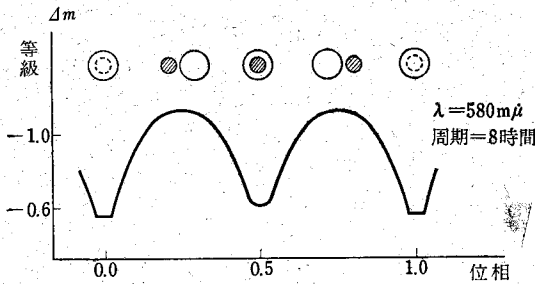


近 接 連 星

尾 崎 洋 二*



第 1 図 大熊座 W 星の光度曲線

§1. はじめに

恒星の中には2つあるいはそれ以上の星が、お互いの重力によってその共通の重心のまわりにまわっているようなものがあり、このような星を連星、特にお互いの間の距離が接近しているものを近接連星と呼んでいます。近接連星の中には、互いに相手の星をかくすために食を起すものがあり、食変光星と呼ばれています。

近接連星ではしばしば相手の星の影響のために、単独の星では見られないような現象が現われます。

このような現象についての 2, 3 の話題を紹介するのが本稿の目的です。

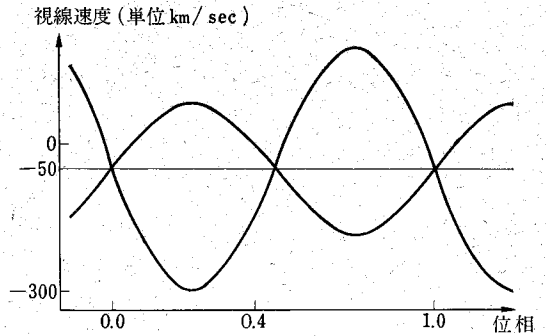
近接連星を研究するのに、2つの重要な道具があります。1つは食変光星の場合の変光の様子を示す光度曲線であり、もう1つはスペクトル観測により得られる視線速度曲線で、この2つをうまく組み合わせる事によって、連星の質量、半径、両星間の距離等の物理量を求める事が出来、これによって近接連星の進化といった問題も議論出来るのです。

光度曲線と視線速度曲線の例として、大熊座の W 星の場合を第 1 図及び第 2 図に示しました。

近接連星の話を進めるにあたって、まずその分類からはじめる事にします。

§2. 近接連星の分類

近接連星の権威であるコパール博士の提案した分類方法というがあります。まず第 3 図を見て下さい。この図には「制限三体問題の零速度曲線」という厳しい名前がついていますが、要するに2つの星がお互いの引力で引き合って連星系を作っている場合、それぞれの星の重力圏のなわ張りを表わしたもので、1という星のなわ張りはAの内部、2という星のなわ張りはBの内部、C



第 2 図 大熊座 W 星の視線速度曲線

は2つの星の共通の広場という図であると理解してよいと思います。コパールはこのようにそれぞれの星が広がる事の出来る最大の表面をロッシュの限界と名づけた。

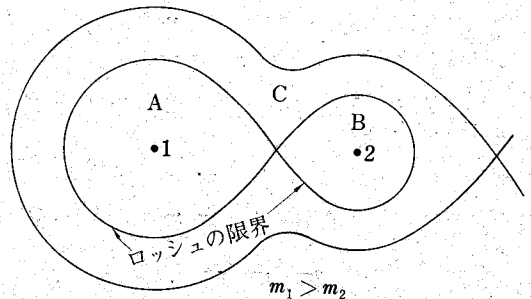
この図を使って近接連星を分類すると、第 4 図のような3つの型に分類されます。

第 1 の型は分離型と呼ばれるもので、それぞれの星が自分自身の身の程を知って、相手の領域をおかしていない平和共存型の連星です。

第 2 の型は半分離型と呼ばれるもので、質量の大きい方の星は自分自身の領域の中にちゃんとおさまっているのですが、質量の小さい方の星は自分の領域一杯一杯まで広がっていて、時々他人の領域をおかすので、色々いざこざが絶えないような星です。

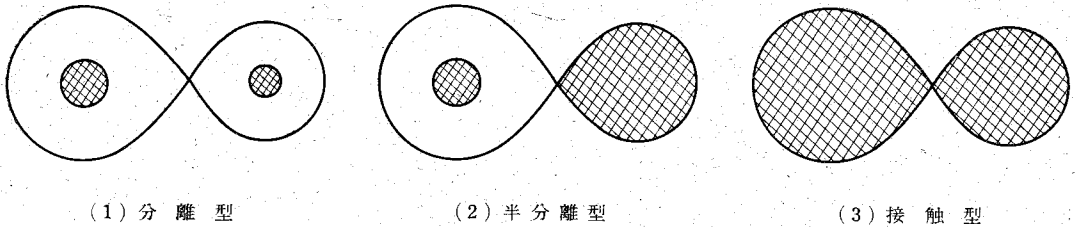
第 3 の型は接触型と呼ばれるもので、両方の星とも自分の領域いっぱいには広がっていて、表面の一部は共通の広場にまで侵み出しているものです。

第 1 の型の連星は近接連星の相互作用という点では興味は薄いのですが、単独星について成り立つ色々な理論がそのままそれぞれの星に対して成り立つと考えられる



第 3 図 ロッシュ・ポテンシャル

* 東大理 天文学教室
Y. Osaki: Close Binaries.



第4図 近接連星の分類

ため、単独星についての理論を確かめるのに色々役立つ星です。

それに対して第2及び第3の型の連星は、連星独自の相互作用という点から興味深い星です。

半分分離型の代表としては、アルゴール（ペルセウス座のベータ星）。又接触型の例として最初にあげました大熊座のW星があります。

§3. 物質の変換を行なう近接連星

半分分離型の連星では、質量の小さい方の星がロッシュの限界に達して、表面の一部がしばしばロッシュの限界をはみ出して相手の星の重力圏に入るため、質量の小さい星から大きい星へ物質の流出が起ります。実際いくつかの半分分離型連星において、このようにして流れ出た物質が質量の大きい星のまわりに「リング」を作っているのが観測されています。

半分分離型の連星を星の進化という立場から考えてみると、観測される半分分離型の連星では、一般に質量の大きい星は表面温度の高い主系列の星ですが、質量の小さい星は表面温度の低い準巨星になっています。

ところで、はじめ連星が生まれた時は両星とも主系列の星でロッシュの限界内におさまっている分離型であったと考えられます。

星の進化の一般論によれば、主系列の星はそのエネルギーを中心附近の水素の燃焼によってまかなっているのですが、中心附近の水素が燃え尽きてヘリウムの灰が蓄積してきますと、その半径が急激に大きくなり、星は主系列をはなれて巨星への道を進みはじめます。

そして一般に質量の大きい星程明かるためにエネルギーの消費率が大きく、従って進化のスピードが早い事が知られています。

この考えを今の問題に適用しますと、質量の大きい星が先に中心附近の水素を使い果たして膨脹し、ロッシュの限界に達するはずであり、それに対して質量の小さい星はいぜんとして主系列の星として、ロッシュの限界内にとどまるといふ事になります。

ところが観測では、ロッシュの限界に達しているのは必ず質量の小さい方の星であり、それに対して質量の大きい星は主系列の星でロッシュの限界よりも小さいといふ結果が出ており、これは明らかに上に述べた考えとは

逆で矛盾している事になります。

この困難を解決するために登場したのが、「犬の共食い説」と呼ばれるものです。

「犬の共食い説」というのは、星の進化の一般論により、はじめ質量の大きい星が先に中心にヘリウムの芯が出来て膨脹が起りロッシュの限界に達するのですが、それ以上膨脹が進むと、ロッシュの限界をはみ出してしまい質量の大きい星から質量の小さい星へ物質がどんどん流れ出て、ついにははじめ質量の大きかった星が逆に質量の小さい星になり、又はじめに質量の小さかった星は相手の星から物質をもらうために質量の大きい星に変わるというものです。

そして実際に観測される半分分離型というのはこのようにして質量の大小関係が逆転したもので、質量の小さい星がロッシュの限界に達していても、星の進化の理論と矛盾してはいないというものです。

この考えは更に精密化され、又実際に詳しい計算もなされた結果、基本的にはこの考え方が正しい事がわかりました。

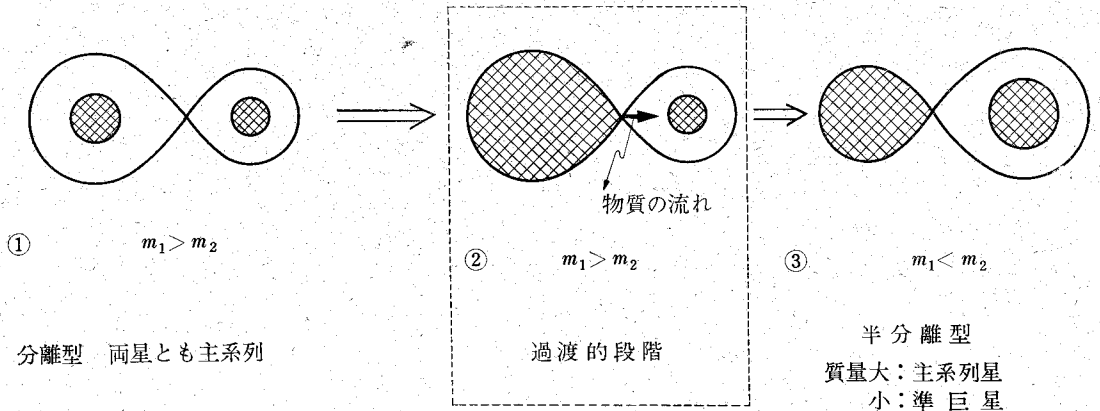
それによれば中心にヘリウムの芯の出来た質量の大きい星は膨脹してロッシュの限界に達すると、急速に相手の星へ物質が流れ出てしまい非常に短い時間の間に（天文学的に言って短いという意味です）質量の小さい星に転落してしまうのです。

そしてこの大規模な物質の流出は、元々中心附近にあったヘリウムの芯が星の表面近くまで出て来てはじめてとまるのです。

第5図はこのような変化の様子を示すものです。現在では、実際に観測される半分分離型連星はこのようにして出来たものであるとする考えが、もっとも一般に受け入れられています。

§4. 円盤状の星——琴座ベータ星の問題

昔から星の形は球形であるという事に相場が決まっています。もちろん近接連星では一般に相手の星の潮汐作用で球からずれていて楕円体なのですが、これからお話しします琴座ベータ星の場合には、ずれているなどという生易しい事ではなく円盤状であるとしないと観測がうまく説明出来ないという説があり、それについて紹介しませんが、



第5図 半分離型連星の形成過程

②の過渡的段階にある星は、この状態にある時間が非常に短いため実際上ほとんど観測されない

琴座ベータ星というのは周期 12.9 日の近接連星で、第6図に示される光度曲線からもわかるように明るさが連続的に変化しています。

この星のスペクトルを撮ってみますと、明かい方の星(以下では主星と呼びます)の吸収線のみが観測され、暗い方の星(伴星)のスペクトルは観測されません。そしてこの星のスペクトルのもっとも顕著な特徴は強い輝線の存在する事で、この輝線は同じ 12.9 日の周期で大きく変わります。

この事からも琴座ベータ星が尋常な連星ではない事が古くから知られており、色々な人達によって研究されて来ました。

この星の質量については、暗い方の星のスペクトルが観測されないため直接には求められないのですが、ある仮定のもとで計算してみますと、主星の質量は太陽の約 2 倍、伴星は約 11 倍という結果が得られます。

主系列の星については質量光度関係というものがある。質量の大きい星ほど明るいのですが、琴座ベータ星の場合には暗い星の方がずっと質量が大きくなっています。しかし近接連星ではしばしば質量光度関係が成立しない場合があります、琴座ベータ星で明かい方の星の質量が小さくてもそれほど驚く事ではありません。問題はもっと別のところにあるのです。

一般に星の明るさ(L)は星の表面積(S)に表面輝度(J)を掛けたものです。

$$L = S \times J \quad (1)$$

ここで表面輝度というのは、星の 1 cm^2 あたりの明るさの事です。主星、伴星をそれぞれ 1, 2 で表わしますと、2つの星の明るさの比(L_2/L_1)は、

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{S_2}{S_1} \times \frac{J_2}{J_1} \quad (2)$$

となります。食変光星の表面輝度の比は光度曲線から簡単に求められ、琴座ベータ星の場合、 $J_2/J_1 = 0.36$ で

す。一方光度曲線において明るさが連続的に変わる事から、両星はほとんど接触しているものと考えられ、そこで接触型であると仮定しますと、両星の表面積の比は、 $S_2/S_1 > 4$ となります。

(2)式を使って明るさの比を求めてみますと、 $L_2/L_1 > 1.44$ となり、これは伴星の方が明るいという事です。

ところで伴星というのはスペクトルにおいて暗い方の星の事ですから、暗い星の方が明るいという全々おかしな結論になってしまいます。

このような困難を解決するために、ス・シュー・ファンとかウルフといった人達によって円盤状の星という考えが提案されています。

それによれば、伴星は通常の球形(もっと正確には楕円体)の星ではなく、円盤状の星であり、我々はこの円盤状の星を斜め横から見ているため、伴星の表面積は楕円体と考えて得た値よりも実際にはずっと小さくなり、この困難は解決されるというものです。

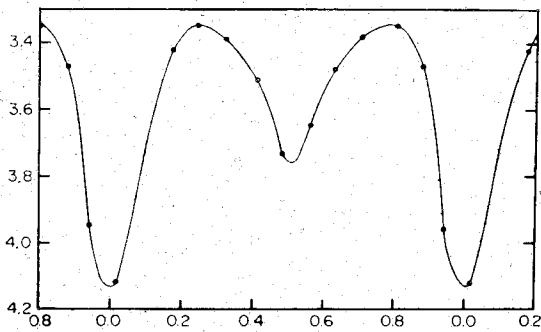
このモデルでは円盤状の中心に普通の星に対応する核がありそのまわりを円盤状の物質が取りまいていたと言ったもので、この様子を第7図に示しました。

このようなモデルを採用しますと、スペクトルで観測される強い輝線もこの半透明な円盤から生ずる輝線としてうまく説明がつかうのです。

では一体このような星がどのようにして出来たかと言いますと、先ほどお話しした半分離型の連星が出来る途中の段階であるというものです。

すなわち質量の小さい主星は以前は質量の大きい星であったのが、ロッシュの限界に達して相手の星に質量の大部分を与えてしまった結果質量の小さい星に転落し、一方伴星においては、このような過程で流入して来た物質が円盤部を形成しているものと考えられるのです。

流入して来た物質が中心に集まらずに円盤状になっているのは、大きな角運動量を持っているためです。



第6図 琴座ベータ星の光度曲線

ウルフによれば、伴星においてはその質量の約半分はこの円盤部の物質に存するという事です。

琴座ベータ星において実際に質量の小さい主星から質量の大きい伴星へ物質の流出が起きているという証拠が他にもあります。

1つはスペクトルにおいて物質の流出を示すような輝線の存在する事、他の一つはこの連星の周期が一定でなく、だんだん長くなっている事です。

周期が長くなるという現象は、質量の小さい星から大きい星へ物質の流出があるとすることによって説明出来る現象です。

コパールによって接触型と分類された琴座ベータ星が、半分離型連星の形成過程にある星として認識されるようになってきた事は、興味深い事です。

§5. 新星と近接連星

新星と呼ばれる星の爆発現象があります。

これは普段は肉眼では見えないような10等級以下の暗い星が突然数日の間に、明るさを数千倍あるいは数万倍に増すもので、新星の中にはその極大時の明るさが1等級程度になるようなものもあります。

新星は極大光度に達した後ゆっくり減光していき、数年で元の暗い星にもどります。

新星とよく似たものに超新星がありますが、超新星は明るさ、エネルギー、爆発時に放出される物質の量等すべての点で新星にくらべて桁違いに大きく、新星と超新星とは爆発の機構自身が本質的に異なる別の現象と考えられています。

最近この新星現象がある種の近接連星の相互作用の結果と考えられるようになってきました。このように考えられるようになったのは、以前に新星として爆発を起し現在は元の暗い星に落着いている星の内のいくつかのものに対してスペクトル観測あるいは光電観測がなされた結果、その内の多くの星が近接連星である事がわかったからです。

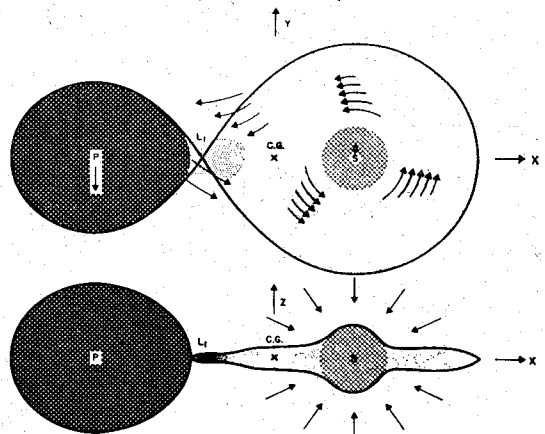
このような近接連星に共通した特徴は青白い星と赤い星との組になっている事で、一般に赤い星はロッシュの

限界に達しているのに対して、青白い星はロッシュの限界以下で半分離型に分類されるものです。

そしてこの種の近接連星の多くのものは極端に周期の短い連星で、例えば新星として有名なヘルクレス座DQ星は周期が4時間、もっともひどいのは矢座WZ星で周期が82分というちょっと想像もつかないようなものもあります。

周期の短いこの種の近接連星では、一般に赤い星は赤色矮星で、一方青白い星は白色矮星か準矮星のような主系列の星にくらべて半径の小さい星であると考えられています。

又詳しい観測のなされたこの種の連星では、赤色星から青白色星へ物質の流出のある事が観測されており、新星としての爆発とこの物質の流出との間の関係についても色々推論がなされていますが、現在までのところ新星の爆発をうまく説明できるような理論はありません。しかし詳しい理論は別にして、観測的には新星の爆発の原因を近接連星の相互作用に求めようとする事は妥当な事だと思われま



第7図 琴座ベータ星のモデル

上図は軌道面を上からみた図

下図は " を横 "

P は主星, S は伴星を表す。

(183 頁より続く)

オタワのドミニオン天文台、ピクトリアのドミニオン天体物理観測所等の観測器械の殆んどが新天文台に移されるのである。カナダの天文学者の目下の悩みは、オジャースさんの言葉によると「新しい望遠鏡が完成したら、それを利用して立派な仕事をしてくれる沢山の天文学者が必要である。我々はどのようにして次代を担う新しい、しかも数多くの天文学者を養成したらよいか」ということだそうである。