

かに星雲ものがたり

—天体物理のうちでのこづち—

横 尾 広 光*

1. おうし座に

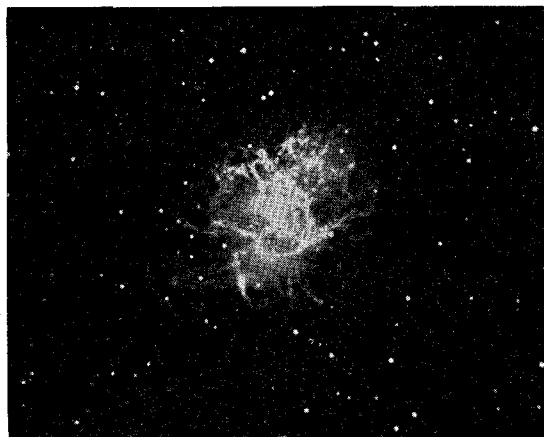
1758年8月28日あげがた、フランスのメシエはハレーの計算・予言した彗星の第1回目の回帰を発見しようとして、おうしの角のあたりを望遠鏡で探していた。彼はそこに彗星のかわりに、何かまぎらわしい天体を見つけだした。

おうしの南の角のうえに星のちかく、白っぽい光、ろうそくの光のように延びた形、星ふくまず。

これが“M1”となづけられた、わがかに星雲の登場である。等級8.6等のこの星雲は冬の天の川にあり（銀緯 -6° ）、かつ黄道のすぐそばに位置している。メシエはルイ15世の“彗星狩り出し人”であったが、そのちも彗星狩りのかたわらまぎらわしい天体を記録していった。1771年に発表された第1回目のその目録（M目録）のこの第1番に、彼は“1731年ごろペビスが見た”と註をくわえている。したがって、かに星雲の第1発見者はイギリスの開業医であったアマチュア天文学者、ペビスとせねばならぬ。この星雲を“かに”の形に見たのは、大金属反射望遠鏡を製作し、星雲のうずまきを発見したので有名なイギリスのロッセ卿であり、1848年のことであった。もっともその4年前には“南京虫のようだ”と記述している。ロッセ以後どういうわけかこの“かに”の名が広く流布されるのであり、“かに座（Cancer）のかに星雲（Crab）”などと言う人もでてくるわけである。しかし眼視と写真とでは形がちがってみえる。

2. 平安時代に出現した新星

1921年は画期的な年となってもよかったはずだ。ランブランドはこの年にかに星雲には変化が存在することを報告し、ウィルソン山150cm反射で11.5年へだてて撮られた乾板をつかってダンカンがそれを測った。星雲は膨張しているのだ。（数値を最小自乗法でだしてみると、逆算した膨張の開始点は1172年という値がでる）。また、この年スウェーデンのルンドマルクは中国古記録による新星リストを発表している。そのNo. 36をみると“1054年8月4日、 η Tau ちかくに6ヵ月出現”とある。そして注意を加えていわく“NGC 1952にちかい”。M1は



第1図 岡山188cmでとった赤色フィルターによる写真

NGC番号では1952番である。しかし何事もおきなかった。サイエンティフィック・アニマルというわけでもないけど、その7年後の1928年に、あのハッブルは、星雲から何事かをカギ出してくる特異な才能をもったハッブルは、大きさと膨張率からみて爆発は900年むかしであることを言い、そしてルンドマルクを引用した。しかしせっかくのこの靈感にみちに推測に対して反応はなかった。報告がのったのは太平洋天文学会の「リーフレット」誌上で、この雑誌は主としてアマチュアが読んだものであるため、プロの間にはほとんど注意をひかなかったのである。

事をはっきりさせたのは1937年のリック天文台でのダンカンの研究である。スペクトルでわかった1,000 km/秒という速度と、直接写真でわかる膨張のふたつから距離がわかる。それは5,000光年である。この速さと、中国古記録をあわせて考えると、これは並の新星では無理のようだ。ルンドマルクという人は天文文献にかけては百科全書の知識をもつ学者であったが、彼はこれが超新星である可能性を指摘しただけでなく、雑誌 Popular Astronomyの1934年（昭和9年、日本天文史料の刊行は昭和10年である。なお、この雑誌は今も廃刊になっている）にIba-Yasuakaによって報告されていた日本の記録を引用した（ダンカンの翌年、藤原定家の1230年のある日の日記には客星出現例として、

客星天関星（ ζ Tau）に宇（はい）す。大さ歳星（木星）

* 東京大学理学部天文学教室
Hiromitsu Yokoo: A Story of Crab Nebula

の如し。
 ということが1054年の5～6月にあったと記されており、ここには光度の記録があった。ルンドマルクのいうようにこれは等級の点からみても超新星であり、これもシリウスの距離にあらわれたとするときつと満月よりも明るくかがやいたことであろう。こうして“超新星のなごり”としてかに星雲はいちやくスターとなっていたへんな興味をまきおこした。翌年1939年、オールドはオランダのライデン大学の同僚たるドゥイベンダク（東洋学の大先生）に詳しい調査をすすめた。数ヶ月の調査ののち1054年のこの“客星”の記録が集った。そのときのオランダはドイツ軍に侵略されて占領下で、通信はとまっている有様だったが、とにかくオールドはその新データをスウェーデンにいたメヨールにおくることに成功し、そして発表出版されたのである。なお中国、日本がいには記録は残っていないようである。中国では、彗星新星オーロラなど天界におきる異変についてはこれは“天命を知る”というわけで、重要視されて国家の業務として遂行され、正史にも書き残されているのである。11世紀のヨーロッパといえばまさに中世“暗黒時代”のまっさいちゅうであった。アラビア文明圏ではなぜか（まだ）みつかっていない。

さて、1942年この新データを得たバーデとミンコフスキーはただちにウィルソン山の2.5mによってかに星雲の詳細な研究をはじめた。このときはまだ戦時中であり5m製作は中絶したままの状態であった。写真に星雲のすがたを再録しておこう。かに星雲を赤色フィルターでうつすとそのフィラメント（せんい）状のありさまがよくわかる。これは水素原子の出す光が、背景となる全体にひろがった光と際立っているからである。時代はあとになるが、パロマー5mなどによるこういった写真乾板を、オランダに当時いた若きウォルチエが詳しく解析して40ページの大論文を1957年に書いているのは有名な話である。

3. 超新星のなごり

ここに超新星という言葉がでてきたが、眼でみるぶんには新しい星が現われて消えていくものとしても、新星と超新星ではたいへんちがう。新星現象の方は、さいきんはX線新星もよく出るが、巨星と白色わい星でつくる近接連星がおこす“いたずら”ていどのもの、いたずらの度が過ぎたものと考えていいのだらうけど、超新星爆発というのは星の一生をかけた深刻な問題である。星はその死にぎわに派手な爆発をやってみせる（場合もある）といわれている。星の一生のたまりたまった矛盾は破局にいたって、星の中心部は極度に圧縮されて超高密度の巨大な原子核のようなものになってしまい、外側は飛び

散っていく。というより、“中性子星”といわれるこの直径10kmのかたまりの犠牲をつくるからこそ、星はまた星間物質にもどることができるというように言った方がいいだろうか。こうした星の進化論の研究、星の進化を計算機でシミュレートしていくというのは日本のお家芸でもあるが、目下その“死にぎわ”の段階が盛んに追求されている。しかし一生かけてたまりにたまった矛盾が数秒間で一挙にふきだすというむつかしい進化の段階だ。

実はここに紹介した“中性子星”なる星は古く1930年代にすでにアカデミックなものとして登場してきているのであり、ランダウの統計物理の教科書にもでていて物理の学生にも親しいものであった。これを超新星現象と結びつけて、リアルなものとしてとらえたのは観測家のツビッキーであった。ツビッキーは5mができるまえからパロマー山にのぼってシュミットカメラで他の銀河に出現する超新星のパトロールを続行した天文学者であるが、彼によれば超新星はIからVまでの5つに分類される。よくI型超新星、III型超新星という2つが取りあげられている——問題になるのはかに星雲はI型の結果であるか、II型の産物であるかということであるが、ものの本にはよくI型として記述されているのである。しかし本当はII型の方がよいらしいので注意しておく。

ともあれ、第2次世界大戦ごろまでに、こういう曰く因縁のある超新星の爆発のなごりが、今かに星雲として見えているということは確立した。そうして、現代天体物理学の大波のおしよせるような進撃をまち受けるのである。

4. 電波星の同定ナンバーワン

第2次世界大戦はおわって、新顔の電波天文学が非常ないきおいでの上ってきた。電波で探った天空にはへんなものがいっぱいあった。点源の電波源があるいは白鳥座に、あるいはおうし座に、あるいはカシオペア座に……みつかった。いったいこれの正体は何であるか？ どうして電波を出しているか？

このチミモリーの世界の戸籍調べに初名乗りをあげたのは1950年、おうし座電波源 Tau A である。電波を出しているその場所には、わが“かに”が住んでいた！ 超新星残存物はかくして電波天文学の始まりのときから大切な電波源としてちゃんと登録されることとなり古記録にのこる超新星出現と、いま電波でわかる残存物とのてらしあわせが進行した。1572年のチコの新星。1604年のケプラーの新星。……ひきつづいて白鳥座の電波星のところにみつかった奇怪な形をした星雲は、いつとき“衝突する銀河”という解釈が流行流布したのであるが、もちろん、爆発する銀河をわざわざそのように

考える理由はない。

かに星雲は光も電波も放射していることがわかったが一体どういう仕組みでその電磁波は出てくるのか、これは簡単な問題ではなかったが、ソ連のシュクロフスキーは次のような仕組みを考えた。星雲の中をとびまわっている高速の電子は磁力線にまきついて円運動をしてしまう、そのためブレーキがかかってエネルギーを電磁波として放出してしまう、と彼は予言する。こうして出てくる光の本性上“かに星雲の光はつよく偏光しているはずだ”この予言は、ただちにアルメニア共和国ビュラカン天文台の望遠鏡（とくべつ大型機械というわけでないのがおもしろい）で偏光が確認、研究されたことによってたしかめられた。この放射の仕組みをシンクロトロン放射とよんでいるが、このたいへん重要な放射機構の誕生も“かに”のめぐみを受けていることになる。

5. 息を吐くかに

このシンクロトロン放射というのは実に能率よくエネルギーを放射に変えてくれる機械であるが、逆にいうとせつかくの高速の電子もすぐくたばってしまうということだから、爆発はもう900年も昔のことだから、今もつねに新鮮な電子を供給しつづける必要がある。そんなことはできるのか。またバーデは非常に興味ぶかいことをすでに2.5mでみつけていた。かに星雲の中心から“リップル”つまりさざ波がひろがっていくことがあるのだ。ときどき思いだしたように（このリップルの発生と、後にのべるパルサーのスピンアップと相関があるかどうかは知らないが）かにが息を吐きだすのだとおもえばいい。このリップルの速さは光速の10分の1に達するが、波の正体はアルフベン波とよばれるものであると、いい。電気伝導のよいプラズマ中では、磁力線には物質が“凍りついて”いるため、ゴムひもの振動のように波動が伝わっていくことができるのだ。そして偏光で詳しくわかるように磁場はもちろんある。

かに星雲はいまも活動している。

その活動源の中心をみると5秒角はなれた2つの16等星があり、その一方こそ活動性の根源である。（もう一方の星は固有運動からみて無関係であるらしい）。この星の正体は、超新星のあと900年たったいまもエネルギーを出しつづけているとは、この星は何物であろうか。

ミンコフスキーはこの星の観測で、半径は太陽の1/50、明るさは太陽の 3×10^4 倍、表面温度 5×10^5 Kという数字を示したことがある。

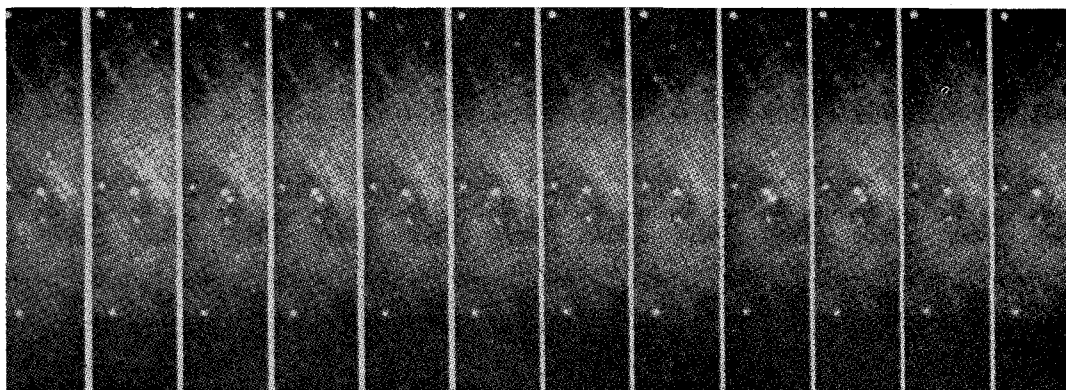
ある人は、超新星カリフォニウム説の流れをくんで、爆発で一挙に合成された放射性元素の形で貯蔵されているエネルギーにそれをもとめた。 Cm^{240} 、 Si^{32} 、 Ar^{39} 、…。考えてみれば、マントル対流だ何だという固体地球の活動源も根本は、過去いつの時にかどこかで出現した超新星のエネルギーがいま作用しているわけであるが。

またいわく、超新星のあとには中性子星が残るが、これに物を落下させるとたいへん大きなエネルギーをとり出せることが作用しているのではないか。しかしあまりたくさん落下させると、こんどは発生した光がその光圧で落下をおしとどめるようになるから年に 1.5×10^{-8} 太陽質量が限度である。そのときの発生エネルギー 10^{38} エルグ/秒は星雲の膨張も、放射も十分説明できる。そのつりあい状態では振動が発生して粒子の加速にもけっこうではないか。

そもそも、宇宙線は宇宙のどこでそんなに高エネルギーをもらうのか、ナゾであった。第一候補は超新星であった。

6. X線星の同定第1号、パルサーの同定第1号

電波天文は光より波長を長い方にのぼってはじまったが、こんどは波長を短かい方にちぢめて1960年代にX線天文学が展開されてきた。もちろんX線をつかまえるには地上に機械をおいて行なうわけにはゆかなくて、ロケットや風船で大気外（と上層）にとびだす必要がある。



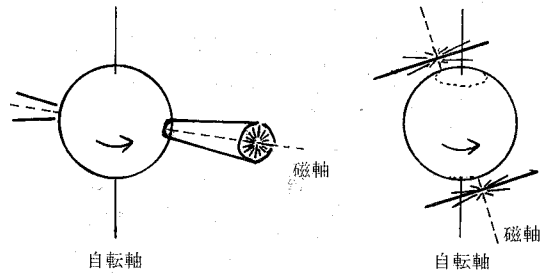
第2図 周期0.033秒で中心星は点滅する。二回極大あり。(Sky and Telescope より)

62年に打ちあげられたロケットは期待どおりまったく予期せぬ強いX線を出す天体を見つけだした(このX線天文学はアメリカのASEという会社、マサチューセッツ工科大学のグループ、日本の宇宙航空研究所や、名古屋大学のグループなどで推進されてきた)。このX線星が光学的天体と同定されたものに星雲がナンバーワンという栄誉をになったのである。1963年4月にアメリカのフリードマンらのロケットは空で二番目につよいX線の到来をかに星雲の方向に観測した。さそり座X-1の10分の1の強さだった。(さそり座X-1は岡山観測所で小田・大沢・寿岳らによって青白い星と同定されたことは読者のみなさんよくごぞんじのことであろう。)

超新星のあとからX線が出てくる——これは実はありそうなことだ。爆発で生まれた中性子星はそのあと冷えていく一方だが、今ごろの冷えかけんでは表面は 10^7 Kの温度だろう。それにしてもこんな高温で黒体放射をすると、それは青白い星なんてものじゃなくてX線の領域になっている。とするとX線を発見したわれわれはついに念願の中性子星を発見したといえるのか。(中性子星の構造や冷却について本誌69年7月号に鶴田幸子さんの記事がある)。しかしその楽観は翌年1964年の七夕の日におきた、月によるかに星雲の“食”というチャンスをとらえて打ち上げられたロケットのおくってくる信号によって簡単に打ち破られてしまった。月が刻々とかに星雲をかくしているから、その強さをみていればX線が“広がり”から出ているか、“点”から出ているかがわかる。X線は“点”から出てはいなかった。

この物語のはじめに、かに星雲は黄道にあることを注意した。そのためにおきる月による食はたいへん結構なことで、電波天文による研究のときにも実は重宝がられたのである。なお、太陽は毎年、太陽半径15~20倍のところがかに星雲をかすめて通過するが、これを使って逆にコロナ磁場を調べることを名古屋大学のグループが鹿島でおこなっている。その使い方もある。

いっぽう電波天文学の活躍はつづき、ひとつの大発見をした。1967年のパルサーである。~1秒という短周期で規則正しく信号を送るのは、あるいは地球外文明の通信か、白色矮星の振動か、中性子星か、このなぞの天体をめぐってオクソクが横行した。1年もたたないうちに、パルサーの大量発見のつづく1968年、かに星雲のところにもパルサーが見つかった。ここでも例の“光学的同定”というやつが、なぞ解きに決定的であるが、かに星雲はまたもやそれをあたえてくれたのである。しかもかに星雲のパルサーの周期はいままでの発見のものにくらべるとたいへん短くて0.033秒。この周期では白色矮星のように図体の大きいものではいくらがんばっても無理である。それに、なにしろ超新星残存物中にあるのだから



第3図 パルスの幾何学的構造。自転する中性子星の磁力線にそってシンクロトロン放射が出るのなら左。菊形は偏光角。(黒体放射かも知れない?)。磁力線に垂直な面に出るなら右、偏光角は媒質の特殊性を期待。

まさに中性子星どんぴしゃり。

ともあれ光ではパルスしているかどうか知りたくなるのが人情で、ただちに望遠鏡がかに星雲のもんだいの中心星にむけられた。最初にやったのは、堂平と同じ口径だがアメリカはシュワード天文台の90cm望遠鏡で、電波でしれている周期にあわせて光電管で光が蓄積されていた。O.K. この星は光でもみごとなパルサーであった。写真を付けておいたから変光ぶりを見て下さい(第2図参照)。実はこのあと同定第2号はまだみつかっていない。

X線ではパルスしているか? さっそく競争のようにしてロケットが打ちあげられ、あらためてかに星雲のX線が調べられた。69年4・5月のことであるが、よく調べてみると全体のX線の10%はみごとなパルスをしていたのである。

γ線ではパルスしているか。そもそも天空からくるγ線を発見するという事は、波長を右に左にのぼしていくというプリンシプルからいっても誰もがねらっていたことであつた。あてもなく線源を探すより、パルスするγ線のありなしをテストする方が希望のある仕事である。ロケット観測の結果はやはり、γ線の検出に成功している。

7. パルサーと中性子星

こうしてパルサーの正体は、かに星雲中にパルサー発見という事実によってばくろされた。逆にいえば、中性子星はこうしてはじめてかに星雲の中に発見されたのである。しかし今まで中性子星を“観測”してなかったわけではない。まえにも紹介したように、この16等星(実は均らした等級だったが)はあやしいあやしいと言われて、研究されてきた星なのだから。

この星はどうしてエネルギー供給源たりえるのであるかという解答もどうやら出たようだ。パルスの周期が少しずつ、しかし着実に、のびていくことが今観測され

ている。それによる中性子星の自転エネルギーの放出はお釣りがくるくらい十分である。かにパルサーの短い周期ということも、生まれてまだ900年しかたっていないという若々しさのためである。

強い磁場をもつ中性子星が自転している。まわりにプラズマがあるからということもあって、その自転にはブレーキがかかり、また粒子を加速して、星の磁場でもシンクロトロン放射で光を出すことも、星雲のなかに拡散して行ってそこで電磁波を出させることもするだろう。たいへんもっともらしい話であり、パルサー＝中性子星の発見でこの“かに星雲物語”にも大団円にちかづいてきたのかも知れない。

かに星雲、すなわちM1、すなわちNGC 1952、すなわちSN 1054、すなわちTau A、すなわちTau X-1、すなわちNP 0532、あたかも打ち出の小槌のように、このかに星雲はひと振りごとに現代天体物理学、いうところの相対性天体物理学、のナゾと、そして解答を産み出しつづけてくれた。この名前の列はまだまだ続きがあるのか。

物性天文学の展開、磁気圏物理学の展開（応用？）と

いったことはこれからたしかにあるだろう。

8. いま超新星が出現したらどうするか

かに星雲の百年後にあいついで出現したチョコ・プラーへの新星とケプラーの新星というふたつの天界異変は、永久不変の天界というドグマに違反して、その世界観をつきくずす大きなショックとなることができた。

そのあと何100年も超新星が出てこないけど、もうそろそろ——という気がする。超新星が出現したとすると、世界中はチョコやケプラー以上の熱心さで観測することはまちがいない。しかも一瞬をあらそうはやさで観測体制をとらねばならぬ。いや、発見と同時にr線や、超超高エネルギー粒子が大气にふりそそぐのかな。思考実験の材料としておもしろい。

いや、その爆発はすでに発生している。たとえばかに星雲をみよ。距離5,000光年ということは、すでにすべての事柄は完了しつつしているということだ。膨張のため3,000年にはもう光らなくなっているというけど、それももう完了。（カゲの声“同時刻”の定義は何だった？）

好評増刷発売中

火星

——観測と研究——

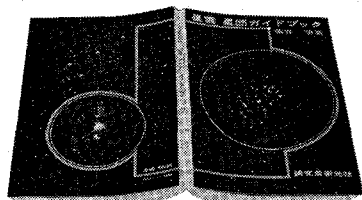
■天文ガイド臨時増刊 / B5判 / 122頁 / 定価480円

マリナー探査機による火星の写真、今季の観測についてのアドバイス、ベテラン各氏の観測経験の紹介、火星の地図、データなど火星に関する総合版です。

★主内容 本文 / 今年の火星大接近 / 最接近のころの火星面小・中望遠鏡で見る火星 / 今世紀の火星接近一覽表 / 口絵 / 火星のカラースケッチ / 花山天文台の標準火星地図 写真 / マリナー6・7号による火星写真

星雲星団ガイドブック

——小型カメラと小望遠鏡による星雲・星団の観測——



好評発売中

■藤井 旭著 / A5変型判 / 316頁 / 定価680円

天文ファンにとって人気のある星雲星団の写真撮影と観測についての入門書です。オリオン星雲など約120種の作例と、見つけ出すための星図を添え、撮影の方法や注意、小望遠鏡でながめる場合のヒントをくわしく解説した。星雲星団の写真集として満足できる本で、同じ著者の「天体写真の写し方」の姉妹編です。

誠文堂新光社

東京・神田錦町1の5 振替東京6294