

眼視光度観測

永井 佳実 < QWN00721@nifty.ne.jp >

(1) はじめに

彗星が発見され、位置観測により軌道が概ね確定すると、軌道に基づいた彗星の位置推算表が作成される。そして通常はこの時点で、発見時の光度をベースにして光度予想が立てられ、彗星がどれくらい明るくなるのかどうかという点に注目が集まる。しかし、実際の光度変化は予想通りに行かない事も多く、そこに彗星の光度観測の面白さがある。肉眼や望遠鏡などの光学機器を用いて、直接に観測者の目で捉え、明るさを見積もる眼視観測は、光度変化を捉える最も手軽な方法である。多くの光度観測結果が集まることにより、光度という数値による彗星全体の変化が把握できる。光度観測の数が少ないと、絶対光度の決定や光度パラメータの精度良い算出に繋がらない。眼視光度観測は古くから行われているが、依然として彗星観測においては、重要な位置づけとなっている。

(2) 観測前に行う作業

<1> 光度観測とは

「目で見る」という最も単純な作業においても、ただ彗星を「見た」だけでは観測にならない。数値という定量的なデータを残すことにより、初めて観測を行ったと言えることになる。光度観測の場合は、「光度」という数値を残すことにより、初めて「観測」となる。また、得た数値（観測値）は、その変化を自分で追うだけでも楽しいものだが、多くの人とデータ交換をすることにより、更に有用なものとなる。光度観測の国際的なセンターとして、「ICQ (International Comet Quarterly の略)」がある。ICQにデータを送ることにより、自分の観測を広く公表し、また多くの人の観測データを閲覧することが出来るなど、観測の楽しみが大きく広がる。彗星を眼視で見るという作業を行って、その数値を残すにはどのようにしたらよいか、その準備について、以下に述べる。

<2> 観測対象彗星の選定

まず、当然ながら観測できる彗星の情報を得る事が必要である。どのような軌道を持つ彗星が現在存在しており、また地球との位置関係から天球上の何処に位置して、どのように移動しているのか、そしてその彗星はどのくらいの明るさになっているか、言い換えれば「自分の所持している機材で観測可能か」を調査することにより、観測対象の彗星を決定する。情報源としては、まず天文雑誌が挙げられる。天文雑誌には彗星の画像などの視覚的な資料の他に、詳しく個々の彗星の軌道要素が掲載されており、また話題性の多い彗星は彗星の位置を記した星図が掲載されている場合もある。彗星の位置観測期間が長く、軌道も確定している彗星はこのような天文雑誌の資料をベースにしても十分であるが、突然予想外に明るくなったり、逆に暗くなったりということもあり得るのが彗星である。突発的に現れた彗星は、締め切りの関係で雑誌に掲載されていない事も多々ある。また、観測期間が短い彗星は、観測が追加される度に軌道要素がこまめに更新される。そのため、インターネットで「彗星界の現状」をチェックしておく必要がある。IAU

の web ページには最新の各彗星の軌道要素が掲載されており、また ICQ の web ページでは彗星の観測光度について掲載されている。後者は更新が数週間滞ることがあるので注意が必要だが、明るい彗星の場合、光度が変化した場合などは IAUC でもアナウンスされたり、天文を扱う国内の web ページでもニュースとして流れることもあるので、これらの発表をまめに監視し、観測に向かう際の参考にしておくことが必要である。彗星観測者の ML に参加することも、観測の際には大いに役立つ。

<3> 観測地の選択

眼視観測のメリットの一つに、機材が少なく済むため移動が簡単となり、対象となる彗星により観測地を選択できるという点がある。日本の空だと、光害の少ないところで月明かりが無い場合、肉眼では 4 等くらいまで、口径 10cm の双眼鏡では 10 等くらいまでの彗星が観測できる目安となる。空が澄んでいる場合には、都市部でも意外と暗い彗星まで見られる場合がある。とはいえ、後述するコマの視直径や尾の観測の際には、光公害の無い場所が当然有利なので、許す範囲で都市部から離れて観測するのがよい。彗星は低空で見られることも多いため、観測場所の選択には、山や建造物などの障壁の有無なども条件となる。さらには、夜間の治安やアクセスのしやすさなど、いろいろな要素が絡むため、あらかじめ何カ所かの場所をリストアップしておき、状況によって判断する事が必要である。

<4> 観測に必要な機材など

眼視観測で見積もる光度は「全光度 (Total Magnitude)」と呼ばれるもので、彗星のコマの部分を含んだ光度ということになる(「尾」の部分は全光度には含まれない)。ICQ によると、「全光度は、その彗星を観測できる最小の光学系で見積もった値」である。すなわち、もし、3cm、5cm、10cm の双眼鏡を所持していた場合、10cm の双眼鏡でも 5cm の双眼鏡でも観測できそうな彗星の場合は 5cm の双眼鏡を用意すれば良いことになる。ただし、突発的に明るくなったり、暗くなったりという挙動を示すのが彗星の特徴なので、幅を持たせた複数の機材を用意しておくのが賢明と言える。倍率については、彗星と背景とのコントラストという点から、口径(cm)の 1.5~2 倍程度のものが望まれる。5cm(50mm)の双眼鏡ならば 7×50mm あるいは 10×50mm といったスペックの双眼鏡が良い。望遠鏡の場合はアイピースを多く用意しておき、最小の倍率で観測できたらその倍率で見積もる。ここで注意することは、「多くの機材を用意する」ことは必要なのだが、「1 つの機材で連続して観測できる場合はその機材で連続して観測する方が良い」という点である。これは口径や倍率によって、全光度の見積もりは影響を受けるからである。まちまちの機材や倍率で観測した場合、データを整理した時に彗星の活動そのものを捉えているのかどうか、判断しにくくなる。

<5> 観測に出発する際に行う作業

- ・ 時計を合わせる

ICQ への報告の際には 0.01 日の桁まで報告する必要がある。すなわち、位置観測のように秒の精度までは必要ないが、10 分程度までの精度は必要となってくる。このように書くと、かなりアバウトで済みそうだが、もちろん大きく時計がずれていることは好ましくはない。

- ・ ファインディングチャートを作る

彗星の導入は、星雲・星団などを観察する方法と同様に、肉眼やファインダーで分かる「基準星」から「辿って」行きながら行うのが一般的である。したがって移動観測で、PCなどが持参できない場合は、目的の彗星を導入するために、ファインディングチャートを作成しておく必要がある。最近では優秀な星図ソフトが多く市販されているので、観測する機材にあわせたスケールの星図を画面上で作成し、プリンタに印刷してファインディングチャートを作成しておく。このような星図ソフトには、「Tycho カタログ」など、後述する比較星のカタログも搭載されており、カタログに基づいた星図作成も可能である。

表1 眼視光度観測に適した星図ソフト

| ソフトの名称 | 問い合わせ先及び購入に関する URL | 備考 |
|----------------|--|--|
| ステラナビゲータ Ver.6 | http://www.astroarts.co.jp/ | アストロアーツ |
| GUIDE | http://www.projectpluto.com http://www.asahi-net.or.jp/~fp6m-kud/index.htm | Project Pluto Project Pluto の日本語訳サイト |
| Skychart III | http://www.southernstars.com/skychart/ | Southern Stars Systems |
| TheSky | http://www.bisque.com/ | Software Bisque |
| TheSky (日本語版) | http://www.b-sol.jp/sky/skygen.html | 日立ビジネスソリューション |
| Mega Star | http://www.willbell.com/software/megastar/index.htm http://www.bekkoame.ne.jp/~t_wada/index.html | Willmann-Bell, Inc. Phoenix (日本での取り扱い先) |
| Voyager | http://www.carinasoft.com/ | Carina Software |

彗星の位置は「観測対象彗星の選定」で述べたように、最新の軌道要素を星図ソフトに入力して表示させておく。彗星名やコマや尾についての表示は、そのまま印刷するとかえって煩雑となり位置が分かりにくくなるので、表示が OFF になる機能のあるソフトは OFF にして、位置だけを表示し印刷する。最終的に導入や確認に使うチャートは視野の 2 倍程度の広がりを持った範囲を印刷しておけば良い。また、機材の視野にあわせた視野円も一緒に表示し印刷して更にわかりやすくなるようにするとよい。暗い彗星の場合は必然的に視野が狭くなり、基準星が同じチャートに収まらない。導入作業を思い浮かべて、「基準星から彗星の近くまで明るい星をファインダー等でたどれるチャート」、「彗星を含んだ周辺の星を記載した、最終的に導入や確認に使うチャート」の違うスケールの 2 枚のチャートを用意すれば良い。なお、観測時の誤認を避けるために、後者のチャートには移動方向を記入し、また予想される彗星の光度より 2 等程度暗い恒星までプロットさせておくことが必要である。「GUIDE」や「ステラナビゲータ」などの星図ソフトでは「ガイドスターカタログ (G S C)」の約 16 等の恒星まで表示可能なので、眼視で観測対象となる彗星より恒に暗い恒星まで表示して印刷しておく。また比較星となる領域内の変光星も調査しておくのが良いだろう。

更には予定される観測時間に、背後の恒星や星雲・星団など重なっていないか、などもチェッ

くしておく必要もある。恒星などと重なっていると、観測が行いにくくなるし(彗星と恒星の合成等級から彗星の光度を求める方法もあるが精度は低下する)、重なってなくても明るい恒星が隣接している場合は、その明るさで彗星自体が見えにくくなる。恒星と重なりそうな場合は、観測時刻をずらすか、観測自体の重要性が低いと判断できる場合は観測を中止し、なるべく正確な観測が残せるように配慮すべきである。

また彗星の高度が十分高い場合は問題ないが、眼視で狙う彗星は太陽の近傍を移動することが多くなり、見かけ上、低空に位置するケースがかなりある。そのような場合は、的確に導入できるように、高度の高い場所にある明るい星から低い場所にある彗星に向かって、順に追っていくようなチャートを作っておくと有効である。

自動導入やナビゲータ付の機材で観測する場合も、特に暗い彗星の場合、一応このようなチャートを用意しておき、最終的にチャートと見比べることが誤認防止となるので、観測前に彗星の位置を星図ソフトで確認しておくことは必須である。

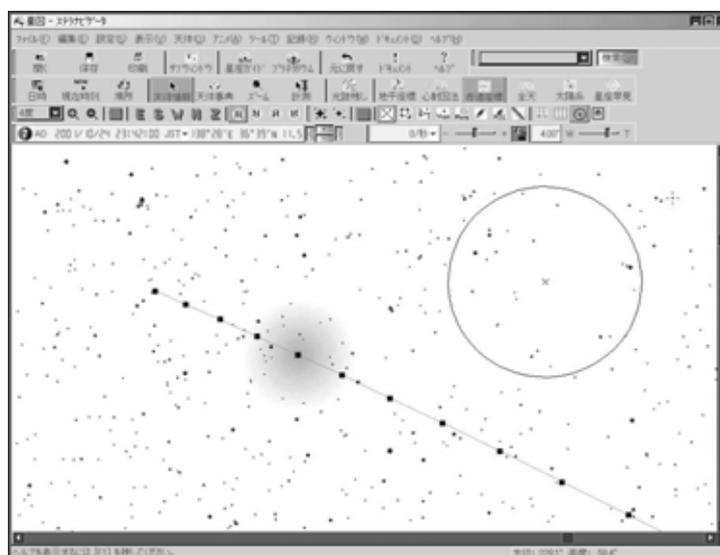


図1 ステラナビゲータの例

(3) 観測地で行う作業

<1> 彗星の導入

空を見上げた時に肉眼で一目で分かる程の大彗星でない限りは、前項で述べたファインディングチャートなどを使用して、決めてある基準星から双眼鏡や望遠鏡ならファインダーを使って、星を辿って導入することが必要になる。自動導入やナビゲータ付きの機材を用いた場合でも、機器の精度には多少の誤差もあり、また大気差などの条件も加わるため、多少の省力化はあってもこのプロセスは基本的に同じである。なお観測に慣れていても、彗星が星数の多い天の川のような領域に位置するような場合には、途中で視野の位置がチャート上のどこなのか分からなくなる事もありうる。その場合には、視野を基準星に戻して、再び辿っていった方が良い。ファインディングチャートに記した予想位置に到達した際に、明るい彗星ならばすぐに確認出来るが、暗い彗星の場合、目が慣れていないと彗星の淡い部分が目視できず、かなり貧弱なイメージと感ずる場合がある。また、人間の目は周辺部のほうが光を感じやすいので、直視しているとかえって彗星を

確認しにくいものである。その場合は、視点をいろいろと変化させて注意深く見ると、彗星の全体の大きさが見えてくる。薄明が迫っている時などは焦るものだが、明るい彗星の場合でも暗い彗星の場合でも、10分間程度は間に目を慣らして、観測の精度向上に努めたい。なお、彗星がどうしても確認できない場合は、後で述べるが「彗星が見えない」というのも立派な観測になる。この場合は、「恒星は 等まで確認できたが、彗星は確認できなかった」と記録する。

<2> 観測項目

眼視観測においては通常、彗星の全光度、コマ径、中央集光度、尾の長さや位置角を観測する。ICQのフォーマットでは、観測時刻と日付、使用した機材と倍率、目測方法についての記載欄がある。

<3> 全光度の目測

彗星を確認したら、まず「スケッチ」を取ることを勧めたい。これは彗星の光度を決定する場合、どの恒星の明るさと比較したかを記録するためである。したがって、彗星の形状を詳細に書き写しておくことまでは必要なく、スケッチが面倒な場合や、薄明中で時間が切迫しているときはチャート上にそのまま記入しても差し支えない。彗星と、比較した恒星については(比較星) A、B、C . . . と記入して行くことになる。

さて、彗星の明るさは目で見た感じだけでも何となく推測することは出来るが、光度のよく分かった比較星と見比べて目測することが、正確な観測のためには重要である。しかしながら、面積を持つ彗星と点状にシャープな光を放つ恒星の光度を比較するには、少々テクニックが必要となる。そこで、点状の恒星の光を彗星と同じ大きさに変化させて、つまり恒星のピントをずらして彗星と見比べることになる。その見比べる方法には、大別して3つの方法がある。

・ S法(シドウィックの方法)

まず、ピントを合わせたままで彗星の明るさと大きさを覚える。彗星のコマは普通中央が明るく周辺にいくほど暗くなっているため、つまりは彗星の平均的な明るさと大きさを覚えることとなる。次に、比較星を彗星の大きさまでぼかし、その明るさを覚えた彗星の明るさと比べる、と言う方法である。この方法の短所としては、ピントのあった状態で彗星の明るさを覚えなければならないので、最初はなかなか慣れることが難しい。また、中央集光の強い彗星の場合は、平均的な明るさを求めることが困難となる。一方長所としては、彗星のピントはぼかさないため、限界に近い暗い彗星でも目測が出来る点が上げられる。

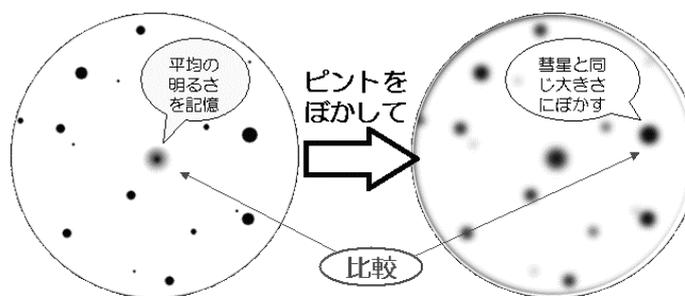


図2 シドウィック法(吉本勝巳氏による図)

・ B法 (ポプロフニコフの方法)

彗星と比較星が同じ見え方になるまでぼかし、ぼかした状態のままその明るさを比べるという方法である。この方法の短所は、暗い彗星の場合、同じ見え方になる前に彗星が見えなくなってしまう点、見かけが大きな彗星の場合は目一杯ぼかしてもぼかし方が不足する点が挙げられる。また、実際にはピントをぼかしていくと、彗星のコマ周辺の淡い部分が見えなくなって、比較星とほぼ同じ大きさになり、コマ周辺の淡い部分を除いた光度が求められることとなる。長所は、彗星の明るさを覚える必要が無く、またピントを合わしたりぼかしたりという動作を何回も行う作業を必要としないため、簡単に迅速に出来るという点がある。

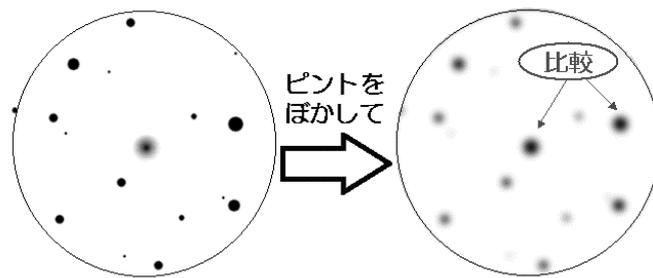


図2 ポプロフニコフの方法(吉本勝巳氏による図)

・ M法 (モーリスの方法)

S法とB法の間中間的な方法である。彗星がほぼ均一の明るさに見える程度にピントをぼかし、このぼかした状態での彗星の明るさとコマの大きさを覚える。次に、その大きさまで比較星をぼかし、その明るさを覚えておいた彗星の明るさと比較する。2段階でぼかすということにより、比較星の方がピントのぼかし方が大きくなる。この方法の短所は、観測者によりぼかし方がまちまちになることが上げられる。また、同じ観測者でも、彗星のイメージが変わればぼかし方が変わってくる。しかし、長所として、中央集光の強い彗星を目測するのに適している。

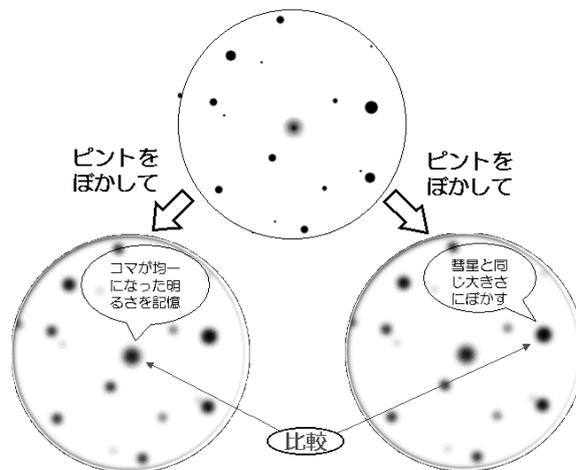


図4 モーリスの方法(吉本勝巳氏による図)

いずれの方法でも、特に彗星が明るい場合、視野の中に彗星に近い明るさの恒星が存在しないときがある。その時はやや面倒だが、視野を動かして周辺に比較星になりそうな星があるかどうか探ることになる。その際、彗星の高度が低いときは、後で述べる大気吸収補正の必要があるので、なるべく視野を左右に振って(高度が変化しないように)、彗星と同じような高度に比較星を見つけることが大切である。

- ・ 彗星の明るさをどう求めるか

このような方法で彗星と比較星の明るさを比べた結果から「等級」を求める。例えば彗星より僅かに明るい星、僅かに暗い星を選び、それぞれを比較星 A , 比較星 B としスケッチしておく。そして「彗星は A と B の中間ほどの明るさ」と判断したら、彗星を * と書いて、「 $A > * > B$ 」などとスケッチの横に書いておく。

更にこの応用として、「比例法」を用いて彗星の明るさを決める。彗星より明るい星と暗い星のペアを選び、明るい星と暗い星の明るさの差を 10 等分し、彗星の明るさを推定する。例えば彗星の明るさが比較星 A と比較星 B の中間であれば、 $A 5 > * > 5 B$ と書く。また 3 : 7 程度の割合でやや A の方に近い、と思えば $A 3 > * > 7 B$ と表す。もちろん、10 等分が面倒な場合は、3 等分して 1 : 2 程度の割合でやや A の方に近い、と思えば $A 1 > * > 2 B$ と記入しておくなどとしても構わない。

ただし、比較星のスペクトル型が異なったりした場合には誤差が生じる。したがって、誤差をなるべく少なくするためには、比較星は多数取る方が望ましいと言える。3 つほどペアを取って、A と B の他にもいくつか比較星を見つけて、 $C 2 > * > 8 D$ 、 $E 4 > * > 6 F$ などと記録しておく。

これらの光度目測の作業は、なるべく迅速に行えるように観測の度に鍛錬しておく。眼視で観測できるような明るい彗星は、通常太陽からの離角が小さいので、薄明終了直後や薄明開始直前に観測しなければならないことが多い。観測に手間取っていると低空に沈んでいってしまったり、薄明に飲み込まれてしまったりするからである。

後で述べるように比較星の色指数 (B - V 値) が大きい場合、つまり恒星が赤い色を帯びている場合は注意が必要である。赤い光は数秒間続けて見ていると、人間の目の生理的な影響で、最初の印象より明るくなって見えるのである。さらに、赤い色の星はミラ型変光星の可能性もある。比較星を選定する場合、変光星かどうかを観測の事前に調査しておく事を先に述べたが、極大が 10 等以下の未知のミラ型変光星が多いことも知られている。そういった面を考慮し、眼視で一見して分かるような赤い星は比較星に使用しない方が無難と言える。

<1> 「彗星の導入」で述べたように、彗星そのものが見えなかった場合も、「この光度の恒星までは見えたが彗星は見えなかった」ということは貴重な資料になるので、彗星位置付近の視野の中で見えた一番暗いと思われる恒星を、何個かスケッチしておくが良い。また、彗星状天体の限界光度を記録に残すため、ピントをずらして恒星をぼかし、恒星が 1 分角くらいにぼかした時に、見えている一番暗い恒星を記録に残しておくという方法も有効である。

<4> コマ直径の目測

コマの直径の観測を行うことにより、全光度の観測と併せて「どれくらいの明るさで、どれくらいの大きさで見ていたか」という記録を残しておくことが出来る。コマの大きさは一つの彗星により違い、同じ彗星でも変化していくので、光度と同様に、彗星の活動を示すパラメータとも言える。

さて、すでに光度観測の項で、「ピントをずらし、比較星を彗星と同じ大きさにぼかす」という方法を述べた。暗い彗星の周縁部の淡いコマ部分は、直視した瞬間はあまり見えないので、光度観測に入る前に、目を慣らす意味で視点をいろいろと変えて、コマ全体が浮かび上がったところでその大きさを測っておくのが良いだろう。そして、なるべく彗星に近い恒星の中から、コマの直径と等しい間隔の2つの星を選んでスケッチしておく。同じ間隔の星がなければ、例えばA星 - B星の間隔の3分の2とか、半分とかでメモしておけば良い。

なお、コマはいつでも円形に見えるわけではなく、楕円形をしている彗星もある。その場合、明確な決まりはないが、基本的には短径の方を測るとされている。また、いわゆる「大彗星」で、コマと尾が連続した形状になっている場合は、コマがどの部分か分かりにくくなる。その場合は頭部の曲線状のディテールを、中央集光部を中心として尾部側に対称に反転させた楕円を仮定し、その短径をコマと見積もると良い。

<5> 中央集光度の目測

中央集光度は、DC (Degree of Condensation) と書かれるように、彗星がどれだけ中心部に向かって凝縮した姿をしているかを表すものである。中央集光が全くない姿をDC 0とし、恒星にしか見えない点状の姿をDC 9として10段階で表す。一応、ICQでは基準となるメシエ天体が挙げられているが、筆者の経験では、それらのメシエ天体も機材や倍率により当然見え方が違うので、彗星に一筋縄で応用する訳にはいかならないと思われる。それらはいくまで目安として使った方が良い。したがって、中央集光度は多分に感覚的な数値になってしまう嫌いがある。彗星を数多く見て、「恒星と見分けが付かないほど集光している」のをDC 9、「まったくのっぺりして、とらえどころのない拡散した姿」をDC 0として、その間については、観測者が自身の基準を持って判断すれば良いだろう。

<6> 尾の目測

彗星から明瞭に尾が出ていると判断できる場合は、尾の長さや方向(位置角)を測定しておく。基本的にはスケッチをとり、背後の恒星との位置関係が分かるように記しておけば良い。明るい彗星の場合は、複数の尾が見えることがあり、また彗星の軌道面を地球が通過するような時には、いわゆるアンチテールが見え、彗星の両側に突き出た尾が見える場合もある。記録としては、長く見えた方の尾を報告する事になるが、スケッチの際には、見えた尾をすべて書いておけばあとで整理するときに役立つ。

<7> 日付と時刻の記入

状況にもよるが、一通り観測を行うと、数分から10分程度の時間はかかる。明るさを0.1等単位で目測する眼視観測の精度と、彗星の光度変動との時間的スケールを考慮すれば、観測時刻に

については位置観測ほどシビアではなく、報告形式では、およそ 10 分単位の桁までの記録となるので、観測が終わった時の大体の時刻をメモしておいて構わない。しかし、突発的な現象に遭遇したような場合、1 分単位の時刻精度が必要となることもあるので、目測時刻をしっかりと記入するにこしたことはない。

<8> 観測地で行う作業の例

図 5 に観測地で観測しながら残しておく「スケッチ」の例について示す(この観測は架空のものである)。

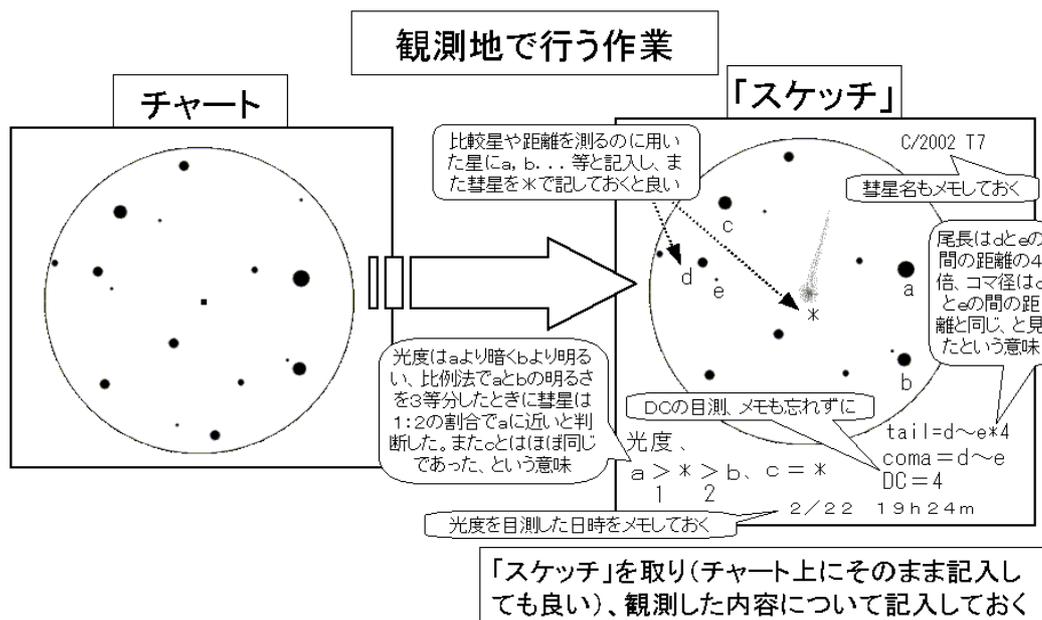


図 5 観測地で残すスケッチの例

(4) 観測後の作業

観測地で行った作業を、ICQの報告形式に出来るように、以下の手順で整理する。この作業を行うにあたっては、使用する星図ソフトの表示時刻を必ず観測時刻に合わせ、また緯度経度を観測地のものと合わせる。

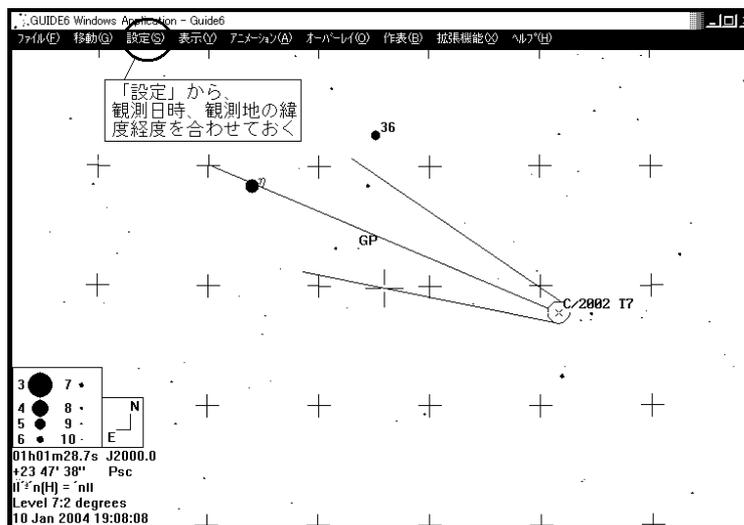


図 6 「GUIDE」における時刻設定のメニュー

<1> 観測時刻

観測時刻を協定世界時(UTC)の0.01日単位で換算し直す。観測は分単位で記録してあるから、1日は1440分なので、例えば18日の22時36分(JST)の観測ならば、22時(JST)は $22-9=13$ UTC、 $1/100$ 単位で丸めて $(13 \times 60 + 36) / 1440 = 0.57$ 、従って18.57 UTCの観測となる。基本的なことだが、日本時間で24時を過ぎての観測となった場合、UTCでの日付は前日となるので注意されたい。

<2> 光度

まず、スケッチした比較星の明るさを星表から調べなければならない。眼視で参照できる星表はV等級がふられた星表(カタログ)だが、「GUIDE」や「ステラナビゲータ(ver.6)」などの星図ソフトでは、恒星を選択してTychoカタログのJohnson-V等級を調べることが出来る。このTychoカタログはおおよそ10等級までの恒星をほとんど網羅しているので、これらの星図ソフトが使用できれば、そのまま問題なく表示された比較星の明るさを使用できる。例えば「GUIDE」を使用した場合、画面上で星を選んでそこで右クリックし、表示されたウィンドウ内に「mag8.97」といった具合に $1/100$ 等まで表示される光度が、TychoカタログのJohnson-V等級である(図 2-7)。また、Tychoカタログに更に恒星のデータが追加されたTycho-2カタログでは、おおよそ11等級までの恒星のJohnson-V等級が掲載されている。「GUIDE」の場合は最新のバージョンである「GUIDE 8」からこのTycho-2カタログが使用されており、「ステラナビゲータ(ver.6)」でもTychoカタログとTycho-2カタログを選択して表示できるようになっているので、更に暗い彗星の観測に役立てることが出来る。その他でもICQに報告する際に使える星表がある。



図7 「GUIDE」における等級表示の例

なお、「ガイドスターカタログ」は、tychoカタログよりも更に暗い星まで光度が掲載されているが、古いカタログなので精度が悪く、特に南天での精度は良くない。このカタログでしか光度が掲載されていない暗い比較星を使わなければならないほど彗星が暗い場合を除いて、「ガイドスターカタログ」の比較星光度は使用しない方が良いと言える。

「彗星はAとBの中間ほどの明るさ」とした場合、Aが7.0等、Bが7.8等ならば、彗星は7.4等とすれば良く、また3:7程度の割合でややAの方に近いとすれば、 $7.0 + 0.08 \times 3$ から7.24等、 $1/10$ 等で丸めて7.2等とすれば良い。また比較星のペアを多く取ると、例えばAとBからでは7.2等、CとDからでは7.5等、EとFからでは7.6等、と光度がばらついた場合は、得た彗星の光度をすべて平均して、 $(7.2 + 7.5 + 7.6) / 3 = 7.43$ 等、したがって7.4等と判断すれば良い。

<3> 光度算出の際に留意する点

・ 比較星の色指数

前述したように、変光星の可能性を考えると、なるべく色指数が小さな恒星を比較星に使う

のが無難だと言える。Tycho カタログなどには恒星の光度とともに色指数値も併記されている。例えば「GUIDE」を使用した場合、画面上で星を選び、そこで右クリックして表示されるポップアップウィンドウ内の「more info」を更に選択して Johnson B-V color で示されているのが色指数値である（図 8）。

色指数値が大きい星を比較星に使わないために、観測時には前述したように、「赤く見える星はなるべく比較星に使わない」といった選択を行うわけだが、この机上の作業の際にも、何個か組んだ比較星のペアのうち、色指数が大きな星を含んだものは算出の際に除外するといった作業をした方がよい。目安としては色指数が 1.0 より大きな星は比較星として使用しない方がよいと思われる。しかし、観測の際に時間が取れず、1 つのペアだけしか取れなかった、という場合もあり得る。算出した彗星の光度に自信がもてなかった場合は、光度に注釈として、たとえば 7.3 等としたが自信がないという場合は 7.3: というように「:」を付けておく。更に 0.1 等単位で求めたこと自体が疑わしい時は 7: というように 1 等単位としておく。

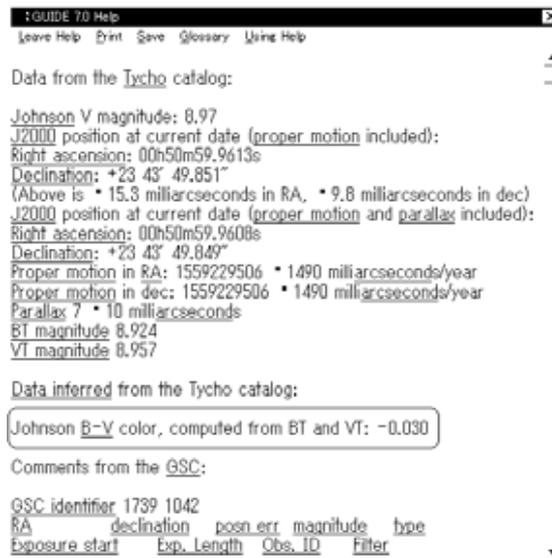


図 8 「GUIDE」における B-V 値表示の例

・恒星が重なっていないか

比較星が見かけ上重なってしまうこと、また彗星自体が背後の恒星と重なってしまうことがある。これは観測の際、比較星をぼかすため、実際かなりの頻度で起こり得る。例えば、「彗星と、比較星 A と比較星 B をぼかしたときの明るさが同じくらいだが、比較星 A が実際は 2 つの恒星が隣接して 1 つの恒星に見えていたことが分かった」、または「彗星をぼかしたときに近くにあった恒星 C も重なって見えた。その合わせた明るさは比較星 A と比較星 B の明るさの中間くらい」と判断するようなケースである。

光度が 1 等級明るくなると、光量は 2.5 倍になる。等級 m の星の光量を L とすると、0 等級の星を光量 1 とする単位を仮定して、

$$m = -2.5 \log L, \quad L = 10^{-0.4m}$$

この L の値をそれぞれの比較星ごとに求め、加算する事により合成等級を求めることが出来る。例えば、11.7 等の星 A と 11.1 等の星 B の合成等級 m_{AB} は、

$$m_{AB} = -2.5 \log(10^{-0.4 \times 11.7} + 10^{-0.4 \times 11.1}) = 10.6$$

また、この式を応用すれば、後者のケースの合成等級から恒星の光度を引いて、彗星の光度を求める計算も出来る。合成等級を求める手順は、「エクセル」などの表計算ソフトで雛形を作っておけば、後はその都度数値を入力するだけになるので、大変楽になる。

・大気吸収による減光

大気圏外から来た星の光は、大気中で微小粒子により散乱や吸収を受け、減光しながら地表上

に到達する。これを大気吸収または大気減光(atmospheric extinction)と言う。星の高度が低いほど、光路に沿った大気の層が厚くなるので、大気吸収が大きくなり、星が暗く見えて見かけの等級が増加する事になる。したがって、高度の違う星の明るさを見比べた場合、この大気吸収を考慮しなければならず、その作業を大気吸収補正と言う。大気吸収による減光量は、天体の高度が低くなると指数関数的に増大して行くので、ICQ では、彗星または比較星の高度が30度以下の場合には、大気吸収補正を行うように観測者に指示されている。補正表及び具体的な補正方法は、この冊子の「CCD 観測入門」中の「大気吸収補正」を、参照されたい。

なお余談ながら、筆者の経験や、筆者が勤務している気象庁の何力所かの測候所で行われている直達日射観測の資料から考慮すると、実際には日本の空の状況は気象状況によって複雑で、この既存の大気吸収表からややかけ離れた空の状態を呈することも、ままあると感じている。したがって、表や計算に頼って高度差の大きな比較星を取る前に、あくまで彗星に近い高度に比較星を見つけることを優先してほしい。

<4> コマ径

観測時に行ったスケッチを元に、星図ソフトでコマ径の測定に使用した恒星と恒星との角距離を調査し、そこからコマ径を算出する。「GUIDE」を使用した場合は、画面上で始点を決めて右クリックし、クリックしたまま終点までドローして(直線が表示される)右手を離すと、その直線の長さでドローした方向(位置角)が表示されるので、その機能を利用すると便利である。コマ径は一応0.1分角単位まで測ることになっているが、明るい彗星でコマが大きく、小さな双眼鏡や肉眼で観測して見積もった場合は、そこまで細かく測る必要はない。コマ径にもよるが、目安として、視野が1度より狭い機器で観測した場合は0.1分角単位、数度の視野を持つ機器で観測した場合は1分角単位、10度近い視野を持った機器や肉眼で観測した場合は5分角単位といったところである。

ちなみに、観測したコマの見かけの視直径(分)から、コマの実直径 $D(\text{km})$ は、彗星の地心距離が (AU) のとき、

$$D = 4.36 \times 10^4 \theta \times \Delta$$

で簡単に算出することが出来る。光度とともに続けて観測しておけば、貴重な資料となる。

<5> 尾

こちらでも観測時に行ったスケッチを元に、星図ソフトで背後の恒星との位置関係を照合して長さと方向を確かめる。「GUIDE」を使用した場合は、コマ径の測定時とほぼ同様に、画面上でまず尾の付け根の位置を右クリックし、クリックしたまま尾の終点までドローして(直線が表示されます)右手を離すと、その直線の長さでドローした方向(位置角)が表示される。コマより尾の方が特に先端部は不明瞭だから、長さの報告においては、0.1分角単位までは必要ない。

尾が長い場合も、使用機材に応じて1、5、10の単位で丸めておけば良い。例えば「23分」とか「11度」といったように細かく見積もる必要は無く、それぞれ「25分」「10度」としておけば良い。位置角は彗星の尾が天球上の赤経の経線に沿って真北に向いているときを0度として、それから東回りに測る。東に向いているときが90度である(夕方の西空に位置する彗星で、太陽と反対方向に尾が伸びているときは、これに近い角度になる)。南に向いているときが180度、そし

て西に向いているときが 270 度となる（明け方の東空に位置する彗星で、太陽と反対方向に尾が伸びているときは、これに近い角度になる）。報告は、5 度の単位で丸めておけば十分である。

<6> 観測後で行う作業の例

観測地で残した「スケッチ」に、帰宅後 PC 等で調査・作業を行って記入した例を図 9 に示す。

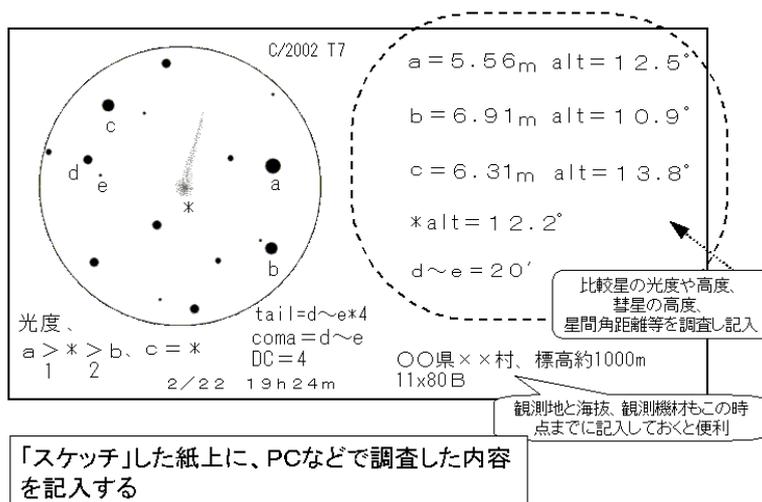


図 9 観測後に行う作業の記入例

<7> ICQ フォーマットに観測値を変換する

観測結果は最終的に ICQ に報告出来る形式にまとめる。図 10 は、図 9 に示した観測を ICQ フォーマットに変換した例である。なお、ICQ フォーマットは新たな比較星比較星の出典等が追加されるなどの状況により内容が更新されるので、本章の「参考となる web サイト」に掲載した URL を参照されることが望まれる。このフォーマットの詳細については、「 - 3 ICQ への報告」に書かれている。

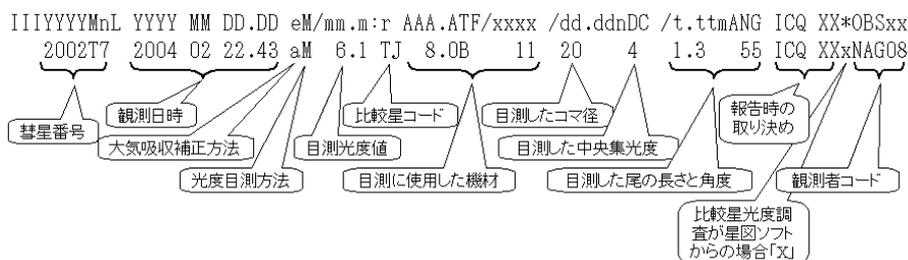


図 10 観測を ICQ フォーマットに変換した例

(5) 眼視光度観測から光度式を求める

<1> 彗星の光度式について

彗星の光度を、彗星から地球までの距離、および彗星から太陽までの距離を用いて表した式を、光度式と呼んでいる。観測を行いながら、その観測値から光度式を求め、期間によってどのよう

な光度式にフィットしているかを調査することは、彗星の光度調査の基本と言える。

彗星が太陽からの反射だけで光っており、またコマは希薄なため位相角の効果は無視できるもし、太陽と地球から、それぞれ 1 天文単位(AU)離れた時の明るさを、 H_0 とする。太陽からの距離を r (AU), 地球からの距離を Δ (AU)とした場合の、地球から見た彗星の明るさ H は、太陽光が彗星まで届く距離の二乗に反比例し、彗星で反射された光が地球に届くのに、また距離の二乗に反比例するので、次のように表せる。

$$H = \frac{H_0}{r^2 \Delta^2}$$

H_0 は彗星の絶対的な明るさ、すなわち「彗星そのものの規模を示す」事になる (H_0 を等級で表したものは、通常「絶対光度」と呼ばれる)。したがって、位置が求まってしまえばその時の明るさ H から H_0 が求まり、その後の彗星の明るさは彗星の大きさが変わる(反射面積が変化するか、彗星の反射能(アルベド)が変わらない限り、比較的簡単に求まる事になる。ここで、明るさが H_0 の時の等級(絶対光度)を m_0 、 H の時の等級を m とすると、

$$\frac{H}{H_0} = \frac{1}{r^2 \Delta^2} = x^{(m_0 - m)}$$

となる。ここで、 x は恒星の合成等級について述べた「光量」の差を、意味するもので「光比」と呼ばれる。この関係から、彗星の光度変化を等級で表す式を作成すると、

$$\log x = 0.2 \log 100 = \frac{2}{5}$$

$$m = m_0 + 5 \log \Delta + 5 \log r$$

となる。しかしながら、彗星は太陽の輻射を受けて自らも発光している。太陽からの輻射はやはり彗星までの距離の二乗に反比例し、この輻射に対する彗星の発光係数を 1 とした時、地球から見た明るさ H は、

$$H = \frac{H_0}{r^2 r^2 \Delta^2} = \frac{H_0}{r^4 \Delta^2}$$

すなわち

$$m = m_0 + 5 \log \Delta + 10 \log r$$

となり、一般的にこの式で彗星の明るさが予測され発表されることが多くなっている。しかし、 $\log r$ の係数 10 は「彗星が太陽の輻射を受けて光る係数を 1 と仮定した時」の値で、どの彗星もそうであるとは限らない。結局、 $\log r$ の係数は彗星の活動の活発さの一面を現しているものであり、 m_0 とともに、彗星ごと、または彗星の位置や状態によって変化する変数であると言える。従って、彗星の光度変化は、実際には $\log r$ の係数が変数(k)となって

$$m = m_0 + 5 \log \Delta + k \log r$$

となり、連続した観測を行うと、この k の値が最小自乗法によって求められる。なお、彗星がアウトバースト(突発的な増光現象)した際などは、 m_0 の値、すなわち「彗星そのものの規模」が短期間に大きく変化する場合もある。また、彗星核が崩壊し、結局全体が霧散して消滅に向かってしまった彗星として、最近では C/1996 Q1 (Tabur) や C/1999 S4 (LINEAR) などがあるが、いずれも眼視観測からも、核崩壊に伴う急激な光度低下が観測されており、やはり「彗星そのものの規模」が大きく変化した例と言える。なお最近、太陽の前面(地球からの見かけ上)を通過した彗

星の急激な増光が、太陽観測人工天体(SOHO)で観測されたことなどから、位相角による光度変化についても研究が行われている。

<2> 光度式と光度観測の意義について

このように刻々と変わる光度を見つめることにより、「彗星活動の活発さの変化」や「彗星そのものの規模の変化」をキャッチする事が可能で、そこから個々の彗星の特徴を把握することが出来、更にアウトバーストした時期の推定なども可能となってくる。したがって、光度観測は比較的簡単に出来る観測でありながら、重要な意義を持つと言えるのである。最近の光度変化の大きかった彗星の例として、C/2001 A2 (LINEAR) の観測を図 1 1 に示す。光度式が短期間で変化していることが観測値から読みとれる。

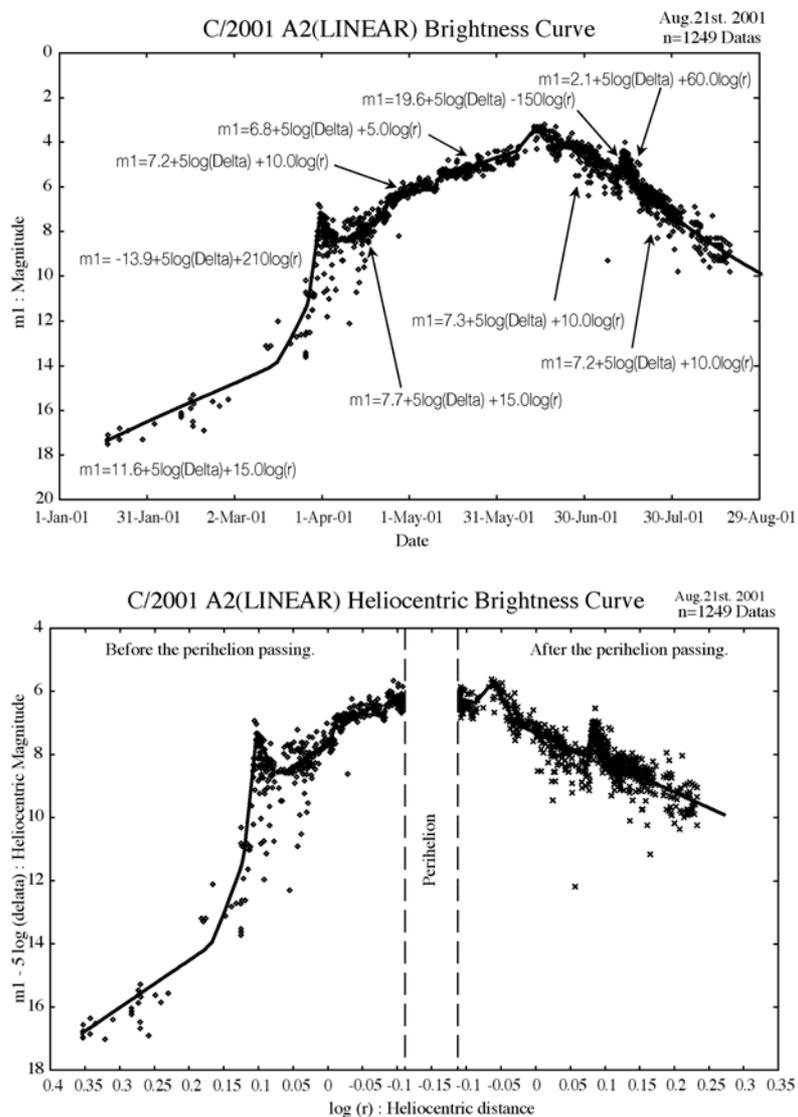


図 1 1 C/2001 A2 (LINEAR) の光度変化(遠藤恒延氏作成・提供による)

<3> 光度観測値の解析

光度観測値の解析を行うソフトとして、吉田誠一氏が開発した「Comet for Windows」がある。このソフトは、彗星の光度変化の解析や位置推算などを行うソフトで、OS が Windows の PC において、世界中から彗星の光度観測データを集めて光度変化のグラフを描いたり、集めたデータを解析して光度式を求めたり、彗星の今後の明るさを予測したり、観測の計画を立てたりすることもできる非常に便利なソフトである。フリーウェアで、下記の URL からダウンロードすることが出来る。

<http://www.aerith.net/project/comet-j.html>

(6) 最後に ~ハイテク時代でも眼視観測を!!~

天体観測は完全なハイテク時代になって来ている。自動導入はもちろん、冷却 CCD の普及やオートガイドによる追尾精度の向上により、10 年前には大天文台でしか観測できなかった暗い彗星が、自宅の庭や屋上に設置したアマチュアの望遠鏡によりキャッチされ、その画像が天文雑誌やインターネットの web 上を飾っている。もはや、必至に望遠鏡を覗いて眼視観測というスタイルは、そういったハイテク観測に比べると時代遅れで、見劣りしてしまうといった感じは否めない。しかし、長期間にわたり、個々の彗星の眼視観測値による光度曲線が得られれば、例えば、いわゆる「マジックポイント(光度式が劇的に変化する点)」は、どれくらいの頻度で起こり得るのかなど、彗星の活動度に関する調査が進むと思われる。また、数多く残されている過去の彗星の眼視観測値との比較も、「ローテク」ならではのものである。光度という物理的な量を客観的に測定しているのだ、という慎重な観測に対する心構えが個々の観測者に必要と感じる。

(7) 参考となる web サイトや書籍

<1> 見ておくと便利な web サイト

IAU が公開している最新の彗星の軌道要素

<http://cfa-www.harvard.edu/iau/Ephemerides/Comets/>

「ステラナビゲータ(Ver. 6)」で使用される彗星の軌道要素

<http://www.astroarts.co.jp/products/stlnav6/data/index-j.html>

ICQ が集計した最近の彗星の光度観測値

<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/icq/CometMags.html>

IAUC (発行から数週間後に閲覧できる)

<http://cfa-www.harvard.edu/iauc/RecentIAUCs.html>

ICQ のサイトにある ICQ フォーマットの解説 (英語版)

<http://cfa-www.harvard.edu/icq/ICQFormat.html>

吉田誠一 氏のサイト (ICQ フォーマットの解説含む)

<http://www.aerith.net/index-j.html>

吉本勝巳 氏のサイト (眼視観測方法について詳しい)

<http://www.ymg.urban.ne.jp/home/kichipon/>

星図ソフト GUIDE を紹介するため、Project Pluto のページを日本語に翻訳したサイト

<http://www.asahi-net.or.jp/~fp6m-kud/index.htm>

星図ソフト GUIDE を発行する Project Pluto のサイト

<http://www.projectpluto.com>

「GUIDE」の入手方法 「GUIDE」の日本語 web サイトの FAQ ページ、

<http://www.asahi-net.or.jp/~fp6m-kud/faqnew.htm>

に詳細がある。電子メールや F A X でも申し込みが可能。

値段は 89 米ドルで、その他に 3 米ドルの航空料金がかかる (2003 年 4 月現在)

IAU のサイトにある、GUIDE 用の軌道要素のページ

<http://cfa-www.harvard.edu/iau/Ephemerides/Soft02.html>

彗星の軌道要素はその中の

<http://cfa-www.harvard.edu/iau/Ephemerides/Comets/Soft02Cmt.txt>

にある。手早く軌道要素を更新したい場合は、このファイルの内容 (テキスト形式) を PC にセットアップした GUIDE のフォルダにある、Comets.dat に上書きすればよい。ただし、Comets.dat の最初の行には Comets.dat に登録されている彗星数を入力しておく必要がある。

筆者の彗星観測 web ページ

<http://homepage3.nifty.com/ynag/index.htm>

<2> 参考となる文献など

[1]木下一男,「第9回彗星の観測(眼視・写真)」, INTERACTIVE ASTRONOMY Vol. 8 (1996年)

[2]中村彰正,「彗星の眼視観測のしかたと報告」, ヘル・ポップ彗星観測ガイド(1996年)

[3]秋澤宏樹,「光度観測(1)眼視観測とICQフォーマット」, 彗星夏の学校編・ヘル・ポップ彗星観測ハンドブック(1996年)

この原稿を執筆するにあたり、以下の方々から資料の提供や大変有益な助言を頂きました。厚く御礼申し上げます。遠藤恒延、鈴木雅之、吉田誠一、吉本勝巳 (五十音順)