

〈天体列伝13〉

かに星雲とかにパルサー

現代天文学の重要な場面で常に主役として存在し、多くの研究者からの絶大な信頼をかちとり、彼らに限りない夢をあたえている不世出の英雄、それがここに登場するかに星雲である。

項羽本紀、伯夷列伝、等昔ならった史紀の記憶だが、本紀と列伝では登場する人物の格がちがう。かに星雲がいままで天体列伝に登場しなかったのは近々に天体本紀の企画があってその最初をかざる天体として温存されているからだろうか。

かに星雲は波長数 10 m から 10^{-18} m にいたるまで他の追従を許さない、ひろい領域の電磁波で際だった強度と特徴をしめし、天文学者、物理学者それにアマチュア天文家、実にいろいろな分野の人々から熱い視線をあびている。その勲章としてかに星雲とかにパルサーには、Tau A, M1 PSR 0531+21, CM Tau, Tau X-1, 3C 144, SN 1054 など、有り余る呼び名があたえられている。このような天体の全容を数ページ内に記述することは至難である。多分この為に、多くの著者から4球、敬遠されたのであろう。もしそうなら司馬遷ならぬ筆者の手にあまるとしても黙ってみずぐすわけにはいかない。

西暦 1054 年、おうし座に出現した超新星は中国や日本の書にくわしく記述されている。最大増光時には昼間でも見えたという。やがてこの星はどんどん暗くなり、人々の視界と記憶から永久に消え去るかと思われた。数百年後、望遠鏡が発明されたとき、この星は姿を変えて(かにのような姿? になって)現代天文学の前に華々しく再登場したのである。かに星雲が歴史に記述された超新星の遺跡であることを解明した一連の研究紹介だけで一冊の書ができ、それは天文学に限らず、歴史の

ロマンまでも十分に満喫させてくれるのではなからうか。

多くの歴史的遺跡はかつてをしのぶよすがにはなっても、現代科学をになう現役に復帰することはない。かに星雲の偉大さは現代天文学の進展のなかで、いかなるときも現役の第一線に立っていたことであろう。

かに星雲から 30 ヘルツの周期で強度変動する天体がまず電波で発見され、つづいて可視光で見える中心天体に同定され、さらに X 線から γ 線にいたる波長帯でも確認された。変動はきわめて安定、かつ高速である。このような現象は中性子星の回転以外にはありえなかった。超新星爆発により、かに星雲の中心に中性子星(かにパルサー)がつくられたのである。

かにパルサーでの直接測定ではないが、中性子星を含む連星系(例えば X 線星)では公転運動や X 線バーストという現象から中性子星の質量や半径が実測され、それぞれ約 1.4 M_{\odot} (M_{\odot} は太陽質量をあらわす)と 10 km の値がえられている。同じく表面磁場の強さがサイクロトロン吸収線から測定され約 10^8 テスラと考えられている。余談だが、これらは日本の X 線天文研究陣が世界に誇る成果である。

中性子星は超巨大原子核と思えばよい。それは極限まで凝縮した物質のかんづめであると同時に、多分最初は 10^{44} ジュールにもおよぶ回転エネルギーのかんづめでもあった。このような信じがたい天体が実在し、かつ超新星で形成されることを、疑う余地ない形で最初に人々に示したのはかに星雲にほかならない。かにパルサーの毎秒 30 回転は長らく世界記録だったが、ついにこの記録を明け渡した。実に毎秒 600 回転以上の中性子星が見つかったのである。半径 10 km の超巨大原子核が毎秒 600 回転するときのもの凄さを我々は想像できるだろうか。

さて、かに星雲はいまも膨張しつつ、電磁波を放出している。これらで毎秒消費されるエネルギー

ーは太陽の10万倍にもなる。このエネルギーこそ中性子星にかんづめにされた回転エネルギーから供給されているものである。かんづめの中身は莫大でも消費量もまたただごとではない。かにパルサーも徐々に回転速度がおちている。この減少量は1年で 10^{-5} 秒くらいである。これから消費エネルギーが逆算できるから、物理学の応用問題として試算してみるとよい。

かにパルサーは磁極付近で 10^8 テスラ程の超強磁場をもっているようだ。これは双極子磁石とおなじようなもので、この磁石が回転すると、電磁波としてエネルギーを放出する。腕に覚えある人はこのエネルギー量も試算してみるといいが、ここでもまた太陽エネルギーの約10万倍になる。即ち大局的には磁気双極子放射がかに星雲エネルギー放射機構と考えられる。

磁石が回転するなら、周りにコイルをまけば、昔習った発電機ができ、地球上の電力事情は総て解決する。周波数は30ヘルツだからまあなんとかなりそうだ。しかし、こんなすばらしい発電所も、6千光年かなたといわれているから、ちょっと車で建設工事に、というわけにはいかない。コイルを巻くことはあきらめよう。コイルがなくても、中性子星のまわりにはもの凄い電場が作られる。この値も試算されたらいかがだろうか。強い電場で電子は超高速に加速される。加速された電子はシンクロトロン放射によってエネルギーを失いながら、外側に拡散してゆく。エネルギー損失の割合は電子のエネルギーが高いほど早いから、外側では高エネルギー電子はいなくなる。低エネルギーの電子は γ 線やX線は放出できず、可視光や電波の放出のみである。したがって、X線のような短波長の電磁波でみるとかに星雲は可視光や電波でみるより小さい。このような形態の変化も、すべてのエネルギー源を中心の中性子星にたよっているためである。

さて超高速電子はさらにまわりの光子にぶつかり、これらを超高エネルギー γ 線にする（この基

礎プロセスを逆コンプトン散乱という）。はるばる地球にとどいた超高エネルギー γ 線は地球大気と反応して高速荷電粒子群をつくり、それらはチェレンコフ光を発生する。この光の軌跡を地上からの望遠鏡でみることにより、 γ 線の方向とエネルギーがわかる。波長 10^{-6} mの光と波長 10^{-18} mの γ 線が同じ光学望遠鏡で観測できるのである。こうして観測できたかに星雲からの γ 線のエネルギーは 10^{12} eV（波長 10^{-18} m）にもなる。したがって、加速された電子のエネルギーもすくなくとも 10^{12} eV以上である。ちなみに世界最高のLEPのエネルギーでも 10^{11} eVだから、かに星雲は地上のどの加速器をも凌ぐ高エネルギー電子加速器といえる。望遠鏡の感度があがれば、さらに高エネルギーの γ 線が観測されるようになるだろう。そこにはどんな新発見が待っているのだろうか。

いくつかの例で示したように、かに星雲は物理の基礎諸過程が比較的純粋なかたちで観測できる「きれい」な天体である。しかもその物理環境（例えば、重力、磁場、電場等）は地上のいかなる巨大研究施設といえども達成不可能な極限値をほこる。極限状態はそれに関与する物理法則が際だって現れるところである。宇宙の物理実験室という表現を認めてもらうなら、かに星雲こそ、それにもっともふさわしい天体であろう。過去をふりかえれば、かに星雲によってもたらされた天体物理学上の新知見は枚挙にいとまがない。今後も多くの研究者に、夢をあたえ続けていくであろう。

多くの天文研究者は新しい観測装置づくり、宇宙に向けるとき、まずかに星雲をえらぶ。それはかに星雲が全ての波長にわたって、安定した情報を放出しているからである。このようにかに星雲はまた宇宙のもっともすぐれた標準信号発生器としても絶大なる信頼を得ている。多くの研究者に信頼と夢を与え続けるかに星雲、不世出の英雄といわずして、なんであろうか。

小山勝二（京大理）