

第2章 – 観測方法

観測方法の段階に沿った説明

1. 目標の視野を見つける — 星図を見ながら、目的の変光星がある領域又は視野を調べて、特定する。この段階では、観測者が星座を知っていると役に立つ。縮尺が「a」又は「b」の変光星星図を取って、その星図を観測者が見ている空の方角に合わせると良い。

2a. 等倍の照準器又はファインダを使って変光星を見つける — まず、縮尺「a」ないしは「b」の星図を手にとり、その中から目的の変光星の近辺にある明るくて見つけやすい「鍵となる恒星」に注目しよう。そうして空を見上げその恒星を見つける。もしも裸眼では、月明かりとか他の不利な状況からその鍵となる恒星を見つける事が出来ないのであればファインダーか低倍率の広視野接眼鏡を使用して、その恒星があらうと思われる位置にできるだけ望遠鏡を近づける。殆どの場合、この時、望遠鏡の視野の方角は、裸眼で、星空を見る時の方角とは異なっているという事に注意しよう。観測者は、自身の望遠鏡についてその視界の北、東、南、西の方角がどちらを向いているのか馴染んでおく必要がある。(より詳しい説明は11と12ページを参照の事。)目的の鍵となる恒星を視野に入れたかどうかを確認するには、星図上に示されているその近傍にある、望遠鏡でしか見えない暗い恒星を特定する事である。

続いて、ゆっくりと(スターホップをしながら)目的の変光星に近づいていく。そうするには、恒星の配置(又はアステリズムとも言われる)を確認しながら進む。観測者がこうした視野に慣れるまでには、星図を確かめてから夜空を眺め、そしてファインダーを覗く作業を何回も繰り返す事になる。こうして最終的に目的の変光星付近の恒星配置にたどり着く。正確に目的の変光星を特定する事に十分時間を掛けよう。場合によっては、各恒星配置間を線で結ぶと役立つであろう。

2b. 目盛環を使用して変光星を見つける — もしも観測者の望遠鏡に(通常か又はデジタル式の)目盛環が備わっているのであれば、それを使用して目的の変光星領域を見つけ出す事が出来る。その場合、最初、望遠鏡が正確に軸合わせが成されているかどうか注意しよう。変光星星図の頭に表示されている2000年分点の座標に目盛環を合わせる。1900年分点で座標が表示されている場合は、歳差運動を考慮して2000年分点表示に修正されなければならない。

この場合、目的の変光星をすぐに認める事ができないかもしれない事を覚えておこう。例え視野内に入っていると看做しても、なお観測者は、肯定的に認識する意味で目的の変光星直近の数個の恒星を特定する必要がある。しばしば変光星星図内の明るい鍵となる恒星又は恒星配置を特定する目的で視野を動かすと目的の変光星を特定しやすくなる。そうして、順次(スターホップにより)目的の変光星を特定する。

3. 比較星を見つける — 観測者が確かにこれが目的の変光星であると確信したならば、その光度を光度が分かっている恒星の光度と比較する事で見積もる過程に進む。これら、「比較星」は、星図上で変光星近くに設定されている。望遠鏡を通して、それら比較星を見つける。何度も繰り返すが、これら比較星は正しく特定されているかどうか慎重に確かめておく事である。

4. 光度見積もり — 目的の変光星の等級を見積もるには、変光星の光度に最も近い比較星を見つける。その変光星の光度がその比較星の光度とぴったし同じでない限り、変光星の光度より明るい比較星と暗い比較星を使って間を見積もらなければならない。この補間方法の練習例は、図2.1(10ページ)に示されている。

5. 観測記録 — 以下に示す情報は各観測後できるだけ早く観測者の記録帳に書き留めて置こう:

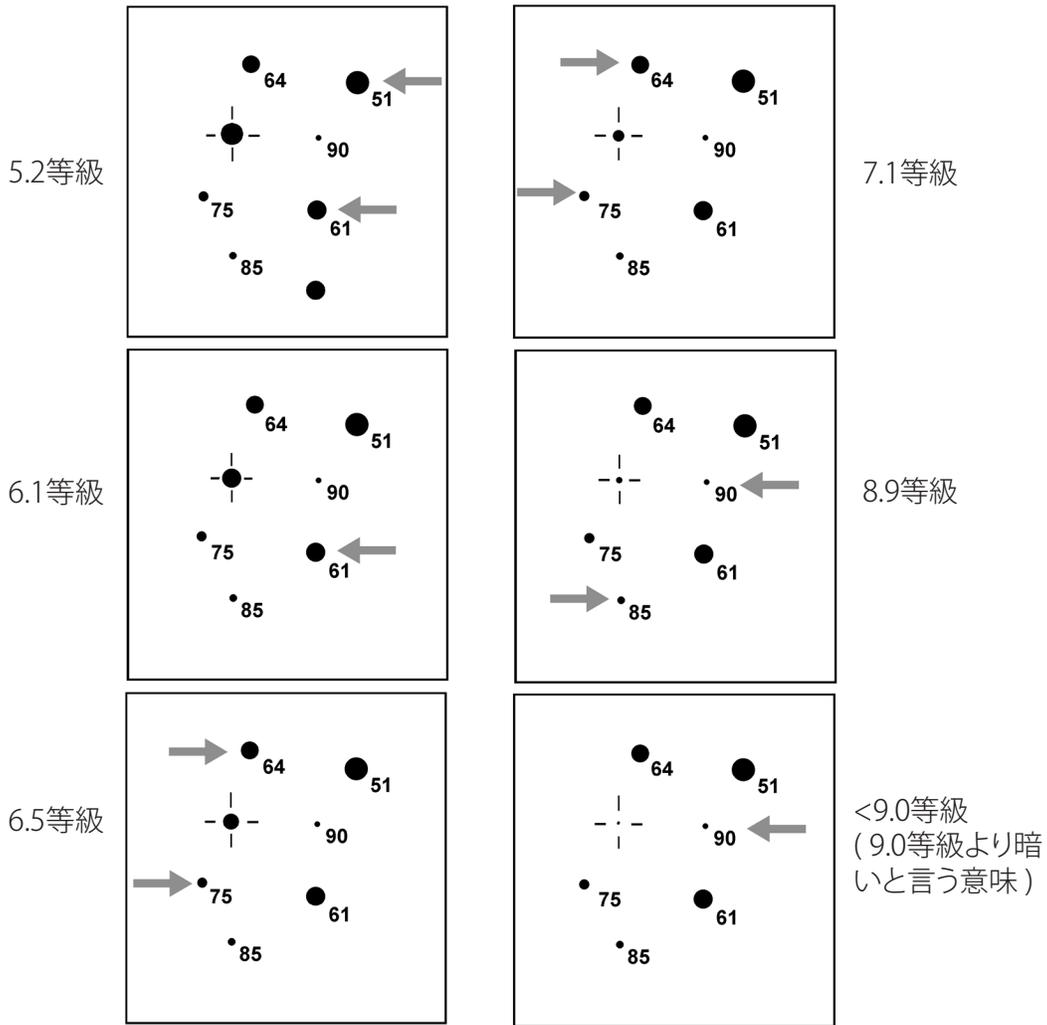
- **変光星名とその呼称**(本件の詳細は17ページと18ページを参照の事)
- **観測日と時間**
- 変光星の見積もり等級
- 変光星の等級見積もりに使用された全ての**比較星の等級**
- 使用された変光星星図名
- **補足事項**(シーイングに影響を与えたと思われる状況:例えば、雲、もや、月明かり、強風等)

6. 報告準備 — 観測者が観測結果を報告する形式は一つに限られている。しかし、AAVSO本部に報告する方法には何通りもある。観測結果を報告する手引きはこの説明書の第6章で詳述されている。

図2.1 — 補間方法の練習

以下の図では、変光星の等級を決定する上で比較星間の補間の仕方が示されている。覚えておいて欲しい事は、実際には(変光星も含めて)全恒星は、点光源である。全恒星は、この図に示されているような異なる大きさを持った円板ではない。各例図で、補間法に使用された恒星は矢印で印されている。

更なる補間練習には、「望遠鏡疑似体験(Telescope Simulator)」と言う、AAVSOウェブサイト中の変光星等級見積もりの仕方に関するダイナミック表現のサイトを試して欲しい。そのURLは、<http://www.aavso.org/aavso/about/powerpoint.shtml> である。



追加観測助言

視野

新たな観測者は自分の望遠鏡と接眼鏡の各組み合わせに於けるおおよその視野の大きさを知っておく必要がある。(4ページ参照。)その為には、望遠鏡を天の赤道付近に向ける。そうして、望遠鏡を静止させて、視野内を明るい恒星が通過する時間を計る。恒星は、天の赤道では、4分間に1度動く。だから、例えば、恒星が視野の中心を横切って、端から端へ移動するのに2分掛かったとすれば、その視野の大きさは0.5度である。

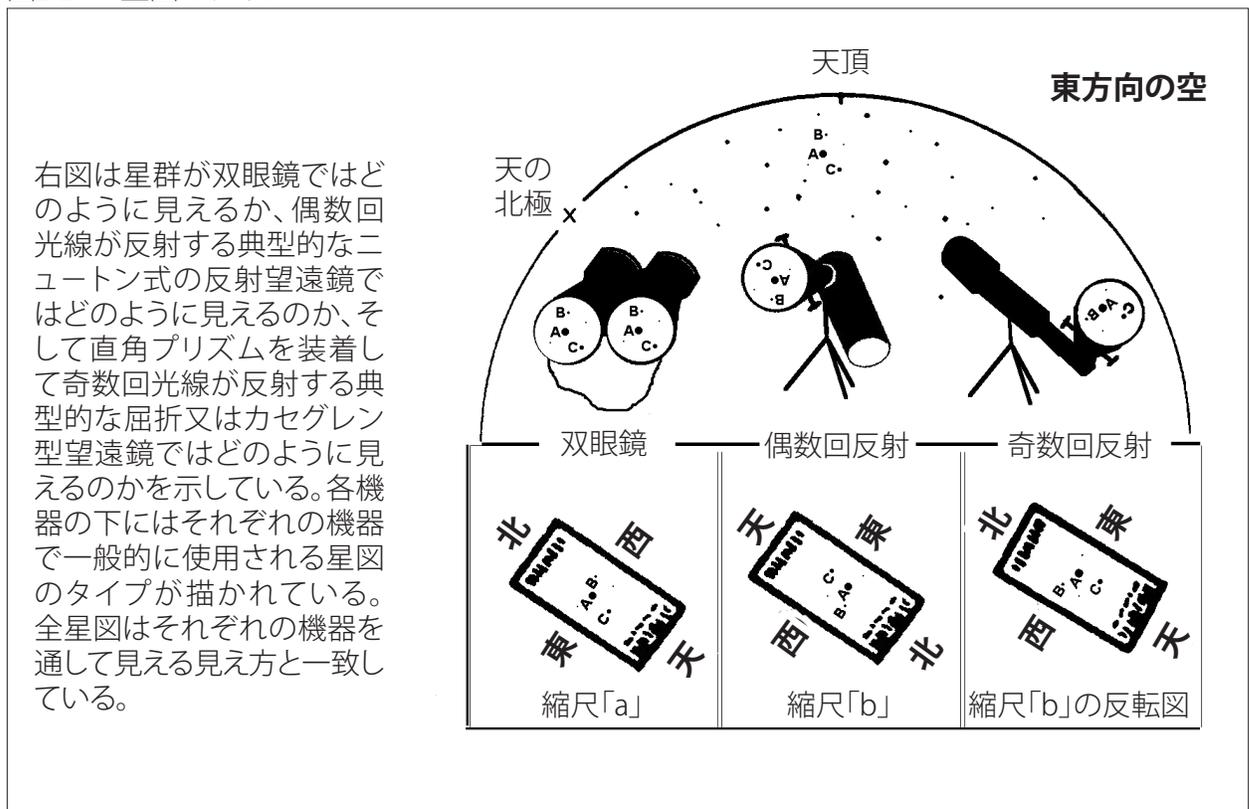
装置の視野の大きさが一旦分かると、星図上に変光星を中心に適当な円を描いて、視野を特定する手助けとする事が出来る。又は、適当な大きさの穴を開けた厚紙でもって星図上の視野としても良い。もしくは、星図上に針金で作った輪を動かして視野とする事も出来る。

星図上の方角

うまく星図を使いこなすには、星図を空の方向に正しく向ける必要がある。AAVSO星図のうちで、縮尺が「a」、「aa」、そして「ab」のものは、北が上で、東が左である。これらの星図は、眼視又は双眼鏡による観測に向いている。

「b」ないしそれ以上の拡大星図では、南が上で西が左である。これらの星図は、偶数回反射を繰り返す望遠鏡用に向いている。つまり像は倒立像である。屈折型とシュミット-カセグレン型望遠鏡では、普通直角プリズム(ダイアゴナル)が使われる。その結果奇数回光線は反射する。この場合、上下は正立であるが、東と西は反対になる(例として、鏡像)。この場合、出来る限りAAVSOの反転星図を使うように勧める。反転星図では、北が上で、西が左である。もしも観測者が反転星図が必要になり、それでいて、未だ世の中に反転星図が無いのであれば、自分で、星図を裏返して、裏側に星図を描き変えるか、コンピュータ画像処理ソフトを使って鏡像図を作成すると良い。

図2.2 — 星図のタイプ



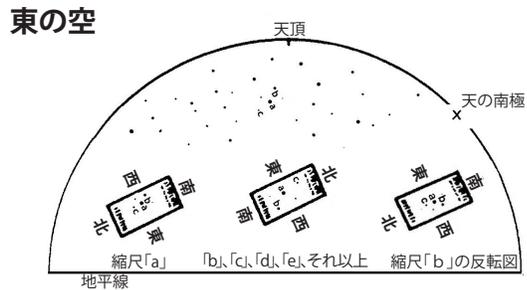
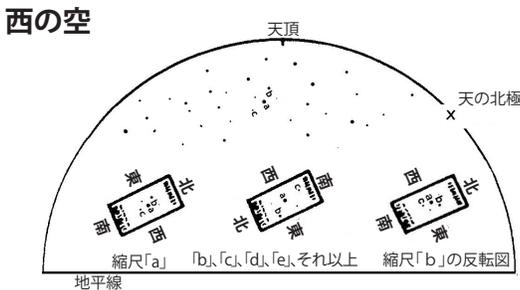
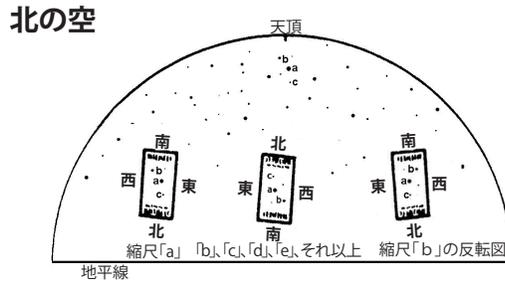
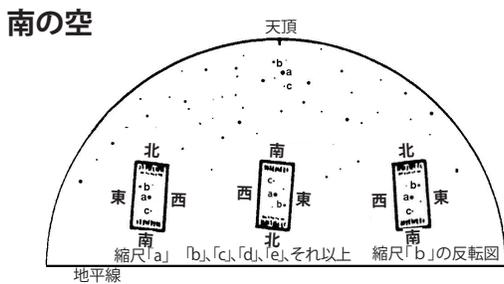
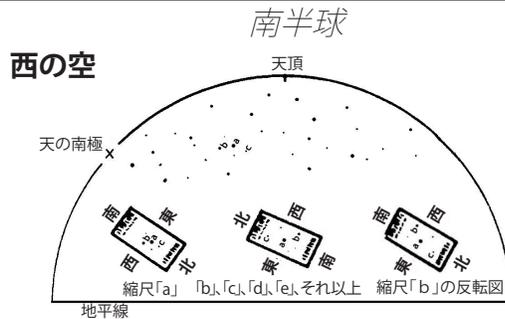
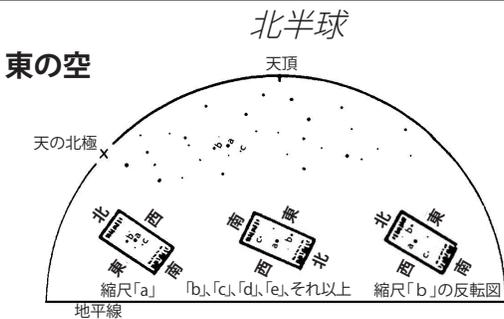
星図の向き

いずれの星図であれ、変光星の位置は地球が自転するに従い水平線に対して変化する。それで、星図を使用する際は、以下の規則に従おう：

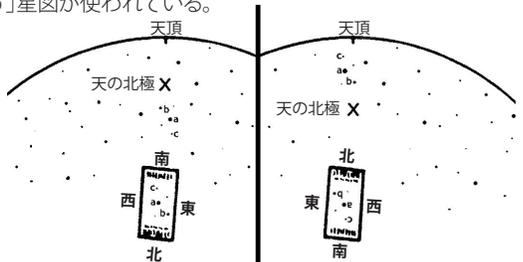
1. 目的の変光星と地平線の角距離が最も小さい方角に顔を向ける。
2. 目的の変光星に並べて星図をかざす。

3. 通常縮尺「b」ないしそれ以上の拡大星図については、星図上の南の方向を北極星方向に向ける。(南半球では、星図上の北方向を天の南極方向に向ける。) 縮尺「a」星図又は「反転」星図については、北方向を北極星方向に向ける。

4. 使っている星図を項目3で向けた方向を保ったまま、取り扱いやすい位置まで下ろす。



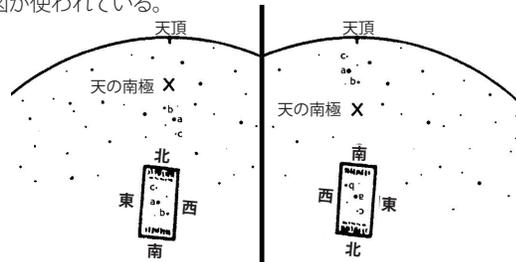
北の空 — 目的の変光星が天の北極(北極星)の下に位置するか上に位置するかによって星図の向きは変わる。例では、縮尺「b」星図が使われている。



目的の変光星が北極星と地平線の間に位置する場合

目的の変光星が北極星と天頂の間に位置する場合

南の空 — 目的の変光星が天の南極の下に位置するか上に位置するかによって星図の向きは変わる。例では、縮尺「b」星図が使われている。



目的の変光星が天の南極と地平線の間に位置する場合

目的の変光星が天の南極と天頂の間に位置する場合

等級記数法

等級の記数法は最初、当惑するかも知れない。と言うのは、数値が高いほど、その恒星は暗いからである。裸眼での極限等級は平均して6等級である。アンタレス、スピカ、そしてポルクスのような恒星は1等級である。更にアークチュウルスとベガは0等級である。非常に明るい恒星、カノープスは-1(マイナス1)であり、全天で最も明るい恒星はシリウスで-1.5である。

AAVSO星図上では、比較星は小数点第1位までの数字で表記されている。小数点は、点が恒星と見間違われるのを避ける為に除かれている。だから、84と90は、等級がそれぞれ8.4と9.0の二つの恒星を指している。

AAVSO星図上で使用されている比較星の等級は特殊な装置(虹彩測光器、光電測光器、そしてCCD)を使って注意深く決定されている。そしてこれら比較星の等級は目的とする変光星の等級を測る測定標識と考えられる。変光星の光度を測る際に使用される比較星の記録を取り続ける事は、観測者にとって大事な事である。

等級記数法は実際は対数法であるから、ある恒星が別の恒星より2倍暗いとすれば、その等級数値は単純に2倍とはならない。(詳しい事は、右の捕捉記事、恒星光度の測定法を見て欲しい。)この事から、観測者は、常に光度見積もりを行う場合、余りにも光度差の大きい(等級差が0.5ないしは0.6以内に留める)比較星を使用しないように注意を払うべきである。

極限等級

楽に目的の変光星を見る事が出来る程度の光学機器を使用する事が最善である。一般に、もし目的の変光星が5等級よりも明るければ、裸眼が最も良い。もしも5等級と7等級の間であるならば、ファインダーか良質の双眼鏡が勧められる。もし7等級以下であれば、高倍率の双眼鏡か口径が8cmの望遠鏡ないしはそれ以上の口径の望遠鏡を目的の変光星の等級に従って使用すると良い。**光度の見積もりは、光学機器の限界等級よりも2から4等級明るい光度の場合最も正確で見積もりもし易い。**

恒星の光度測定

— AAVSO実地天体物理マニュアルからの抜粋 —

今日我々が使用している恒星の見かけの光度比較方法は、古代に起源を持っている。紀元前2世紀のギリシャの天文家、ヒッパルコスが恒星の光度分類を体系化したと通常認められている。ヒッパルコスは、各星座にある最も明るい恒星を「1等星」と呼んでいた。西暦140年にトレミは、ヒッパルコスの体系を洗練し、光度比較に最も明るい恒星を1等星とし、最も暗い恒星を6等星する、1から6までの表記法を使用した。

1800年代の半ばに天文家達はこうした数値を定量化し、古いギリシャ体系に変更を加えた。測定の結果、1等星は6等星より100倍明るい事が分かった。又、人間の目は、1等級違えば2.5倍の明るさを感じると計算された。それで、5等級の違いは 2.5^5 (約100倍)の明るさの違いであるようだ。それ故、5等級の違いは丁度見かけの明るさで100倍異なると定義された。

言い換えると、1等級は100の5乗根に等しく、約2.5倍である。それ故、ある二つの天体の見かけ上の明るさは、明るい方の天体の等級から暗い方の天体の等級を差し引いて、その差の値を2.5乗すれば良い。例えば、金星とシリウスの光度差は約3等級である。この事は金星は2.5³倍(又は約15倍)肉眼ではシリウスより明るく見える事を意味する。言い換えれば、一点に15個のシリウスが輝くと金星の明るさになる。

この記数法では、ある天体は負の等級で示されるほど明るく、一方では、ハッブル宇宙望遠鏡のような強力な望遠鏡では+30等級までの天体を「見る」事が可能である。

代表的な天体の見かけ上の等級

太陽	-26.7	シリウス	-1.5
満月	-12.5	ベガ	0.0
金星	-4.4	北極星	2.5

下表は、望遠鏡ないし装置の口径で見る事が出来る大まかな極限等級を示す。実際、観測者が自分の装置を使用して観測できる極限等級はシーイングの状態とか望遠鏡の性能によってこの表に示されているものとは非常に異なって来るであろう。それで、変更しなくてかつ見つけやすく、しかも光度が分かっている恒星達が記載されている星図などを使って自身の極限等級の表を作成するのが良いかも知れない。

表2.1 — 一般的な極限等級

		裸眼	双眼鏡	15cm	20cm	40cm
都市部	平均	3.2	6.0	10.5	12.0	13.0
	最良条件下	4.0	7.2	11.3	13.2	14.3
半暗所	平均	4.8	8.0	12.0	13.5	14.5
	最良条件下	5.5	9.9	12.9	14.3	15.4
暗所	平均	6.2	10.6	12.5	14.7	15.6
	最良条件下	6.7	11.2	13.4	15.6	16.5

暗い比較星が、目的の変光星近くに見られる時、それら二星を互いに見誤る事がないようにしましょう。もしもその変光星の光度が極限等級値に近くて、明瞭に見分けが付きにくいのであるならば、その事を記録しておく。

経験ある観測者は観測者が所有する望遠鏡の能力外の変光星には時間を掛けない。

目的の変光星の同定

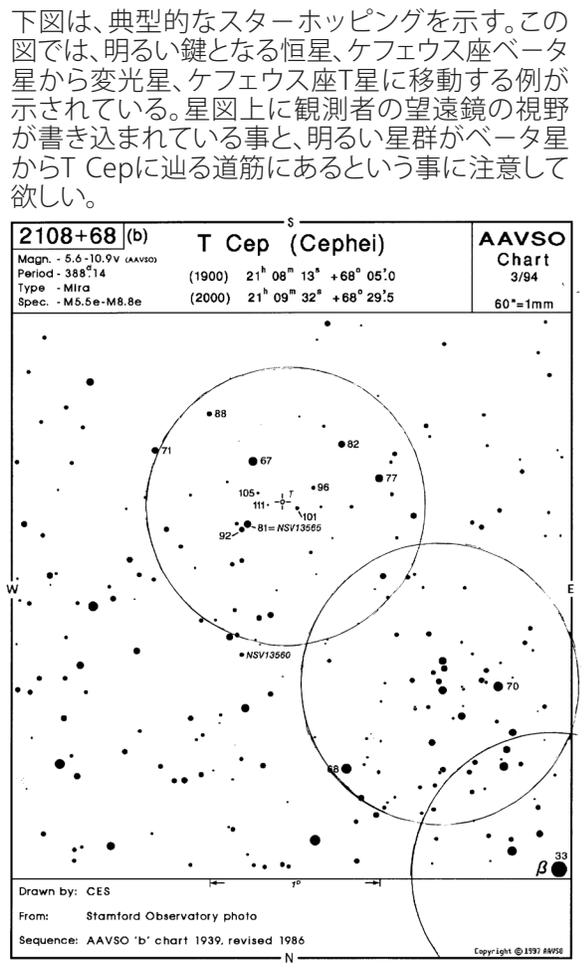
目的の変光星が極大光度にあるか極小光度にあるか、又はそれらの中間の光度にあるかに従って、観測者が観測している時にその観測者が自分の望遠鏡でその目的の変光星が見えるかどうかが決まると言う事を留意しよう。

観測者が目的の変光星を特定したと思った時、その恒星の周りの領域を非常に注意を払って星図と見比べよう。明るさから、又は位置的に合致しないような視野で何らかの恒星が認められるのであれば、観測者は誤った恒星を見ているかも知れない。その時は、やり直す。

目的の変光星が暗い場合とか非常に恒星が密に分布している視野に目的の変光星が位置する場合、高倍率の接眼鏡が必要となろう。又目的の変光星を明確に同定する為に縮尺「d」又は「e」の星図を使用しなければならなくなるだろう。観測中は、リラックスする。同定できない変光星に

は時間を費やさない。もしも、適宜な努力を払っても変光星を見つける事が出来ないのであれば、その事を記録して、次の変光星に移る。セッションの観測後、星図を見直し、なぜ自分が目的の変光星を見いだせなかったのかどうか判断できるかどうか考えてみる。次回観測する時に、再度挑戦する!

図2.3 — スターホッピング



変光星の光度を見積もる

いずれの光学機器であれ、それらの解像度は視野の中心で最も高い。だから、ある比較星と目的の変光星が比較的離れている場合は、それらは、同時に見るべきではない。そうではなくて、それらは、順番に視野の中心に持って来て見るべきである。

もしも変光星と比較星が接近しているのであれば、それらは視野の中心から等しい角距離に置いて、これら二つの恒星を結ぶ線はできる限り観測者の両目で作る線と平行にする。この処置は、「位置角誤差」を防止する為である。

もしもそのようにできないのであれば、観測者の頭か、又は(もし使用されていれば)直角プリズムを回転させる。位置角効果は、最大で0.5等級の誤差が生じる。

全ての観測は、機器の視野の中央付近で行わなければならないと言う事を強調したい。殆どの望遠鏡について言える事は、全ての接眼鏡の視野の全領域で、等しく光量が入射していない。しかも、屈折の場合対物レンズの端に行くに従い、又は反射の場合鏡の端に行くに従い像の収差は増大する。

少なくとも二つの比較星を使う。可能ならば二個以上の比較星を使う。もし比較星間の等級差が0.5等級以上であれば、非常な注意を払って、明るい方の比較星の光度と変光星の光度の等級差と変光星の光度と暗い方の比較星の光度の等級差がどうなのかと言う比較を行い変光星の光度の見積もりをする。

観測に矛盾があるように見えても、観測者は見た通りの事をそのまま記録する。観測者は、束縛のない頭でもって各観測セッションに臨むべきである。観測時の見積もりは先の見積もりからの先入観でもって成されるべきではないし、又その変光星はこうあるべきであると考えて成されるべきでもない。

もし、目的の変光星が極端に暗くて見えなかったり、もやや月明かりの為に見えなかったりする場合、その変光星の領域で見える最も暗い比較星を記録する。仮にその比較星が11.5等級であったとすれば、目的の変光星の観測記録には<11.5と記す。この意味は、本変光星は見えなかった、その光度は11.5等級より暗い。ここで、左矢印括弧は「..より暗い」を意味する。

明らかに赤色をした変光星を観測する場合、長い時間「凝視」せずに、所謂「一瞥」方法で、光度見積もりをする事を勧める。と言うのは、パーキンジュ効果の為に長い時間見つめると赤色の恒星は、目の網膜を刺激しやすい。その結果赤色の恒星は青色の恒星と比較して甚だしく明るく見えてしまう。こうして相対等級に誤った印象をもたらす。

赤色恒星の光度を見積もる上で強く推奨される別の手法に所謂「ぼかし法」というものがある。この方法は、接眼鏡を引いて恒星像をぼかすのである。そうすれば、恒星は色が消えた円板として見える。この方法では、パーキンジュ効果による系統的誤差を避ける事が出来る。像をぼかしても変光星に色が付いて見えるのであれば、観測者は、より口径が小さい望遠鏡を使うか、望遠鏡の口径を絞る必要があるかも知れない。

暗い恒星に対しては、逸らし目を使って見積もる事を勧める。逸らし目を行うには、目的の変光星とその比較星は視野の中心に持ってきておき、視野の端を見つめるようにする。こうして観測者の目の周辺部を使う。この方法がうまく働く理由は次ページに説明されている。

記録の保管方法

高耐久性の装丁されたノート(台帳のようなもの)が観測記録用として使用されるべきである。観測者の元々の記録ノートには手を入れない。観測結果に何らかの修正を加えたり、換算を行う場合は、異なった色のインキで書き込む。その日にちも記入しておこう。第二の記録ノートは、恐らくルーズリーフ式のもので、そこには月別集計の手書きの記録が書き込まれ、報告用の記録の複写とかAlert Noticesとか、他の情報が収まっている。コンピュータによる記録は保存され将来に参照用として使用されるであろう。

観測記録ノートには、又、観測時に他の人間の存在とか外灯などの光の存在とか、雑音とか、他に観測者の集中性に影響を与えたと思われる効果、つまり注意を散逸させるものを書き込んでおく。

何らかの理由で観測者の等級見積もりに疑問があれば、その事を記録にして同時にその理由を書き込んでおく。

記録を取り続ける上で、基本的な事は、先に観測した時に見積もられた変光星の等級の知識を観測者は先入観として持たない事である。観測者は、全ての見積もりを先の観測を参照する事なく互いに独立して決定しなければならない。

観測記録ノートの各ページの見出しには、ユリウス日(第4章に説明されている)と週の曜日、年、月、観測日を記入する。「二重日付」表記法が真夜中過ぎに観測がなされる場合に起こる混乱を避ける意味で良く使用される。例えば、JD2453647 2005年10月3-4日、火-水のものである。一方で間違いが生じた場合でも、片方の日付がどちらが正しいかを示す。

もしも機器が一台以上あるのなら、各観測にどれが使用されたのかを明記する。

目の構造と星の光 — 出典: AAVSO実地天体物理マニュアル

人間の目は、カメラに似ている。目は一つの清潔で潤滑が施された組み込み系である。露出計があり、自動視野ファインダーがあり、そしてフィルムが絶え間なく供給されている。物体からの光は、目の表面を覆っている透明な被膜である角膜に入り、そして毛様体筋肉によって固定されている透明な水晶体を通過する。この水晶体の前にある虹彩は、目に入射する光量を調節する為に瞳孔を不随意的に縮めたり膨張させたりしながら、丁度カメラのシャッターのように開いたり閉じたりする。虹彩は年と共に徐々に衰える。子供とか若い大人の瞳孔は直径で7mmないし8mmかそれ以上開く事ができる。しかし、50才では、最大瞳孔の大きさは5mmに縮む。その結果、目の集光能力は著しく落ちる。角膜と水晶体と一緒に働き焦点距離可変のレンズとなる。それで、物体からの光を目の背面に実像を結ぶ。この目の背面の事を網膜と呼ぶ。瞳孔の大きさが年と共に縮む為、60才の人間の網膜が受光する光量は30才台の人間が受光する光量の約3分の1である。

網膜は、カメラのフィルムのような役割をする。網膜は約1億3000万個の円錐体と桿状体と呼ばれる光に反応する細胞から出来ている。これらの細胞により吸収された光は光化学反応を起こし、円錐体と桿状体に結合している神経に電氣的刺激を起こす。各個別の円錐体と桿状体から出る信号は神経細胞の複雑なネットワークの中で結合され、視神経を介して目から脳に伝達される。我々が見るものは、光により興奮する円錐体と桿状体に依存するし、異なる円錐体と桿状体から発せられる電気信号の結合の仕方と脳による判断の仕方に依存する。我々の目はどの情報が取得されるかとか、どれが除外されるかと言う事について多くの「思考」を行う。

網膜のある一部分に円錐体が集中している。そこをフォビアと言う。フォビアの大きさは直径にして約0.3mmであり、10,000個の円錐体が含まれていて、桿状体は無い。この領域の各円錐体は独立してそれぞれが神経ファイバを持っている。そして、それらは視神経を通して脳に繋がっている。この小領域から数多くの神経が来ている為にフォビアは網膜の中で明るい物体の詳細を認識する上で最良の領域となる。高い知覚感度の領域をもたらす以外に、フォビアと網膜の他の部分の円錐体は色を認識する上で優れている。しかし、恒星の色を「見る」能力は大幅に落ちる。と言うのは、恒星の光強度は、これら円錐体を励起するには十分強くないからである。もう一つの理由は、水晶体の透過性は年と共に低下するからである。赤ん坊は非常に透過性の良い水

晶体を持っていて、濃い紫色である3500オングストロームまでの光を透過する。

円錐体の密集度はフォビアの外では落ちる。こうした周辺部では桿状体が支配的となる。網膜内のこうした領域での桿状体の密度は、フォビア領域での円錐体の密度とほぼ同じである。しかし、恐らく100個ほどの隣り合った桿状体から出た光信号は、一つの神経細胞にもたらされて、それが脳に繋がっている。この桿状体信号の結合により、我々は物体の詳細を判断する能力が落ちている。しかし、小さくて数多い信号が結合され、より大きな信号が形成される為に我々は暗い物体を識別する事ができる。この理由により、暗い変光星の等級を見積もる場合、その変光星を直接見るのではなく、逸らして、周辺を見ると見積もりが容易である。

通常目は、目から8cmから無限大に位置する物体を結像する事が出来る。この異なる距離にある物体を結像できる能力の事を調節作用と呼ぶ。カメラでは、ある固定された焦点距離のレンズと可変結像距離とを使って異なる物体距離を調節するのであるが、目は(角膜と水晶体から網膜までの距離の)約2.1cmという固定された結像距離と焦点距離可変のレンズ系を持っている。この目が遠方の物体を見る時は、目の水晶体にくっついていて毛様体筋肉は緩み、水晶体の曲り方は小さくなる。水晶体の曲りが小さくなれば、焦点距離は増加して像が網膜上に形成される。水晶体が平らのまま

で、物体が水晶体寄りに動く場合は、その像は網膜の後ろに移動する。その結果網膜上にはぼやけた光の形状ができる。この事態を避ける為に、毛様体筋肉は縮み、水晶体の曲率が增大する。こうして水晶体の焦点距離は小さくなる。焦点距離が減少すると、物体の像は前に移動して、再度網膜上にシャープな像が結像される。何時間もの読書後目が疲れるのは、毛様体筋肉が緊張したままで、水晶体の曲率が大きくなっているからである。

目の最遠点とは、リラックス状態の目が焦点を結ぶ事が出来る物体の最も遠い距離の事である。目の最近点とは緊張した目が焦点を結ぶ事が出来る物体の目から最も近い距離の事である。通常目では、最遠点は実質無限大(我々は月と遠方の恒星に焦点を結ぶ事ができる)であり、最近点は、約8cmである。この焦点距離可変の「ズームレンズ」は年と共に変化して、老化すると最近点は40cmまで増加する。こうして星図とか機器の表示を読む事が年と共に困難になってくる。目の老化はだんだんと我々が外界を認識する方法を変える。

