure G.1. Instrumental magnitudes versus air mass.

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。その夜のいろんな時間に、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

$$V = v - k'_v X + \varepsilon(B-V) + \zeta_v$$

または

$$V - v = -k'_v X + \varepsilon(B-V) + \zeta_v \qquad (G.4)$$

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

$$V - v = \zeta_v - k'_v X \qquad (G.5)$$

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

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

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、この表にはあていない。

   才2, 3, 4 らんは、付録Aからとったデータである。才5らんは、式4.17と4.18で計算した大気量、才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。

   才9らんの数字をV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	b	u	$V-v$	$(B-V)-(b-v)$	$(U-B)-(u-b)$
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

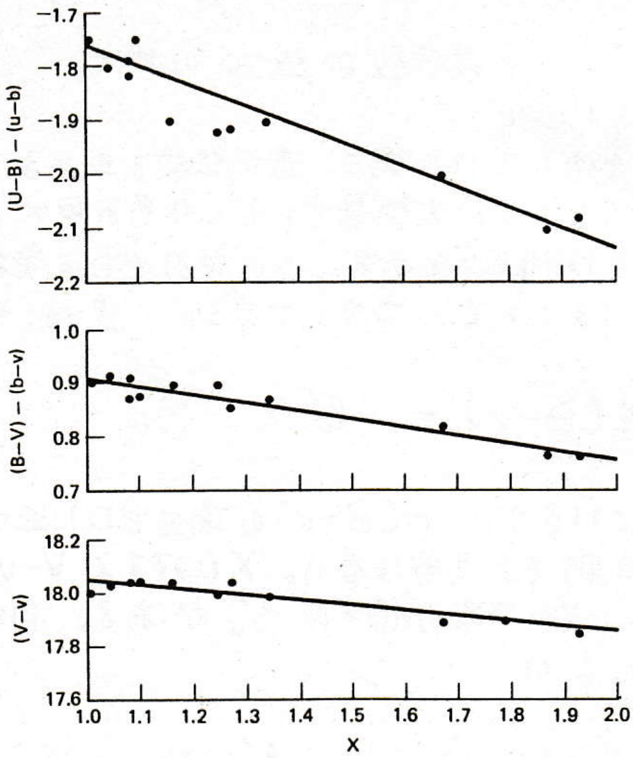

Figure G.2. Extinction plots when transformation coefficients are unknown.

2. 才10，11らんを，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$(V-v)$，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。

$$k'_v = 0.200$$
$$k'_{bv} = 0.153$$
$$k'_{ub} = 0.353$$

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（ξ_v, ξ_{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

$$V - v - \varepsilon(B-V) = -k'_v X - \xi_v \qquad (G.10)$$

εは、わかっているので、$\varepsilon(B-V)$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$V-v-\varepsilon(B-V)$をプロットすれば、その直線の傾きはk'_vである。同様に$k''_{bv} \sim 0$として式G.6は

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

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つのらんは、付録Cからとっている。第5らんは大気量、第6, 7, 8らんは、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。

$$\varepsilon = -0.084$$
$$\mu = 1.083$$
$$\psi = 1.006$$

第9らん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て下さい。同様に、第10, 11らんをチェックするために、式G.11, G.12の左辺を計算してみて下さい。

TABLE G.3. Observations of Standard Stars

Star	V	$(B-V)$	$(U-B)$	X	v	$(b-v)$	$(u-b)$	$V-v-\epsilon(B-V)$	$(B-V)-\mu(b-v)$	$(U-B)-\psi(u-b)$
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 $V-v-\varepsilon(B-V)$，Xに対する $(B-V)-\mu(b-v)$，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。

$$k'_v = 0.212$$
$$k'_{bv} = 0.163$$
$$k'_{ub} = 0.373$$

同時に、ゼロ点定数である切片も求められる。

$$\xi_v = 18.359$$
$$\xi_{bv} = 0.875$$
$$\xi_{ub} = -1.381$$

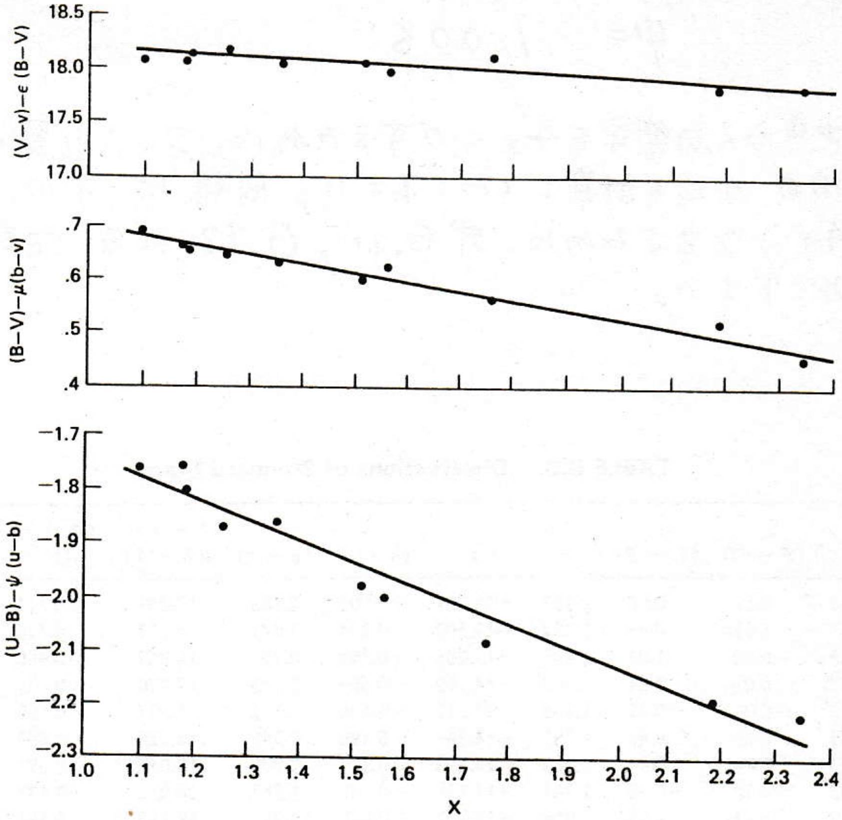

Figure G.3. Extinction plots when transformation coefficients are known.

G.3　2次減光係数の求め方

k'_v 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かっている。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

$$(b-v)_{o1}-(b-v)_{o2}=(b-v)_1-k''_{bv}X_1(b-v)_1-k'_{bv}X_1$$
$$-(b-v)_2-k''_{bv}X_2(b-v)_2-k'_{bv}X_2$$

$X_1 \simeq X_2$ であるから

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

$\Delta(b-v)_o$ 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 HD30544 と HD30545 である。これらは、他のペアとともに付録Bにのっている。表G.4の才1，2，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。才3らんは（才1らん－才2らん）である。才4らんは観測時刻における平均の大気量である。才5らんは才3らんと才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

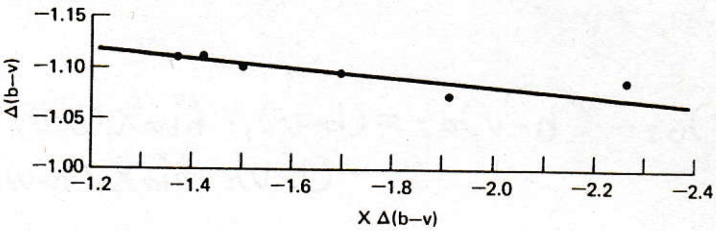

Figure G.4. Second order extinction plot.

2. XΔ(b−v) に対する Δ(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ないで、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。

60cm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測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、ゲイン較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つのらんは無視しよう。この実例では、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推める。

　表H.2は、実際の観測データを示す。

TABLE H.1. Standard Stars

Star	RA	Dec.	Standard V	Standard B − V	Standard U − B	Calculated V	Calculated B − V	Calculated 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
υ 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			
υ 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の第5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第6らんに示し、斜線で区切ってある。この例に用いられたアンプは、粗い方のスイッチは較正の必要はない。細かい方のスイッチの補正は、第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ない。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の第2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、第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
υ 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 を考えてみよう。

$$
\begin{aligned}
\text{時角} &= H = 0:47 \\
&= \frac{47\ \text{分}}{60\ \text{分/時間}} \times (15^{\circ}\ /\text{時間}) \\
&= 11.75^{\circ} \\
\delta &= 35.37^{\circ} \quad (\text{表H.1からの赤緯}) \\
\phi &= 35.92^{\circ} \quad (\text{観測所の緯度}) \\
X &= (\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos H)^{-1} \\
&= 1.014
\end{aligned}
$$

第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。

$$
\begin{aligned}
k'_v &= 0.380 \\
k'_{bv} &= 0.300 \\
k'_{ub} &= 0.512 \\
k''_{bv} &\simeq 0
\end{aligned}
$$

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た。

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

その計算結果は、表H.3の第4〜6らんにあている。これらは墨械等級と色である。この結果のいくつかをチェックしてみて下さい。

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に出ている。$V-v_0$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。

$$\varepsilon = -0.012$$
$$\xi_v = 2.532$$

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

$$1-\frac{1}{\mu} = -0.059$$
$$\mu = 0.944$$

そして

$$\frac{\xi_{bv}}{\mu} = 0.940$$
$$\xi_{bv} = 0.887$$

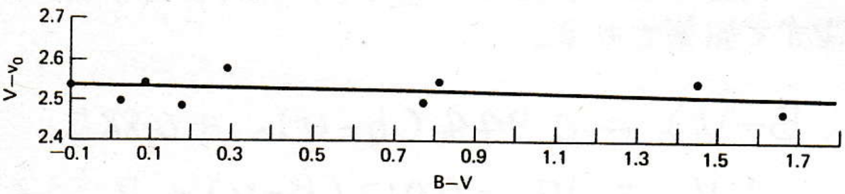

Figure H.1. Plot to determine ϵ and ζ_v.

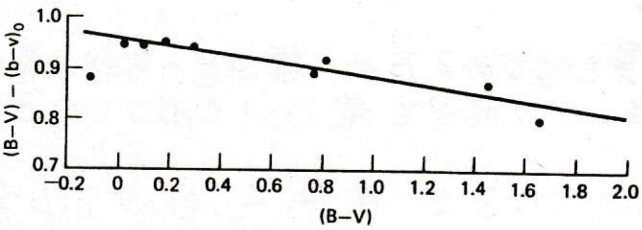

Figure H.2. Plot to determine μ and ζ_{bv}.

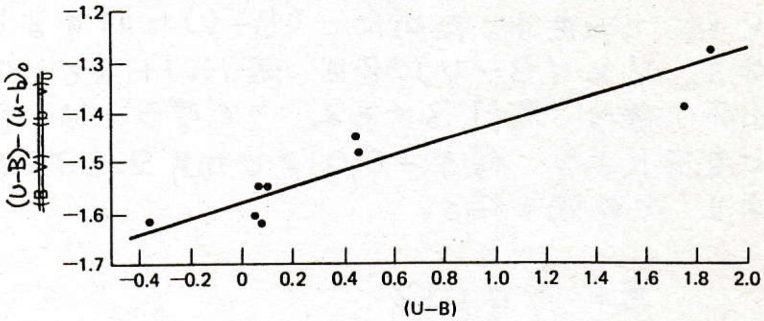

Figure H.3. Plot to determine ψ and ζ_{ub}.

6. 才5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

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

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

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。

$$(B-V)=0.944\,(b-v)_0+0.887$$

$$V=v_0-0.012\,(B-V)+2.532$$

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

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つのらんに示す。

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

んよい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、よい結果を得られる。　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。

才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へらす。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. 才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つのらんは無視する。

   表H.５は、実際の観測をのせた。才３らん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tは才４章で述べたものと付録Fの実例の手順で決めた。本例題で使った測光器では、$t = 1.54 \times 10^{-7}$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。

$$n = N e^{-Nt}$$

TABLE H.4. The Standard Stars

Star	RA	Dec.	Standard V	Standard B − V	Standard U − B	Calculated V	Calculated B − V	Calculated U − B
A	17h 45m	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節に述べてある。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、

$$n = 28{,}925\ e^{-(28{,}925)1.54\times10^{-7}}$$
$$= 28{,}796$$

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

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

再びnを計算すると

$$n = 29{,}054\ e^{-(29{,}054)1.54\times10^{-7}}$$
$$= 28{,}924$$

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

$$N(3\text{番めの推定値}) = 29{,}054 + 1$$

$$n = 29{,}055\, e^{-(29{,}055)1.54\times10^{-7}}$$

$$= 28{,}925$$

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の才4らんにあている。

3. 空のカウント数を、才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さし引く。
大気内の器械等級と色は、式4.14～4.16で計算できる。その計算は、表H.5の才6,7,8らんにあている。そのいくつかをチェックしてみて下さい。

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の才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。これがないものでは、才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。表中の東西の記述は、Xの値に違をもたらさないので、本当は不要である。
例として、Aの星を考えてみよう。

$$\text{時角} = H = 1:54$$

$$= \left(1 + \frac{54}{60}\right) \times 15^\circ$$

$$= 28.50^\circ$$

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

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

$\phi = 39.17^\circ$ （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第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。

$$k'_v = 0.209$$
$$k'_{bv} = 0.162$$
$$k'_{ub} = 0.337$$
$$k''_{bv} = -0.088$$

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。

$$v_0 = v - k'_v X$$
$$(b-v)_0 = (b-v)(1 - k''_{bv} X) - k'_{bv} X$$
$$(u-b)_0 = (u-b) - k'_{ub} X$$

この計算結果は、表H.6の第4〜6らんに出ている。それらは器械的等級と色である。いくつかをチェックしてみて下さい。

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いる。グラフを図H.4に示す。最小二乗法により、傾き−0.057，切辺 18.284を得る。式4.38から次の値を得る

$$\varepsilon = -0.057$$
$$\xi_v = 18.284$$

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に出ている。(B−V)−($b-v$)$_0$の値は表H.6に出ている。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。

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

$$\mu = 1.011$$

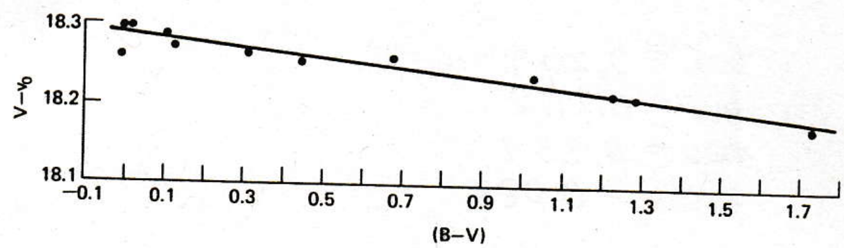

Figure H.4. Plot to determine ϵ and ζ_v.

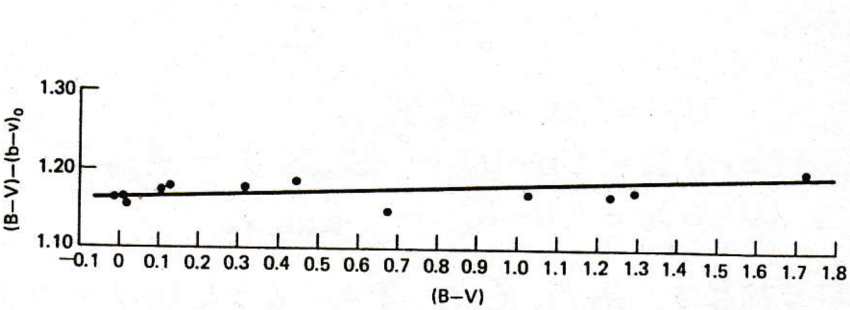

Figure H.5. Plot to determine μ and ζ_{bv}.

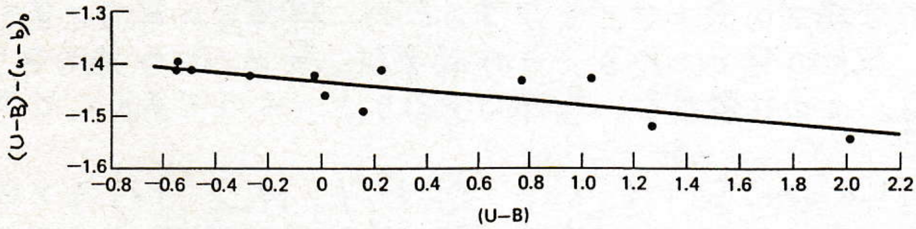

Figure H.6. Plot to determine ψ and ζ_{ub}.

また

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

$$\xi_{bv} = 1.177$$

7. 第6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。すなわち

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

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

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

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つのらんにある。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。

第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り一定である。しかし，ζ_v，ζ_{bv}，ζ_{ub} は夜ごとに決定しなければならない。

訳にあたって

この手書きのテキストは、A. A. Henden and R. H. Kaitchuck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の才1回夏期合宿でHardieの"Photoelectric Reduction"を輪読したこととよく似ています。この合宿はとても楽しい雰囲気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、後で読み返す場合に日本訳があればなあという声が出、またJAPOAを中心に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なれ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