

# STELLAR LIGHT

ステラーライト

GUNMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

県立ぐんま天文台

No. **4**



ぐんま天文台のモニュメントを見て思うこと

岡崎 彰

施設紹介 ~ 65cm反射望遠鏡 ~

変光星の短周期変光検出

チャティフ・クンジャヤ

天体列伝 ~ 銀河M51 ~

天文学はじめの一步 ~ 光電測光器 ~

平成12年度観測研究講座レポート

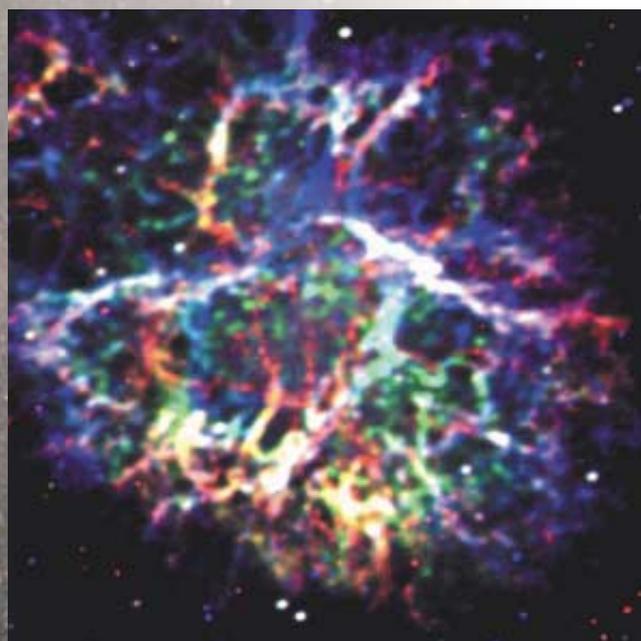
観測研究講座について

観測研究講座に参加して

中井 辰治

ボランティアの声

永井 淳



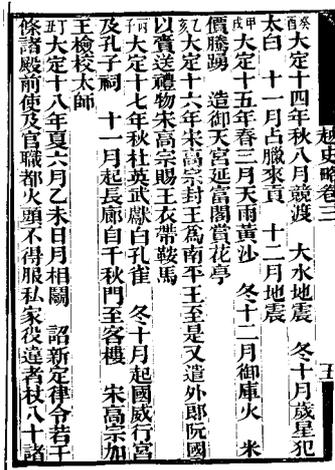
# ぐんま天文台のモニュメントを見て思うこと

群馬大学教育学部教授 岡崎 彰

ぐんま天文台を訪れると、野外広場に並ぶストーンサークルやジャンタル・マンタルのモニュメントが鮮やかに目に映る。どちらも昔の天文の遺跡や施設を模したものだ。いったい、当時の人々は彗星や新星などの天文現象をどんな思いで見っていたのだろうか。

さて、日本と朝鮮が中国文化の影響を強く受けたことは世界史の授業で学ぶけれど、10世紀に宋から独立したベトナムが同じように中国文化と深く関わっていたことは意外に知られていない。実際、ベトナムでは近世まで王朝が編纂する史書は漢文で書かれていた。蛇足であるが、現代日本語と同じように、ローマ字表記の現代ベトナム語にもたくさんの漢語が混じっている。たとえば、テンヴァンホク (thien van hoc) が「天文学」であることを知れば、漢語に親しんでいる私たちにはヴァンホク (van hoc) の意味はすぐにわかる。

ところで、中国・朝鮮・日本の史書や昔の日記には天文現象の記事が時々含まれていて、現代天文学に貴重な情報を提供してくれることがある。たとえば、おうし座の「かに星雲」は1054年に出現した超新星（太陽よりもずっと重い星の最期の大爆発）の名残だと見なされているが、藤原定家の「明月記」や中国の「宋史」などには、その爆発が記されている。ベトナムは中国よりも南に位置しているので、もっと南の空まで見渡せる。だからベトナムの史書を調査すれば、思いがけない天文現象の記事が新たに見つかるかもしれない。私がそう考えたのは、今から二十年ばかり前の話だ。そして、現存するベトナム初期の史書としては「大越史記全書」と「越史略」の2種類があること、前者については天文古記録研究の大御所、ホー・ペンヨーク氏により調査済みであることを知った。そこで、「越史略」を共同研究者と一緒に調査し、1040年から1225年の間に18件の天文記事を拾い出した。このうち9件は「大越史記全書」と同一内容であったが、残り9件は「越史略」独自のもので、その中には1222年のハレー彗星の記事も含まれていた。期待していた大発見はなかったが、面白い副産物があった。2つの史書では数ヶ所で何年間にわたって同一内容の記載年が系統的に1~2年ずれており、その正当性が歴史学者の間で議論されていた。実は、その該当期間に両史書で同一の惑星現象の記事（図参照）が載っていたのだ。惑星の位置計算と比較したところ、その期間では「越史略」の記載年の方がよく合っていた。



「越史略」の1頁。1~2行目の「大定十四年...冬十月歳星犯太白」が問題の記事。「歳星犯太白」は「木星が金星に接近した」という意味。(東京大学東洋文化研究所 所蔵)

当時の人々は天変に畏怖の念を抱き、それが人間社会にどう影響するかを真剣に考え、多くの天文記事を後世に残した。「越史略」の記事にも当時の人々のそんな気持ちが込められていたと思う。一方、学問的な立場で現在から振り返ると、これらの記事は天文学の過去の重要なデータであると同時に、時には歴史学などの貴重な資料となっている。言い換えれば、夜空を見上げていた当時の人々は、思いもよらない形で現代の学問に貢献したことになる。ぐんま天文台のモニュメントを見るたびに、その不思議な巡り合わせを思うのである。

当時の人々は天変に畏怖の念を抱き、それが人間社会にどう影響するかを真剣に考え、多くの天文記事を後世に残した。「越史略」の記事にも当時の人々のそんな気持ちが込められていたと思う。一方、学問的な立場で現在から振り返ると、これらの記事は天文学の過去の重要なデータであると同時に、時には歴史学などの貴重な資料となっている。言い換えれば、夜空を見上げていた当時の人々は、思いもよらない形で現代の学問に貢献したことになる。ぐんま天文台のモニュメントを見るたびに、その不思議な巡り合わせを思うのである。

酸素原子の光

水素・窒素原子の光 硫黄原子の光



ぐんま天文台65cm望遠鏡と小型分光器を使って観測した、「かに星雲」(表紙)のスペクトル(波長4500~7000 付近)。上下方向は星雲の場所に対応します。左右は波長(色)に対応し、右側ほど波長が長い(赤い)。近づいてくる物体からの光は速度に比例して青い方にずれる(偏移)します。左の明るい部分は酸素原子の光(5007)ですが、かに星雲のガスは複雑な運動をしているため、場所(上下)によって光が左右にずれています。右側の水素原子(6563)と窒素原子の光(6548と6584)でも酸素原子の光同様、ガスの運動による偏移があるため非常に複雑な画像になっています。さらに右には硫黄原子の光(6719と6731)も見えています。水素、窒素、硫黄原子からの光は異なった物理状態のガスから放出されるため、これらの光の強さからかに星雲の状態を推定することが出来ます。

# 施設紹介

## ～ 65cm反射望遠鏡 ～

ぐんま天文台65cm反射望遠鏡（以下「65cm望遠鏡」、写真右）は、天文台本館南側にある7mドームの中に設置されています。2枚の鏡を使ったカセグレン式で（ステラライトNo.3の「天体観測はじめの一步」参照）、主鏡の直径が65cmあります。合成F値は12で、焦点距離は7800mmです。

望遠鏡を支える架台はフォーク式赤道儀で、計算機制御されています。星を導入する場合の精度（指向精度）は約15秒角、星を追いかける精度（追尾精度）は15分間で約1秒角（自動追尾補正なし）です。眼視観測や短い露出時間の写真撮影、またCCD撮像観測にはほとんど問題ありません。

65cm望遠鏡の眼視観測には、ワンダーアイと呼ばれる専用の延長光学系を用います。接眼部が自由に動き、背の高い人から低い人まで簡単に対応できます。CCD観測はApogee社のAP7を用います。これは512×512ピクセル（1ピクセルの大きさは24 $\mu$ m×24 $\mu$ m）の電子冷却式モノクロCCDカメラで、5分角の視野をカバーできます。フィルターを利用してカラー合成のみならず本格的な撮像・測光観測が可能です。35mm判のカメラ（ニコン）と67判のカメラ（ペンタックス）もありますが、CCDの方がはるかに感度がよく容易に高精度で星の明るさを測定でき、写真観測の機会は少なくなっています。その他、光電測光器と小型分光器が用意されています（光電測光器については今号の「天体観測はじめの一步」を参照）。以下では、65cm望遠鏡とCCDカメラを用いた観測の一例として、変光星の観測について紹介します。

（観測普及研究員 河北 秀世）



## ぐんま天文台65cm望遠鏡を用いた変光星の短周期変光検出

バンドン工科大学 チャティフ クンジャヤ

時間とともに明るさが変わる星を「変光星」と呼びます。明るさの変化（変光）が十分に大きければ、肉眼で明るさの変化を確認できます。一つの例は西暦1054年の超新星爆発です（表紙および裏表紙解説参照）。私たちの銀河系内で起きる超新星爆発の頻度は数百年から千年に一度で、非常に稀な現象です。この他にもたくさんの種類の変光星があり、その変光を小口径の望遠鏡で比較的短期間に捉えられるものも多々あります。これらの星の変光の観測であれば超新星の場合のように数百年も待つ必要はないのです。

変光を観測するには、ある星を異なる時刻で撮像してその画像を比較します。新星や矮新星など突然明るくなる天体現象では、特にデータ処理をしなくてもその星が暗い状態か明るい状態かがわかります。このような観測は「パトロール観測」と呼ばれます。



クンジャヤさんは2000年9月から12月までの間、ぐんま天文台に滞在して65cm望遠鏡や観察用望遠鏡を用いた観測、解析を行いました。10月からは天候にも恵まれ、ここに紹介した観測を含め、観測の成果をインターネットを通じて世界に発信しました。また、ぐんま天文台職員の衣笠、長谷川、京都大学の加藤太一さんのグループと共に観測結果を論文にまとめつつあります。

この観測に必要なものは、小口径望遠鏡、CCDカメラ、監視する天体のリスト（星の赤経・赤緯、変光幅を含む）、そして電子化された星図（" Guide Star Catalog View " など）です。ある星が明るくなっていれば、世界中の天文観測者に知らせます。他の観測者はさらに観測を集中して行うことができます。このような情報交換の手段としては、インターネット上のVSNET (<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/vsnet>, [vsnet-adm@kusastro.kyoto-u.ac.jp](mailto:vsnet-adm@kusastro.kyoto-u.ac.jp)) があります。

SU Uma型矮新星として知られる変光星では、明るい状態（明るい状態はアウトバーストとかスーパーアウトバーストと呼ばれます）において、スーパーハンプと呼ばれる現象が起こる場合があります。これは非常に急激な明るさの変化で、それにかかる時間は通常2時間以下です。今度は星の明るさを何度も正確に測定し、時間ごとの明るさをグラフにすれば（このグラフを光度曲線といいます）、それは周期的に変化する曲線になっています。

その変光は小口径の望遠鏡とCCDカメラ、たとえばぐんま天文台の65cm望遠鏡とApogee社CCDカメラで十分検出できます。図1は光度曲線の一つの例で、

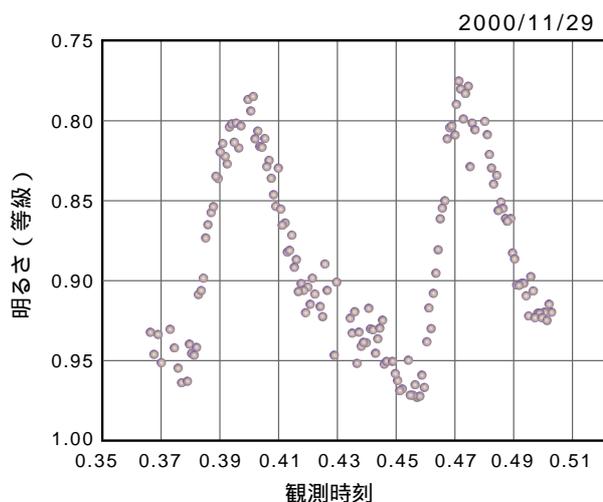


図1：白鳥座V503の変光曲線

2000年11月に観測した「白鳥座V503 (V503 Cyg)」という星の光度曲線です。変光のパターンから、変光周期は約2時間と精度良く決まりました。

この他にも、65cm望遠鏡を使って「アンドロメダ座IW星 (IW And)」を観測しましたが、0.02等以上の変光は観測されませんでした。これはIW AndがSU Uma型の矮新星ではなかったか、この星の2000年11月の増光がスーパーアウトバーストではなかったことを示しています。他にも観察用望遠鏡を使って「アンドロメダ座KW星 (KW And)」や「うお座TY星 (TY Pis)」を観測しました。

別の種類の変光星には「近接食連星」における短期変光があります。近接食連星とは、非常に接近した二つの星が互いの周りを回りあっており、周期的に一方の星が他方の星を隠すというものです。これら二つの星は非常に接近しており、あたかも一つの星のように見えます。もしも二つの星の温度が大きく異なっていれば、周期的に明るさが大きく変わって見えます。

光度曲線を作るためには、天体の画像をCCDカメラで多数連続的に取得し、各画像ごとに星の明るさを測定する必要があります。Apogee社CCDカメラの場合、画像取得には、MaxIm DLというソフトウェアを使います。このソフトウェアを使えば、ダーク画像や薄明を使ったフラット画像を取得して天体の明るさを決定するための画像処理やデータの整約・較正を行うこともできます。65cm望遠鏡の追尾は良好で、天体は1, 2時間程度の追尾中に大きくずれたりしません。自動的にアパーチャー測光（ある狭い天空上の領域から来る光の量を測ること）をするソフトウェアは、京都大学の加藤太一氏が開発したものを利用しました。

パトロール観測は、多少のトレーニングを積み、プロの天文観測者でなくても可能です。変光曲線を得るためのデータの整約・解析は多少複雑なので、系統だった訓練をより長い間行う必要があります。珍しい天文現象を楽しむことに興味ある人は、ぐんま天文台でそのような訓練を積んでみて下さい。

## 天体列伝

### ～ 銀河M51 ～

春に見やすい星座のひとつに、りょうけん座という星座があります。りょうけん座はあまりなじみのない星座で、3等星より明るい星が2個しかありません。

しかしこの星座には明るい有名な銀河がたくさんあります。その一つが“子持ち銀河”M51 (図1)です。左上の小さい銀河がNGC5195で、大小2つの銀河がセ



図1：M51(中央)とNGC5195(左上)。H（水素原子の光）、NII（窒素原子の光）、V-band(連続光)を青、緑、赤で疑似三色合成したもの。

\*画像はぐんま天文台が提供\*

ットになって見えます。M51は可視光では2本の腕から成る美しい渦巻き構造を持ち、天文愛好家にも多くのファンがいますが、天文学的にもとても重要な天体です。世界中の可視光や赤外線、電波、X線などいろいろな波長のどの望遠鏡でも必ず一度は観測される“お約束”の銀河なのです。その理由は、多数の銀河の中でもこの銀河が顕著な2本の渦状腕を持つこと、銀河をほぼ真上から観測できること、光をはじめ赤外線や電波、X線などほとんどの波長で明るく観測が容易であること、距離が約3000万光年と比較的近く、みかけの大きさが適度で構造を調べやすいことなどです。

銀河は10～1000億個程度の恒星の大集団ですが、大きく分けて渦巻き(渦状)銀河、楕円銀河、不規則銀河の3種類に分類されます。我々の銀河系や、有名なアンドロメダ銀河(約230万光年の距離)も渦巻き銀河です。渦巻き銀河は、銀河中心部分の球状の「バルジ」と、薄いパンケーキのような円盤(「ディスク」)、さらにこれらを取り囲む大きな球状の「ハロー」という3つの成分から構成されています。渦巻き構造は円盤の中に見られます。我々の銀河系の場合には地球が円盤の中にいるために、その渦巻き構造を直接見ることはできませんが、もし外から眺めることができれば、この渦巻き構造が見えることでしょう。観測によって最初に渦巻き構造が発見されたのがM51でした。

渦巻き構造がどうやってできるかは長い間多くの天文学者の間で議論されました。最初は星やガスが渦状に分布したまま回転していると思われていました。しかし、渦巻き銀河では銀河のごく中心を除くと回転速度がほぼ一定であることが観測からわかってきました。従って外側ほど一回転するのに時間がかかり、外側が一回転する間に内側は何回転もしてしまいます。これ

を微分回転あるいは差動回転と呼びますが、渦巻きの腕は回転していくにつれてどんどん巻きついてしまいます(図2)。しかし、ほとんどの渦巻き銀河は生まれてから最低でも数十回転はしているので、これでは現在見える渦巻き構造を説明できません。

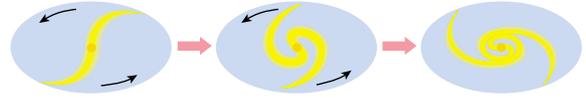


図2：内側と外側が同じ速度で回転していると時間が経つと内側の方が巻きがきつくなりどんどん巻き込んでしまう

この謎を解決するのに登場したのが“密度波理論”(図3)でした。この理論では渦巻き構造は銀河円盤の波のパターンだと考え、星やガスなどの物質が一体となって腕として運動しているわけではない、と考えます。この考えでは渦巻きの腕を形作る星はいつも同じ星ではないのです。星やガスはパターンの腕の部分に入ると他のところにいる時よりもゆっくり動きます。そのため腕の部分では他の部分より多くの星やガスが集まって、渦巻き構造として際立って見えるのです。また、ある時腕の中にいた星が出ていってもまた次の星やガスが入ってくるので、外から見ると渦巻き構造(パターン)がずっと保たれているように見えるのです。この波のパターンが、密度波です。

これは、例えば高速道路の渋滞のようなものです。渋滞のある瞬間に上から見ると、渋滞の所だけ車の密度が高く、その他の場所では車の密度はまばらに見えますね。そして、渋滞は続いてもそれを構成している車はいつも同じではなく、渋滞から抜け出た車もいるし新しく入って来る車もいます。また、渋滞している距離は短くてもそこから出るには時間がかかります。この渋滞している部分が渦巻きの腕と例えられます。この銀河の中の「渋滞」は、古い星が渦巻き状に分布することによって引き起こされます。多くの星があるところでは、その重力に引き寄せられて、そこから離れるのに時間がかかるのです。M51のいろいろな波長での観測は、この密度波理論でとても良く説明できます。古い星の分布を表わず近赤外線の観測でみられる

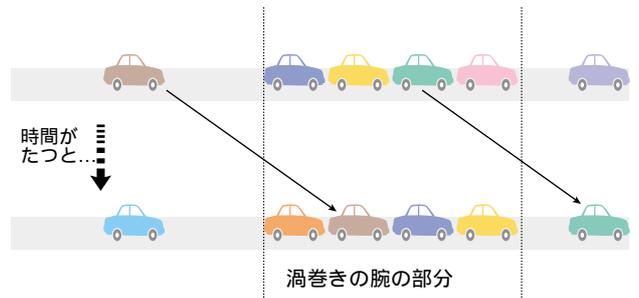


図3：密度波理論を渋滞に例えてみたもの。渋滞している車はいつも同じ車ではなく、時間がたつと別の車が渋滞に巻き込まれている。

腕の部分は実際に星による重力が強いことを示しています。また、密度波を最も良く表わすのはガスの分布で、世界各地の電波望遠鏡によるガスの観測ではガスの渦巻き構造が見られます。

実は、この渦巻きの腕は新しい星がたくさん生まれている場所でもあります。星の材料である分子ガスが、この渦巻き部分に多く集まって（分子雲を作って）いるからです。分子ガスの大部分は水素分子からできていますが、水素分子は現在の電波観測で検出できるような強い光は出していません。そのため、分子ガスの観測は他の分子が出す輝線を使って行われます。M51など系外天体の観測は、一酸化炭素輝線（CO）を使うことが多いのですが、これはCOが比較的多く（それでも水素分子の1万分の1しかありません！）、この輝線が比較的強く観測しやすかったためです。最近では観測装置の向上とともに他の弱い分子の観測も行われるようになり、温度や密度など、より多角的に分子ガスの研究ができるようになりました。

では、どのようにして分子ガスから星が生まれてくるのでしょうか。銀河円盤の中を回転している分子ガスは、渦巻きの腕の部分に入った時、星の作る強い重力によって加速されます。加速された分子ガスの速度は音速を超え、衝撃波が発生し密度が急激に上がります。これを銀河衝撃波と呼びますが、光で見た画像では腕の少し内側の暗い部分（ダストレーンまたはダークレーン）に位置しています。星は高い密度の分子ガスから生まれますが、衝撃波で圧縮されてガスの密度が高くなった所では、星が生まれやすくなっています。ここでは太陽の10倍以上質量の大きい青くて若い星であるOB型星が進化して輝き出し、周りのガスを電離<sup>注1</sup>してHII領域と呼ばれる領域を作ります。質量の大きい星は、明るいけれど寿命は短いので、渦巻きの腕から遠く離れることなく死んでいきます。その結果、若い星やHII領域は、分子ガスの渦状腕に沿って並ぶこと

なります（図4）。

HII領域は水素原子の出すH 輝線を観測すれば調べることができます（図1）。M51ではこれらは分子ガスの腕からほんの少しずれて観測されていて、衝撃波によってガスが圧縮されてから星が輝き出すまでに100万年程度時間がかかることがわかりました。古い星の渦状腕は、分子雲や若い星に比べてコントラストが小さいのですが、若い星は明るいので、青い光で撮像した画像でははっきりとした渦状腕が見えています。

もちろん密度波理論にも問題は残っています。例えば、もともとの密度波はどうやって発生したのか？そのパターンは銀河の年齢（数10億年以上）も保ち続けることができるのか？星が生まれるメカニズムに密度波は直接影響するのか？などです。これらの問題を解明するために、今も研究が進められています。

（主任（観測普及研究員） 濤崎 智佳）

注1：電離 中性の原子や分子が電気を帯びた原子、原子団（イオン）や電子に分れること。

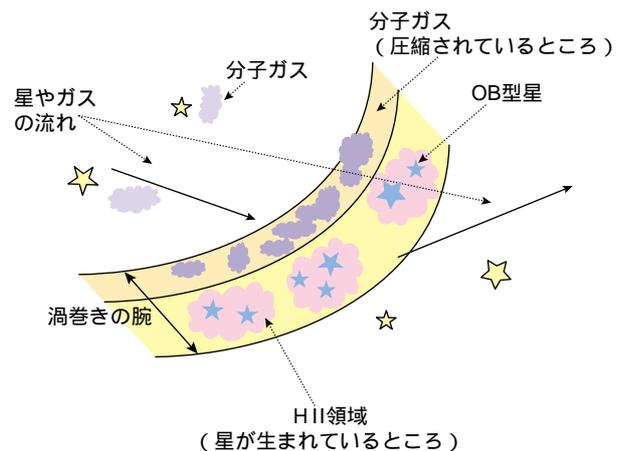


図4: 星やガス、HII領域と腕の位置関係

## 天体観測はじめての一步

### ～ 光電測光器 ～

光の強さを測る

現代の天文学では、星の温度や星までの距離などさまざまな量を観測から求め、星の進化や宇宙の年齢など多様な現象を議論しています。しかし、ただ星空を眺めるだけではこうしたことは分かりません。観測により直接手に入れられる情報は、天体の方向、天体か

らの光の強さ、その波長依存性（スペクトル）、これらの時間的変動などに限られます。こうした情報を定量的に記録し、数学・物理学・化学の知識に基づく理論と組み合わせることで、はじめて天体の様々な物理量が分かるのです。

## 光電子増倍管

光電測光器（図1）とは天体からの光の強さを測る装置で、光電子増倍管を用いて「天体からの光の量」を電流に変換することにより計測を行います。光電子増倍管は高感度、高速応答可能な光検出器です。これは、光を電子に変換する光電面（陰極）、電流を増幅するための複数の電極、電子を集める陽極を真空の容器に収めたもので、陽極と陰極の間に高電圧をかけて使用します（図2）。光が光電面に入射すると、光電面から真空中に電子が放出されます（光電効果）。その電子は電極に電圧がかかっているために加速され、電極に衝突して多数の二次電子を放出します。この二次電子はまた加速され、次の電極でさらに多数の電子を放出させます。こうして増倍された電子は最後に陽極で集収され、外部の電気回路へパルス状の電流となって送り出されます。光電子増倍管にかける電圧や温度を一定にしておけば、この出力電流に含まれる電子の量は、光電面に入射する光の量（光子の数）に比例します。したがって、この電子の量を測ることで入射する光の量を測ることができるのです。ただし、光の波長により、光電子増倍管の感度は異なります。特に、特定の波長より波長が長い光に対しては、光電面で光電効果が起きないため、全く感度がありません。また、光電面の感度や電流の増幅率は温度や電圧に依存するので、光電子増倍管に加える電圧や温度を一定に保たなくてはなりません。特に温度については、暗電流（光電面に光が当たらなくても流れる電流）を減らす目的で、光電子増倍管を冷却して用いることが多いようです。

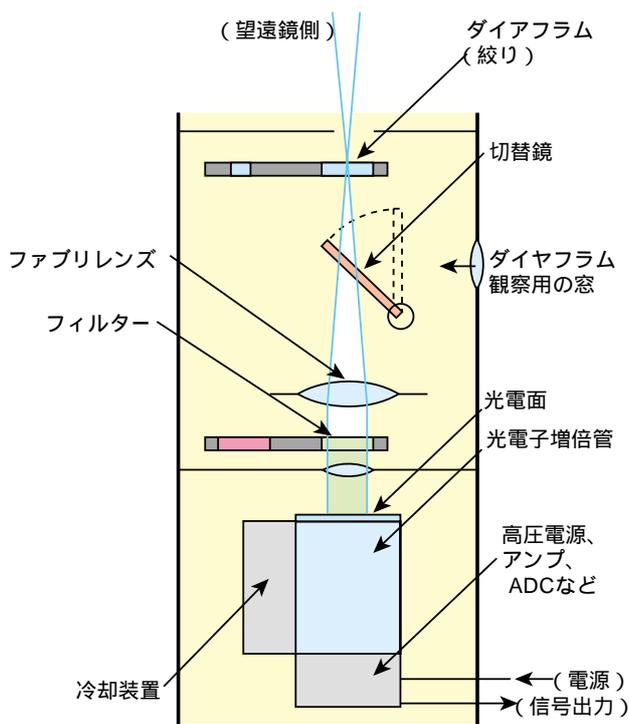


図1: 光電測光器の構造

## 光学系

図1に示すように望遠鏡の焦点位置には、ダイアフラム（絞り）と呼ばれる小さな穴があり、この穴を通った光だけが光電子増倍管によって検出されます。ダイアフラムに目標の天体が入っているかどうかは、切替鏡を倒しダイアフラム観察用の窓から確認します。恒星を測光する場合、空気のゆらぎによる星像の広がり（シーイング）の影響を考え、通常はダイアフラムの大きさをシーイングの10倍以上とします。

天体からの光にはさまざまな波長（色）の光が混ざっていますが、天文観測では、こうしたさまざまな波長の光を合わせた強さではなく、特定の波長域における光の強さを求めます。光電測光器には、望遠鏡で集めた光が光電子増倍管に入る前の部分に、特定の波長域の光だけを通すフィルターが備え付けられており、フィルターを交換しながら同じ星を何度も観測します。天文学では、「ジョンソンのシステム」と呼ばれる一連のフィルターがよく用いられます。

光電面には位置による光に対する感度（量子効率）のむらがあるため、光電測光器ではファブリレンズによってダイアフラムを通過した光が光電面全体に均等に広がるよう工夫されています。

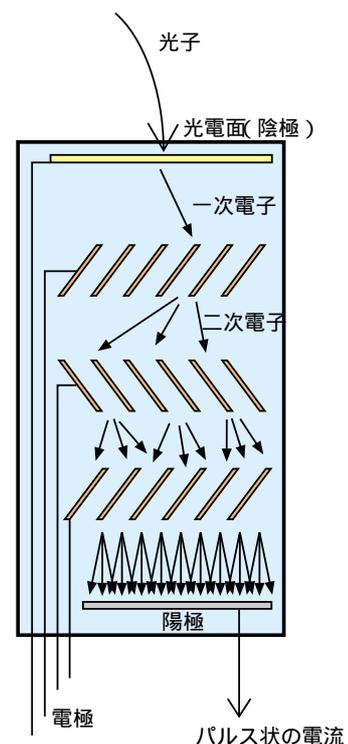


図2: 光電子増倍管のしくみ

## 電気計測系

陽極から出る電流の計測方法には、この電流の量を読み取る直流方式（アナログ方式）と、光子によって生じるパルスの数をカウントする光子計数方式（デジタル方式）とがあります。直流方式では出力電圧をペンレコーダーで記録することもできますが、データの整約がしやすいようA/Dコンバーターを通して結果をデジタル化することもあります。光子計数方式では暗電流などのノイズ（雑音）を計数しないよう、小さいパルスは数えないようにします。ぐんま天文台の光電測光器は、直流方式を採用しています。

## 観測と整約

光電測光器の出力から星の明るさの絶対量を測定することは原理的には可能ですが、大気の影響や測光器の感度変化があり、困難です。実際の観測では、明るさを求めたい天体の他に、既に明るさの分かっている星（標準星）も観測し、その結果を比較することにより天体の明るさを求めます。地上から光電測光器で星の明るさを測ると、星の明るさだけでなく空の明るさ

も加わってしまうほか、天頂からの角度によって大気による減光の影響（ステラーライトNo.3の5ページ参照）に差が出てしまいます。光電測光器は一度に一天体しか光の強さを測れないので、ひとつの天体の明るさを調べるために、周囲の空の明るさや、複数個の標準星の明るさも測定する必要があります。

天体の明るさを測るとき、光電測光器ではなくCCDカメラを用いれば、複数個の星や周囲の空の明るさが同時に測れ、視野内に標準星があればそれも同時に観測できるので、たいへん効率の良い観測が可能となります。しかしCCDカメラはデータの読み出しに時間がかかるため、明るさの変動の激しい星を観測する場合（たとえば1秒毎に明るさを測る場合）は光電測光器を使うしかありません。また、少し前までは青～紫外の波長域に感度の良いCCDカメラがなかったため、この波長域で観測する場合も光電測光器の方が優れていました。最近はCCDカメラが普及してきたため、光電測光器が使われることは少なくなってきています。

（観測普及研究員 大林 均）

# 平成12年度観測研究講座レポート

## 観測研究講座について

最近、東京大学木曾観測所（銀河学校）、国立天文台三鷹（『君が天文学者になる3日間』）、野辺山宇宙電波観測所などの研究機関においても、大学生や高校生を対象にした観測体験教室が開催されています。ぐんま天文台では、公開天文台であるとともに観測研究活動を行う施設として「本物の体験」を趣旨としており、その一環として基本技術の習得と研究の体験を目的とした「観測研究講座」を平成12年度に初めて開催しまし

た。今回の参加条件及び参加者等は次のとおりでした。

内 容：測光観測及びデータ解析

参加条件：CCD装置を使った撮像経験があること、  
全日程参加可能であること。

日 程：2000年11月初旬から2001年2月末の間の  
土日に1泊2日を4回。

参 加 者：東京の会社員（中井辰治さん）と群馬県の  
教員（百海正明さん）の2名。

## 宝探しの準備

基本技術の習得ということで測定方法はやはり「星の測光」にせざるをえませんでした。ぐんまの観測条件（特にシーイング）を考慮して球状星団ではなく散開星団をターゲットとしました。とはいえ、散開星団の最初のカタログは1930年には完成しており、そのカタログに含まれる散開星団の測光も進んでいました。研究体験ということから何らかの新しさが要求されることもあり、課題の設定は難航しました。散開星団は大概が若く（ここでは年齢が10億年以下と考えます）、一方の球状星団は年齢が100億年以上で銀河初期に生まれており、これらを調べてもその間の時期の星（団）形成や星の組成の変化（化学進化）についてはわかりま

せんが、10億年以上の古い散開星団を調べることでそれが可能になります（詳細はステラーライトNo.3天体列伝参照）。年齢を推定するなら色等級図を書いて主系列（軽い星の系列）と赤色巨星列（重たい星の系列）を調べてみればよく、講座では古い星団を探すことにしました。

古い星団ということで寿命の短い明るい星が少なそうな星団を選び出し、準備観測に入ったのは秋雨前線がようやく去った11月になってからでした。65cmという小口径の望遠鏡に空冷カメラということで心配の種は尽きませんでした。観測が進んでくると、安心する材料も出て来ました。シーイングは思ったよりも良く、パロマーチャートではくっついてみえた星同

士も意外と分かれて見えました(星と星が分離できないと測光が途端に難しくなるのです)。また、ある程度距離が遠い星団なのでしょうか、選んだ星団は思ったよりこじんまりしていて、カメラの5分角と言う狭い視野でも入ってしまいました。

### 初回

初回は65cm望遠鏡に光電子増倍管(『天体観測はじめの一步』参照)を使い、星の明るさ、大気吸収、それに夜空の明るさを測定しました。光電子増倍管では夜空と星の明るさを交互に測りますが、光電子増倍管のテレビ画面は雑音が多く、暗い星を見つけて追いつけるのは大変でしたが職員の倉林の活躍で乗り切ることができました。ステラーライトNo.3の朧山氏の記事にあるような方法で光電子増倍管で得られるカウントが何等(明るさ)に対応するかを計算すれば、星の明るさも夜空の明るさも測定できる寸法です。終ってみれば標準星どうしの明るさのばらつきが0.5%以内の完璧な測光夜でした。また、図1に夜空の明るさを示しましたが、天頂でV等級で約19.5等でした。実は夜空の明るさの直接測定値はこれが初めてでしたが、相当暗い水準でした。地元の方々の夜空を守ることへの理解と協力に感謝いたします。

### CCDの観測 --- 2回目

65cm望遠鏡にCCDカメラをつけて観測しました。講座で観測した星団は、若くて明るい星が少ない星団を選んでるので、見た目では暗いうえに星団の集中度も低く、派手さはありません。しかし、参加者の中井さんはその中でも地味な星団を選んで来ました。確かに古い星団にもそういう星団はあるので、ではやってみましょうということになりました。この頃はこういう結末になるのか誰にもわかっていませんでした。

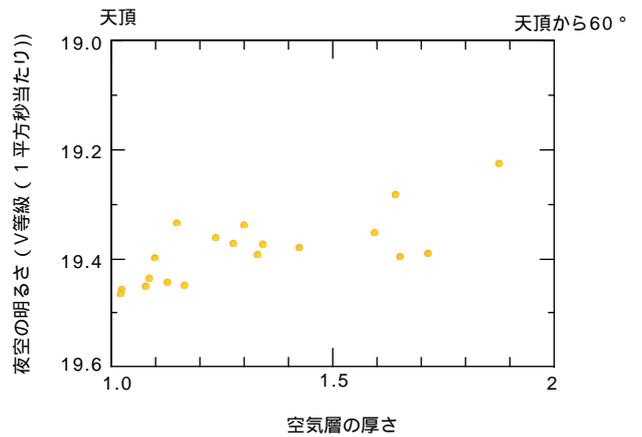


図1：光電測光器で観測した夜空の明るさ(縦軸)を天頂からの距離に対してプロットしたものの。

その時は突然やって来た --- 3、4回目

色等級図が出来る瞬間が成否の分かれ目です。色等級図を見た瞬間に、星団の主系列が鮮明に見えるほど星の数が十分あるのか、背景の星の混ざりがどのくらいか、赤色巨星のかたまりがあるのか、赤色巨星列が見えるのか、全てが分かってしまうのです。星団の顔写真から一番期待していた星団はBiurakan 7でした。ただ準備観測のときから、あまり赤い巨星がないような気がしていました。そして最初に出て来た色等級図が図2です。主系列も赤色巨星も見えないなんともしまらない色等級図になってしまいました。

これにはさすがに参りましたが、気を取り直して、別のDAOphotと呼ばれる測光ソフトを使ってみました。これは星が重なってみえても分離して測光できるソフトで、星団の測光ではよく使われるものです(相手が星でないといけないので銀河などの測定には使えません)。講座でやるのは大変なのは重々承知していました

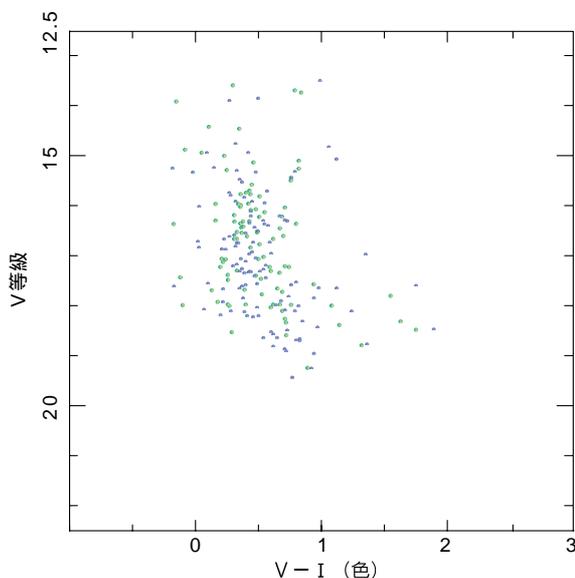


図2：星団Biurakan 7について最初に得られた色等級図。一つ一つの点が生に対応し、横軸が星の色(左が青、右が赤に対応) 縦軸が等級を表します。

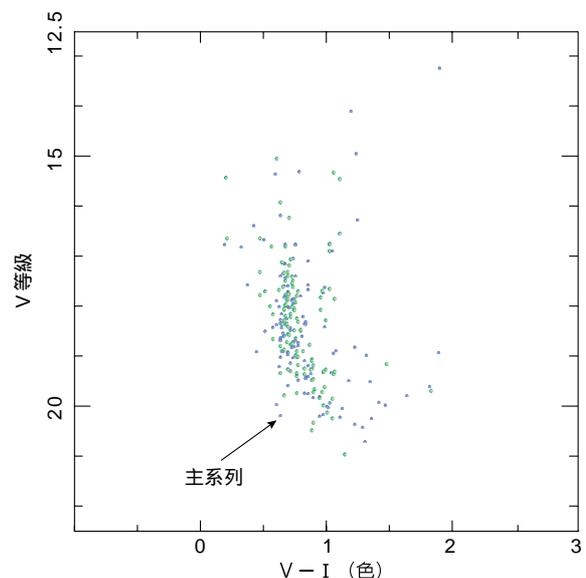


図3：DAOphotを用いて得られた星団Biurakan7の色等級図。主系列(中央下)が鮮明に見えるようになりました。

が、解析結果に本質的な違いが生じるなら観測研究の体験を目的としている以上、妥協しないことにしました。その色等級図が図3で、主系列が鮮明に見えて来ましたが、測光としてはほぼ最善を尽くしても赤色巨星列がよく見えません。講座当日はもう一つの星団で色等級図を書いてみましたが、百海さんも口数が少なくなって目を回している様子がわかりました。その甲斐もあってか、今度の色等級図にはさらに鮮明な主系列が出て来ましたが、まだ赤色巨星列は見えませんでした。偶然ぐんま天文台に来台中のポツシャ天文台のハキムさんが、『いやー、きれいに主系列が見えているんじゃないですかね』とは言ってくれましたが、もう一星団(図4)を職員の大林のサポートで参加者に自分で測定してもらうことにしました。測光を終わり疲れ気味の中井さんを横目に私も半分無我の境地で色等級図を書くプログラムを動かしてみたところ、ついに、赤色巨星のかたまりが出てきたのでした(図5)。主系列の上端の等級と赤色巨星のかたまりの等級のちがいがから20億年程度の星団と推定されますが、星団形成について何か言うためには、少なくとも10星団程度はこの

ような年齢の星団が必要です。まだまだ先は長いといえます。

今回は、いろいろな好運があつてなんとかありました。最後までたどり着けたのは少人数の参加者を効率よくサポートできたこともあります。またこの程度の観測や解析を行うにも、いろいろな環境(勤務や機材等)の調整が必要でした。論文として仕上げるにはまだ多くの作業を必要としますし、新しい観測課題を見つけるには、集中できる時間が必要です。この講座が今後の天文台の観測研究の一つの契機なれば幸いです。

平成13年度版観測研究講座にむけて

平成12年度の講座を終えてみると、講座の名称の与える印象や参加者募集の方法、さらに講座内容や参加条件、期間設定について問題点が見えてきました。平成13年度はこれらの点も再考し、分光観測を含め複数のコースを準備して開催する予定です。

(主任(観測普及研究員) 長谷川 隆 )

\* 画像は著者撮影 \*



図4：最後に測光した星団の3色合成画像。星の集中度は低いのですが、中央部分が星団の中心部分です。微妙に星の色が違うのがわかります。色等級図ではこの微妙な色のちがいを横軸に数値化して表現しています。

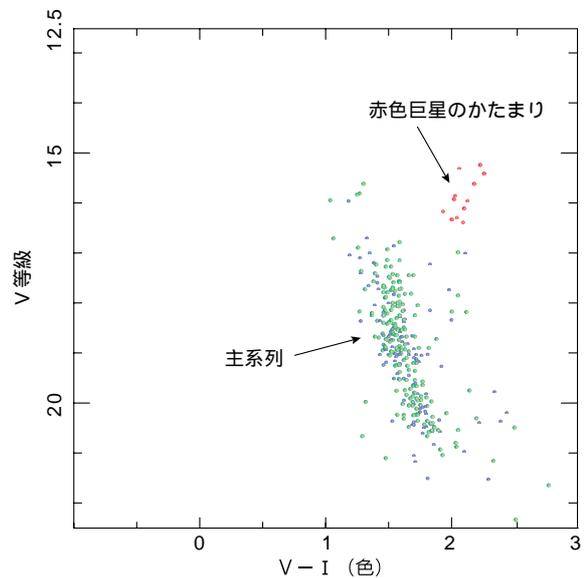


図5：図4の星団の色等級図。左の画像の星で青い星ほど左、赤い星ほど右に記されています。主系列(中央下)に対し右上が赤色巨星のかたまりで、その主系列上端に対する位置から星団の年齢が約20億年と推定されます。

天文学者たちは星ぼしまでの距離や重さ、年齢、はては宇宙の大きさや将来までもよくわかるものだと不思議に思うのは私だけではないでしょう。しかも彼らはつぎのような、星ぼしからのわずかな手紙を解読することで宇宙を理解してきたのです。1) 星と星の間隔(角度)を測る、2) 星の明るさを測る、3) 星の色を測る(分光観測など)、4) これらが時間的にどのような変化するかを測る。今回、私はぐんま天文台の観測研究講座に参加して星の明るさを測るということを実体験してきました。

銀河の中での星形成の歴史を調べるためにはよく星団が使われます。球状星団(できた時期が古い)を調べると銀河の昔の様子が、散開星団(若いものが多い)では最近の様子がわかります。散開星団のなかには古い(球状星団よりは新しい)ものもあり、これを調べることで銀河の歴史の中間部分についての理解を深めることができます。今回は65cmの望遠鏡、光電測光器とCCDカメラを使って、古い散開星団を見つける(年齢を算出する)ことをめざして星の明るさを実際に測りました。

観測では、カメラのノイズや光学系の不均一性による誤差をダークやフラットで補正するのはもちろんのこと、視

野をずらして何度も画像をとって後でまたそれを重ねるように位置合わせしなおし、星の高度によって異なる大気の厚さを考慮し、フィルターの誤差を基準星の撮像で補正するなど、“一枚の”写真を撮るために何時間もかけ何十枚も撮影する必要がありました。また、その後のデータ処理では、とにかく誤差をきちんと見積もり、誤差の原因を突き止め、少なくする工夫をするということに大変な努力が払われました。運がよかったのか、古そうな散開星団を見つけることができたようですが、正確な年齢の算出はこのあとの課題となりました。

講座では観測のほかに星の進化についての講義や観測機材の技術的問題点や限界、HR図の見方について3人の先生方からていねいに説明をうけ、とてもよい勉強になりました。今後のボランティア活動やアマチュア天文活動にぜひとも役立てたいと思います。

こんな小さな観測のひとつで解ける宇宙ではありませんが、確かなデータの集大成が明日の天文学の新たな一歩になるような気がして、気分はまさに“サラリーマンが天文学者となった8日間”でした。ありがとうございました。

## ボランティアの声

天文台ボランティア 永井 淳

ボランティア募集は昨夏、天文台のホームページで知りました。天文台は自宅から車で1時間ほどかかり近くはありません。定期的に出かけられるか不安はありました。でもさまざまな人と話をしてみたい、部活動で地学部をやっていた私にとって社会人になって遠ざかっていた天文に関われるよい機会であると思い、応募しました。そして展示説明の実習を重ねて正式にボランティア登録しました。ぐんま天文台の魅力は、本物の星を自分の目で見るができることです。何万年、何億年も前の星の光を見ることができるのです。こんなすばらしい天文台の活動の一部に関わることができるのはとてもうれしいことです。

ボランティアは昼間の展示説明と夜間の観望会の補助に分かれます。私は主に夜間に出かけています。週末は望遠鏡の前に長蛇の列となります。私の活動は望遠鏡を操作するスタッフに列の長さを知らせ、列に並んでいる人には待ち時間や対象天体を知らせることです。その混雑も閉館時間近くになると人がぐっと少なくなります。そうするとスタッフの方と天文に関する話を過ごします。

私は太陽系の惑星を写真ではなく、この目ですべて見たいという夢があります。小望遠鏡や眼視で水星から土星ま

では容易に見ることができます。しかし土星以遠の惑星は等級が暗く見ることは難しいのです。それに観望に適する時期もあります。そして昨秋なんと天王星を見ることができました。ただの光の点ではなく形は円盤状、色まではっきり見ることができました。残りは海王星と冥王星です。スタッフの話では冥王星は本当に光の点らしいですが、それでも見たいです。もちろん、時間に余裕があるときに限られますが。しかし、平日は仕事でももちろん無理、休日は家族サービスがあるために個人的には月に一度程度しかボランティアに行けません。でも自分のペースを守って長くこの活動ができるようにしていくつもりです。

最後にボランティアには何でも聞いてほしいと思います。私自身は勉強不足で最新の天文現象を理解していないこともあり、できるだけ天文雑誌や天文に関する書籍に目を通す機会を積極的に増やす努力が必要だと感じています。ボランティアが答えられない内容は天文台の職員に回答してもらうことができます。もっと誰にでも親しまれる天文台になるように手助けができればと思っています。

# 天 界 四 季 新 冬

## 観望会

ようやく冬が終わり、春から夏へと暖くなり夜間の一般観望も楽になってきました。空の方はといえば、4月から7月ごろにかけては、次のような天体が見頃となっています。特に、火星は2年2ヶ月ぶりの地球接近とあって期待したいところですが、一般観望の時間に見ることができるのは7月以降になりそうです。

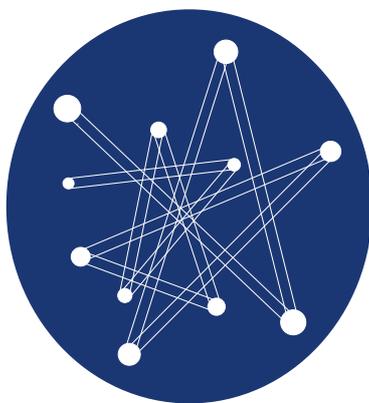
- ・ 火星（7月以降がおすすめ）
- ・ 二重星（かに座 星、しし座 星、うしかい座 星、はくちょう座アルビレオ）
- ・ 球状星団（りょうけん座、ヘラクレス座など）
- ・ M57（リング状星雲（こと座））、7月以降がおすすめ、M27（垂鈴状星雲（こぎつね座））
- ・ M51（子持ち銀河（りょうけん座））、M104（ソンプレロ銀河（おとめ座））、M81、M82（ともにおおぐま座）などの系外銀河

## 望遠鏡操作講習会

今年度の望遠鏡操作講習会の日程が決まりました。受付は、各回1日目の1ヶ月前からとなっています。詳しくは、天文台までお問い合わせ下さい（ホームページにも情報が掲載されています）。

第2回	1日目	平成13年 7月 4日（水）	第5回	1日目	平成14年 1月12日（土）
	2日目	平成13年 7月 5日（木）		2日目	平成14年 1月13日（日）
第3回	1日目	平成13年 9月26日（水）	第6回	1日目	平成14年 3月 2日（土）
	2日目	平成13年 9月27日（木）		2日目	平成14年 3月 3日（日）
第4回	1日目	平成13年11月28日（水）			
	2日目	平成13年11月29日（木）			

ゴールデンウィーク期間中（4月28日～5月6日）は、休まず開館します（晴れば天体観望も行います）。



GUNMA ASTRONOMICAL OBSERVATORY

県立ぐんま天文台

発行日：2001年4月

発行：県立ぐんま天文台

電話：0279-70-5300 FAX：0279-70-5544

所在地：群馬県吾妻郡高山村中山6860-86

電子メールアドレス：gao@astron.pref.gunma.jp

ホームページ <http://www.astron.pref.gunma.jp/>

## 表紙説明：超新星残骸「かに星雲（M1）」

おうし座の「かに星雲」は1054年に起きた重い星の超新星爆発の名残です。左上の画像は12月4日に65cm望遠鏡で可視CCDカメラに赤の連続光だけを通すRバンドフィルターをつけて撮像しました。また右下の画像は、酸素、水素、窒素原子の出す光（輝線）のみを通す狭帯域フィルターをつけて撮像し、それぞれ青、緑、赤の疑似カラーで合成したものです。Rバンドの画像には楕円の形状（佐渡島の形ともいわれます）と細長いフィラメントが見られる一方、狭帯域フィルターの画像ではフィラメントが顕著になっています（場所の対応を確かめて見て下さい）。楕円の形状は連続光（シンクロトロン輻射）によって、また、フィラメントは輝線（電離ガス）によって光っているのです。星雲の周りの空間の密度は星雲の密度より低いので、星雲は爆発以後今なお秒速1000kmで広がりがつづけています。有名な夏の網状星雲（はくちょう座ループ）も超新星残骸ですが、連続光で撮像してもフィラメントしか見られず、かに星雲のような楕円形状が見られません。超新星残骸の形態は超新星爆発の種類や爆発からの経過時間等によって4通りに分類されており、かに星雲と網状星雲は別の種類に分類されています。