

# 新星の理論

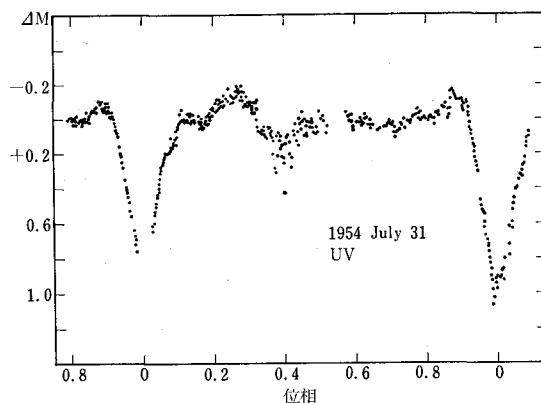
尾崎 洋 二\*

## 1. はじめに

新星はある種の星の爆発現象と考えられている。もちろん超新星も星の爆発であるが、新星と超新星では爆発の規模が全々違い、現在のところ全く別の現象と考えられているのでここでは超新星にはふれない。広い意味で爆発的変光星と考えられているものに、普通の新星、再帰新星、小規模新星（普通 U Gem 型星と呼ばれている）があるが、爆発の規模では大いに差があり、普通の新星では増光が 10 等級以上にもなるが、U Gem 型星ではせいぜい 3~5 等級どまりである。しかしこれらの星では相互に共通の特徴があり、密接な関係があるものと考えられる。普通の新星では 1 回の爆発の際放出されるエネルギーは約  $10^{45}$  エルグ、星から放出される質量は  $10^{29}$  g 程度で、これは星全体のエネルギー・質量の約 1 万分の 1 程度にあたり、星全体の大爆発というよりむしろ星の表面がなんらかの原因で吹飛ばされたものと考えた方がよい。新星の爆発の機構についてはいくつかの仮説が提案されているが、まだ定説というものはない。

## 2. 新星としての近接連星

新星の爆発の機構を解明するには、爆発のさいのスペクトルや光度の変化を詳しく調べることも大切であるが、それと同時に爆発を終えて静かになった星を観測することが重要である。というのは爆発のさいには星から抛り出された物質によって新星の本体は隠されて見えないが、静かになってからは丁度霧が晴れた後のように新星の本体が姿を現わすからである。1934 年に爆発した新星 DQ Her は極大時には 1.4 等級にも達し、新星の中でも最も詳しい観測がなされた星の 1 つであるが、1954 年には 14 等級の暗い星に減光していた。その年の 7 月ウォーカーはこの星が非常に周期の短い食連星であることを発見した。その変光の周期は 4 時間 39 分で、当時知られていた食連星としては最も周期の短いものであった。第 1 図はウォーカーによる DQ Her の食の光度曲線である。この光度曲線はアルゴール型と呼ばれるもので、この星の特徴は第 1 極小は部分食、第 2 極小が見られないこと、食外での明るさの変動が顕著なことである。この光度曲線から DQ Her が明るいけれどもサイズの小さい青白い星と、明るさは暗いがサイズの大きい赤い星から出来ていることがわかる。もう 1 つ DQ Her



第 1 図 DQ Her の光電観測

の光度曲線で特徴的なことは、食外において 71 秒という極端に周期の短い規則正しい明るさの変動が見られることで、これは現在では青白い星が白色矮星でその脈動によって明るさが変化するものと解釈されている。

DQ Her が非常に周期の短い近接連星であることがわかって以来、いろいろの人達によって新星は近接連星ではないだろうかという推測がなされていたが、1960 年代の前半クラフトは過去に爆発した新星を系統的に観測して、その内のいくつかが実際に連星であることを確かめた。第 1 表に連星であることがわかった新星を示す。クラフトは U Gem 型星がすべて連星系であるらしいことをすでに確かめていたので、これらの観測に基いて「新星はすべて連星である」という仮説を提唱した。クラフトの提案した新星の近接連星モデルは第 2 図に示すような赤色星と青色星からなっている。赤色星は連星系のいわゆるロッシュの限界を満たした点  $L_1$  から物質の流出が起っており、一方青色星は半径の小さい白色矮星ないし

表 1. 連星系をつくる新星

星の名前	タイプ	周 期	スペクトル
T CrB	RN	227.4 日	sdBe+gM3+Q
GK Per	N	1.904 日	sdBe+K2IVp+Q
T Aur	N	4 時間 54 分	?
DQ Her	N	4 時間 39 分	sdBe+Q
V 603 Aql	N	3 時間 19.5 分	sdBe
WZ Sge	RN	1 時間 22 分	sdBe

N : 普通の新星      RN : 再帰新星

\* 東京大学理学部天文学教室

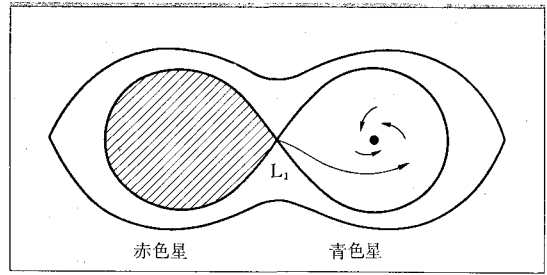
Y. Osaki: Theories of Novae

は準矮星でそのまわりには赤色星から流れ出た物質がリングないしは円盤状に取巻いていると考える。表1からわかるように周期の長い T CrB の赤色星は M 型の巨星であるが、その他はすべて周期が短く赤色矮星であると考えられる。又 U Gem 型星の場合も連星の周期は半日以下で赤色星は巨星ではなく矮星である。

### 3. 爆発の機構

現在ではクラフトの近接連星説は一般に広く受入れられており、爆発の機構についてのいくつかの提案もすべて近接連星という立場から出発している。しかしながら連星系のどちらの星が爆発を起したかという点になると現在までのところ決定的な観測上の証拠はない。実際ものの本によっては連星系の青白い星を新星とわざわざ記してあるものもあるが、ちゃんとした根拠があって言っている訳ではない。しかし爆発の機構を考える上には連星系のどちらの星が爆発を起したのかははっきりさせることがぜひ必要であるから、この問題をもう少し考えてみよう。まずいくつかの決め手になりそうな事柄をあげてみると、1つは爆発の際の膨張速度で、普通典型的新星では約 1000 km/sec 程度である。大雑把に言ってこれは星の表面での脱出速度でいどと考えられるから、新星の質量を太陽質量と仮定すると 1000 km/sec の脱出速度を与える星の半径は太陽半径の 1/3 くらいになる。例えば新星 DQ Her の場合この半径は赤色星と青色星の半径の中間で、これからだけでは結論出来そうもない。しかし再帰新星 T CrB の場合、爆発の初期に 4000 km/sec にもなる膨張速度が観測されているが、この星では赤色星が M 型の巨星で、その脱出速度はせいぜい 100 km/sec 程度と考えられる点から、T CrB の場合は赤色巨星が爆発を起したとするのはかなり苦しい気がする。もう1つ青色星説を支持するかもしれない観測事実は、新星 DQ Her の周期 71 秒の変光である。これはすでに述べたように白色矮星の脈動と考えられているが、普通の白色矮星については脈動によって変光するという例は知られていない。とするとこの脈動現象の1番自然な解釈は白色矮星が 1934 年に爆発を起してその時の余波が現在も脈動として残っていると考えることである。白色矮星を強制的に振動させた場合、振動の減衰時間は何百万年という非常に長いものであることが理論的にも知られているので、1934 年の爆発の余震が今も続いていると考えるのは少しも不思議ではない。

一方赤色星が新星である可能性を示唆するものに U Gem 型星の爆発がある。U Gem 型星が新星と同様すべて連星系でクラフトの連星モデルが当てはまるらしいことはすでに述べたが、チェミンスキー (1965 年) は U Gem 自身周期 4 時間 10 分の食連星であることを発見し、爆発のさいの連星の食を観測して赤色星が爆発を起



第2図 クラフトの新星型近接連星モデル。  
図は軌道面を上から見たもので連星系の公転は時計と反対回り。

している可能性が強いことを示した。又 U Gem 型星の場合、星の爆発のさいの明るさの変化と可視域での色温度の変化は丁度赤色星の温度が爆発のさいに上昇すると考えることでうまく説明出来ることがわかった。このように U Gem 型星での爆発が赤色星の可能性が強いとすると、普通的新星の場合も赤色星である可能性は十分にあり、現在のところどちらの星の可能性も否定出来ないということを念頭において爆発の機構を考える必要がある。

近接連星モデルに基いて提案されている爆発の機構についての3つの仮説について紹介する。新星の爆発の起源を第1の仮説は青色星に、第2第3の仮説は赤色星に求めている。

#### (1) 白色矮星の熱不安定 (クラフト) :

クラフトのモデルによる新星型近接連星系では赤色星はロッシュ限界を満たして点  $L_1$  から青色星に向けて物質の流出が起っている。この物質の一部は中心にある白色矮星に吸着されるものとする。普通の白色矮星の場合水素は燃え尽きてしまっていて内部には残っていない、いわば死んだ星と考えられるが、この場合には水素を沢山含んだ新鮮な物質が白色矮星の表面に降り積り、やがてこの水素が燃え出すほど高い温度の所まで達するとしよう。よく知られているように白色矮星は密度が非常に高く内部の電子はいわゆる“縮退”状態にある。縮退状態にあるところで核反応が起ると、ブレーキの効かなくなった電車が下り坂を転げ落ちるように、水素の燃焼が加速度的に起りこれが新星の爆発に導くという説である。

実際この線に沿っていくつかの数値計算(ジャンネウイゲルト 1967 年, 蓬茨 1968 年, サスロー 1968 年, ローズ 1968 年)がなされ熱不安定が起きて核反応が加速度的に起ることが示された。しかしこの現象自身は熱不安定であるのでその変化は準静的で、これが現実的に動的爆発にまで到るような計算は今までのところされていない。

#### (2) 赤色星の力学不安定 (パチンスキー) :

新星型近接連星では赤色星はロッシュ限界に達していると考えられる。よく知られたことであるが赤色星は星

の表面近くに対流外層を持っている。パチンスキー(1965年)はこのような対流外層を持った星から物質が少し流出すると星の半径が膨張してロッシュ限界からさらに大きくはみ出し物質の流出を一層促進するようになり、これが新星の爆発になる可能性があることを示した。パチンスキーの取扱いは線型近似であったので、バス(1969年)は星の表面近くの水素の電離領域も考慮して非線型でこの問題を取扱い、丁度観測される新星程度の質量放出を得た。しかし不幸にしてバスの非線型の場合の断熱変化の取扱いは誤りがあり、多分バスのモデルの成功の大部分はこの誤りによって生じたものと思われるので、この点を正した上で非線型の場合についてパチンスキーの機構を再検討する必要がある。

### (3) 星の非動径振動のレゾナンス(シャツマン):

普通星の脈動の周期は連星系の公転周期にくらべてずっと短く、両者の相互作用は無視出来るが、非動径振動のうちの  $g$ -モードと呼ばれる振動は、特別の場合には非常に周期が長くなり、連星の公転周期とほとんど同じくらいの場合も考えられる。もしこの非動径振動の周期が公転周期と一致したとすれば、レゾナンス(共振)現象が起り振動の振幅が非常に大きくなり得る。シャツマン(1958年)はこのレゾナンスが新星の起源だという説を提案した。シャツマンは最初このモデルを提案した当時は連星系の白色矮星の方を考えていたようであるが、実際問題として非常に長い周期の振動を白色矮星に期待するのが困難なため、最近では赤色星の方に意見を変えたようである。この理論の問題点の1つは連星系の相手の星による潮汐力が周期的に変わることによるレゾナンスであるので、連星の軌道が円軌道で公転と星の自転が同期している場合には起り得ない。ところが新星型連星のような近接連星では通常自転と公転が同期していると考えられ、あまりもっともらしくない。

最初に述べたように連星系のどちらの星が爆発を起すかははっきりさせることが急務であるが、もし青色星であるとした場合には(1)の仮説が、又赤色星の場合は(2)の仮説が色々の難点を持ちながら現在のところ最も有望と思われる。

### 4. 爆発のシミュレーション

前章の爆発の機構についての仮説は爆発の根本原因を探ろうとするものであるが、それと少し異なった立場の研究として、原因には直接ふれずに星の内部に何らかの形の不安定性があったとして、それによるディスターバンスが衝撃波等によって星の外層をどのように伝わるかを調べようとする研究がある。この方法では色々の条件で色々の形のディスターバンスを与えて、実際の新星で観測される光度曲線や膨張速度などを再現しようとするものである。新星の爆発のさいの光度変化をシミュレートしようとする試みはすでにポタッシュ(1959年)によってなされている。ポタッシュは新星の爆発で放出された球殻が中心星からの強い輻射を受けながら膨張してい

くさいに、球殻中での輻射伝導を時間的に計算して新星の明るさの変化が再現できることを示した。一方ヘーブルブルスト(1962年)は新星の爆発を調べるために星の外層での衝撃波の伝わり方について研究した。スパークス(1969年)は脈動星の非線型振動を計算するのに使われた大型計算機の流体動力学プログラムを使って、新星の爆発の問題を調べた。彼の計算によれば新星の爆発には2つのタイプがあり、1つは星の内部で発生した衝撃波により星の外層が放出されるものと、もう1つは衝撃波は発生しないが星の重力エネルギーを振り切るほど大きなエネルギーの発生が急激に起った場合、それによる圧力で外層が押し出されるものがある。前者の場合には再帰新星 T CrB で観測されたような時間とともに急激に減少する速度曲線が得られ、後者の場合には新星 GK Per や DQ Her に見られるような比較的一定の速度曲線が得られる。この種の研究は新星の爆発の性質を明らかにするとともに、新星になる星が満たすべき条件及び爆発の原因に対する必要条件等を与えることが期待されるので、前章で述べた不安定性を調べる研究と相補い合せて、新星の爆発の機構を探るのに重要だと思われる。

### 5. おわりに

最後に簡単にX線源との関連についてふれておこう。1966年に日本の小田、大沢、寿岳氏とアメリカのグループの共同により、全天で一番明るいX線源 Sco X-1の光学的同定がなされたことはよく知られているが、そのさいこの Sco X-1の光学スペクトルが減光した後の新星(いわゆる old nova)のスペクトルに類似していることが注目された。Sco X-1についても連星系による軌道運動の有無について調べられたが、これは発見できなかった。しかし Sco X-1の光電観測で減光後の新星や U Gem 型星で特徴的な光のふらつきがあることから、Sco X-1は新星型の星に類似の天体であるらしい。X線星と新星との関係でもう1つ面白い事実は、1967年と1969年に1つづつX線で今まで見えなかったところに突然新しいX線星が現われ全天で1番明るい Sco X-1と同じ程度のX線強度になったのち暗くなって消えていったことである。このようにX線星の世界では新星型のX線バーストは珍らしくないらしい。さて話をX線星 Sco X-1に戻すと、この星のX線スペクトルは指数函数型と呼ばれ数千万度という高温の希薄なガス(プラズマ)からの熱輻射と解釈されている。クラフトの新星型近接連星モデルは赤色星からの物質供給と白色矮星の強い重力場の2つの点で、このような高温プラズマの維持に都合がよく、X線星のモデルとして近接連星を考える見方がある。

これまで述べて来たように新星の爆発の機構はまだ十分に解明されたとは言えず、観測とともに理論も今後の研究に期待するところが大きい。特に近接連星系特有の色々の活動はまだよく解明されていない状態で、これからの研究で実りの多い分野の一つではないかと思う。