

## 脈動変光星の発見

竹内 峯 (柳町自然研究所)

### 目 次

1 はじめに	2
2 変光星の発見	2
3 アルゴルの変光	3
4 グッドリックの説の実証	4
5 ケフェウス座デルタ星の分光観測	4
6 ケフェウス座型, 双子座型の変光星の謎	5
7 シャプレーの脈動説	6
8 脈動星の周期密度関係	8
9 脈動星の3つの問題点	9
9.1 周期	9
9.2 明るさの変化	9
9.3 脈動の励起と持続	10
10 ケフェイドの周期光度関係	10
10.1 リーヴィットの発見	10
10.2 絶対光度の推定	11
10.3 宇宙の灯台	11
11 琴座 RR 型の独立	12
12 ミラ型変光星	12

## 1 はじめに

変光星というと、二つの星が共通の重心の周りを公転していて、食を起こすことによって明るさが変わる食変光星がよく知られている。これに対して脈動変光星と呼ばれる星は、星が収縮膨張を繰り返し、その結果明るさが変わる。星の内部の構造と関係して変光が起きるため、変光の周期と星の色、半径などとの間に関係があり、それを利用して星の内部構造の研究に役立つ。

脈動変光星が特に注目されたのは、周期と真の光度との間に関係があつて、それを利用すれば三角測量が利用できないような遠方にある天体の距離を求めることができるからであった。

ハーロー・シャプレー (Harlow Shapley) が変光星の脈動説を唱えたのは、1914年であり、それから間もなく100年になる。当時どのような問題があり、シャプレーの脈動説はどのようなものであったのかを振り返って見ることは、脈動変光星の理解を深める上で役に立つと思われるので、当時の文献を振り返って、そのあたりの事情を見てみたい。

## 2 変光星の発見

恒星の明るさが周期的に変わることで、もっとも見事なのはミラ（鯨座オミクロン星）であろう。もっとも明るくなった時は、肉眼で2等星として見えるが、暗くなると肉眼では見えなくなり、10.1等まで下がると理科年表などには記してある。実際には、最大光度も最小光度も、毎回同じではないが、おおむねこのような大きな光度の差が観測される。変光星でもっとも明るくなった場合の光度と、もっとも暗くなった場合の光度の差を、**振幅** (amplitude) と呼ぶ。ミラの場合、振幅は約8等である。

変光星には、明るさの変化が比較的規則正しく繰り返されるものと、規則性を見つけるのが困難なものとがある。規則性がまったく確認されていない変光星を不規則変光星としてまとめることがあるが、本当に不規則なのか、規則性が見つかっていないだけなのかは、今後の研究に待つかない。

ミラの明るさが変わることを発見したのは、ダヴィド・ファブリキウス (David Fabricius) で、1596年のことであるとされている。実際には、ファブリキウスは、この星の明るさの変化に注意をはらったのであるが、明るさの変化の性質をきちんと確認したのは、ヨハン・ホルワルダ (Johan

Holwarda) である。ホルワルダは、この星が約 11 か月ごとにもっとも明るい状態になることを確かめ、1638 年にそれを発表している。このように、星の明るさが、もっとも明るい状態から再びそのような明るい状態に戻るまでの時間を**周期** (period) という。

### 3 アルゴルの変光

ミラは最初に確認された変光星であるが、その変光機構の解明は容易ではなく、いまだに専門家の間で研究が続けられている。これに対して、2 番目に発見された変光星アルゴルについては、早い時期にその機構が解明された。

アルゴル（ペルセウス座ベータ星）が変光星であることは、ゲミニアノ・モンタナリ（Geminiano Montanari）によって 1669 年に発見された。この星は通常は明るさがほぼ 2.1 等であるが、3 日よりやや短い時間間隔で暗くなり、その時は 3.4 等まで下がる。

アルゴルがほぼ一定の時間をおいて暗くなることに最初に気付いたのは、ジョン・グッドリック（John Goodricke）である。彼は、耳が聞こえず、言葉を話すことができないという肉体的障害を背負っていたが、頭脳は明晰で、天体観測に取り組んだ。彼が求めた 2 日 20 時間 45 分という周期は、その後の観測でもほぼ正確であることが確かめられている。彼がこの発見をしたのは 1780 年代の初めで、20 歳になる前のことである。

アルゴルの変光のようすは、ミラなどと比べると規則的であるのが特徴で、通常は明るい状態が続き、一定の周期で短時間暗くなる。このようすを観察したグッドリックは、アルゴルが暗くなるのは、星そのものが暗くなるのではなく、別な天体がその前を横切るからではないかと考えた。減光が周期的であることから、グッドリックは、アルゴルをめぐる惑星があつて、その惑星がアルゴルの手前に来た時にアルゴルの光の一部が遮られ、それが周期的な減光をもたらすという機構に気付いた。

当時に帰って考えてみると、木星の衛星が木星の前を通過するようすは、17 世紀初めにガリレオ・ガリレイ（Galileo Galilei）によって発見されていた。グッドリックは望遠鏡で実際にそれを観測していたであろう。木星の衛星がもっと大きければ、木星の光はより多く遮られて、暗く見えるかも知れないというアイデアが浮かんだとしても不思議ではない。グッドリックの説は、当時の人々にとって十分受け入れができるものであった。

## 4 グッドリックの説の実証

グッドリックの説は多くの研究者によって認められていたが、もし星の運動を精密に測定することができ、アルゴル本体を隠す「衛星（satellite）」の動きを確かめることができれば、変光の原因が確認されたことになる。実際には、アルゴルは93光年の彼方にあり、「衛星」の姿も望遠鏡で見えないので、どのようにしてこの説を実証するかは、長い間分からなかった。

19世紀の後半になって、星の光を分光計で分析することができるようになったことから、グッドリックの説の検証が可能になった。星からの光を分光計を通し、そこに現れる暗線（スペクトル線）の位置を見ると、実験室に置いてある同様な気体が示す暗線と多少のずれがある。光源が観測者から遠ざかっている場合に波長が長くなり（赤い方にずれる）、逆に間隔が縮まっている場合に波長が短くなる（青い方にずれる）が、これをドップラー効果という。グッドリックの説が正しければ、ドップラー効果による星のスペクトル線のずれが観測されるはずである。

1889年にヘルマン・フォーゲル（Herman Vogel）は、アルゴルのスペクトル線のずれの測定に成功した(1)。その結果は、目に見えない「衛星」がアルゴルの光度極小の際には明るい星の手前に来ており、この「衛星」がやがて明るい星の向こう側に移動していくと、アルゴルの明るさはもとに戻ることを示すものであった。

見えているアルゴルがその軌道上を動く速度は、毎秒88キロメートルと推定され、この値を用いて、見えているアルゴルの直径が170万キロメートルで太陽の直径の1.2倍、見えていない「衛星」の直径は132万キロメートルで太陽の直径の0.95倍であるという結果が得られた。星の軌道運動の力学から、それぞれの星の質量は、太陽の0.44倍と0.22倍であるということになる。これらの値は、現在までの研究で得られたものとはやや異なっているが、100光年近い遠方にある星の大きさと質量とを、物理学の法則を用いて推定することに成功したという点では、まさに画期的な成功といえるものであった。この成功を突破口に、アルゴル型の変光星の大きさや質量を推定する研究が次々と進められ、恒星の研究の水準は飛躍的に向上した。

このように2個の星が共通重心の周りを公転している結果として、われわれから見る明るさが変わる星を、食連星（あるいは食変光星）という。

## 5 ケフェウス座デルタ星の分光観測

アルゴルに類似する変光星の研究が進む中で、それまで目立たなかった琴座ベータ星とケフェウス座デルタ星とが注目を浴びるようになった。こ

これらの星は、明るさが一定に止まるということはないが、周期は毎回それほど違わないという特徴がある。現在になって見ると、琴座ベータ星は食によって明るさが変わる星であり、ケフェウス座デルタ星は星に内在する物理的理由によって変光するので、その変光の原因は根本的に異なっていることが分かっている。しかし、19世紀末から20世紀初めにかけては、このようなことはまったく知られていなかった。

19世紀末から20世紀初めにかけて、米国の変光星研究の指導者であつたエドワード・ピカリング (Edward Pickering) は、1881年に英国の雑誌に掲載した論文で、この型の星として、一角獣座T星、双子座ゼータ星、琴座ベータ星、わし座エータ星、ケフェウス座デルタ星の5個を例に挙げている(2)。この5個のうち琴座ベータ星以外はすべて、今日では脈動変光星として知られている。

ケフェウス座デルタ星は、グッドリックが1784年に変光を発見した星で、明るさは3.48等から4.37等の範囲で変化し、周期は約5.37日である。この星のスペクトル線のずれの測定に成功したのは、アリストラク・ベロポルスキ (Aristarch Belopolski) で、1894年のことである(3)。当時の天文学の雑誌には、ケフェウス座デルタ星の軌道運動が確認され、暗い伴星 (companion) が明るい星を隠すことによって変光が起きているとしてよからうという記事が掲載されている。この頃になると以前とは異なって、変光の原因となる暗い星を、「衛星」でなく、今日のように伴星と呼ぶようになっている。食を起こす天体が、太陽に匹敵するような大きさであることが分かり、衛星という表現を避けるようになったのであろう。

## 6 ケフェウス座型、双子座型の変光星の謎

ケフェウス座デルタ星や双子座ゼータ星などを、アルゴルと区別して、ケフェウス座型 (Cepheids) および双子座型 (Geminids) と呼ぶよう提案したのは、当時女性天文学者として知られていたアグネス・クラーク (Agnes Clerke) で、1903年のことである(4)。この分類名は、ケフェウス座デルタ星と双子座ゼータ星とをそれぞれのグループの代表として名付けられたもので、共通点は明るさが絶えず変化しているということであった。明るさが絶えず変化しているという点だけ見れば、周期の長いミラなどもそうであるが、クラークは周期が10日に満たないという枠を掛けて、ミラなどを除外している。アルゴルに性質の近い星に限って取り上げて問題にしようという意図であったろう。

ケフェウス座型は、光度極小から光度極大へと増光する際の光度変化が急激だという特徴に着目して取り上げられ、双子座型は光度極小が引き続く2回の光度極大のほぼ中間に起こるという特徴に着目して取り上げられ

ていた。しかし、この区分については、あまり意味がないという意見もあって、間もなく両者を区別せずケフェウス座型変光星と呼ぶようになった。

ケフェウス座型変光星のことを、わが国ではケフェウス型変光星と呼ぶことがあり、また、英語の発音セフェイドに因んでかセファイドとも呼ばれている。星座名の翻訳としては、ケフェウス座が広く受け入れられているので、命名の経過から考えると、ケフェイドという呼び名がもっとも自然と思われる所以、この稿では以後ケフェイドと表記する。読み進んでいただければお分かりいただけると思うが、当時のケフェイドという名で呼ばれていた変光星と、今日ケフェウス座デルタ星型変光星とは同じではない。

1913年に英国の天文学雑誌に、当時の天文学でもっとも興味のある問題としてケフェイド変光星が取り上げられている(5)。ここで取り上げられている星は、ケフェウス座デルタ星、わし座エータ星、乙女座W星、南三角座R星、ぎょしゃ座RT星、蛇遺座Y星などである。スペクトル線のずれは、そこでは軌道運動に由来するものとして理解されている。

問題は、これらの星では、星が明るい時に、もっとも高速でわれわれの方へ近づいており、星が暗い時に、もっとも高速でわれわれから遠ざかっているということであった。このことに最初に気付いたのは、カール・シュヴァルツシルド(Karl Schwarzschild)である(6)。当時彼はウィーンの南にある天文台に勤めていた。のちに理論物理学の分野で名を残したカール・シュヴァルツシルドであるが、若い時期に天体観測の精度向上の研究に取り組んでおり、ケフェイドについてのこの重要な発見もその頃のものである。

スペクトルのずれのこのような性質は、暗い天体があって、その星との共通重心の周りを公転しているとすると、暗い天体が明るい星の手前に来るのは光度が減少しつつある時であり、光度が最小になって明るくなりつつある時に、暗い天体は明るい星の向こう側にあるということを示している。これは、アルゴルの場合とは星の位置関係が90度(4分の1回転)ずれている。ケフェイド変光星の光度変化の原因は暗い天体が明るい星を隠すことによるのではないと、誰でも確信するであろうと、この記事の筆者は書いている。

食による変光でないとすれば、何がケフェイドの変光の原因なのであろうか。潮汐説、反射説、抵抗物質説などが提案されたが、いずれも人々を満足させるものではなかった。

## 7 シャプレーの脈動説

シャプレーがケフェイドの変光を星の脈動で説明できるという論文を発表したのは1914年である(7)。

シャプレーの論文は、その頃球状星団の中で数百個発見された周期 1 日以下の変光星を、ケフェイドに含ませて考えてよいという主張から始まっている。光度変化のようすや周期から、星団の中の変光星と同一のグループに分類されていた琴座 RR 星は光度が 7.1 等から 8.1 等の範囲で変光しているので、当時スペクトル線のずれの測定が行われていた。その結果は、周期が数日程度のケフェイドと同様な特徴を示していた。こうした周期の短い星も含めて考えることは、より多くの観測材料を利用できることにつながった。

シャプレーがまず問題としたのは、ケフェイドの変光がかなり不規則であるという事実であった。引き続く何サイクルもの変光を継続的に観測できる周期が 1 日以下の変光星から得られた結果は、毎回周期が少しづつ異なっていた。シャプレーは、ケフェイドがもうひとつの天体と引き合って、共通重心の周りを公転しているという考え方と、このような周期の不規則な変動という事実を両立させることは難しいと考えた。

第 2 の問題として挙げられたのは、ケフェイドの光度変化がサイクルごとに一定でないことを、食連星説ではどのように説明するかということであった。最大光度がサイクルごとに異なったり例もあり、こうした変光のばらつきを、観測条件の差によるとしてしまうのではなく、事実として受け入れようというのが、シャプレーの考え方であった。

第 3 の問題は、ケフェイドの色とスペクトル型が、明るさの変化に伴って変わることをどう説明するかということであった。1900 年頃から、ケフェイドの色が青い時期と、明るく見える時期とが一致するという性質があることが観測で分かってきており、また、スペクトル型も明るい時に高温な型になることが確かめられていた。先のクラークのまとめでは、スペクトル型は変わらないとされていたが、詳しい観測が行われるようになり、このような変化が発見されたのである。

シャプレーは以上のような問題を解決するためには、2 個の星が共通重心の周りを公転しているという説を捨て、1 個の星が脈動 (pulsation) していることにより変光が起きていると考えればよいと主張した。ここで脈動とは、星の体積の変動であり、それに伴う星の表面の運動によりスペクトルのずれが生じているとする。スペクトルのずれが、星の表面が外向きにもっとも速く動いていること示している時に、星の明るさが最大になるということから、明るさの変化は星の内部から周期的に高温気体が噴出してくることに起因すると考えられた。表 1 にシャプレーの脈動説の要点を示す。

シャプレーのケフェイドは、今日の分類でいうと、ケフェウス座デルタ型、琴座 RR 型、乙女座 W 型を含んでおり、ケフェウス座ベータ型もケフェイドであろうとされている。今日脈動星として扱われている変光星のうち、

表 1: 食連星と脈動星との違い（シャプレーの考え方）

	食連星	脈動星
明るさの変化	一方の星が他の星の光を遮る	星の内側からの高温気体の噴出
スペクトルのずれ	星の公転運動を示す	星の膨張収縮運動を示す
変光の周期	星の公転運動の周期	星の膨張収縮運動の周期

ミラ型などは含まれていない。

## 8 脈動星の周期密度関係

シャプレーの論文の大部分は、数多くの観測結果についての議論であるが、最後に理論的な問題に触れている。理論の問題に深入りすることは、このノートの意図するところではないので、結論だけ書くと、気体球がごく小さな振幅で膨張収縮を繰り返す場合、その動きが周期的であるという条件をつけると、飛び飛びの周期の膨張収縮運動しか起きないという性質がある。これらの飛び飛びの周期に対応する膨張収縮運動を**固有振動**（proper oscillation）と呼ぶ。

これらの固有振動は、その周期の長い方から基本モード（fundamental mode）、第1陪振動モード（first overtone mode）、第2陪振動（second overtone mode）モードというように呼ばれる。ここでモード間の周期の比は単純に2倍3倍というようにはならないので、理論では陪振動（overtone）という表現を用いている。気体の運動であるから、熱の移動などの影響で、周期の長いモードの方が継続しやすいと思われる。そこで、すべてのケフェイドは基本モードで膨張収縮をしているであろうとシャプレーは考えた。こうした星の脈動理論は、オーガスト・リッター（August Ritter）の研究に始まるとされている(8)。

気体球の固有振動の場合、その気体球の平均密度と固有振動の周期の間には、理論的な関係があり、類似の構造を持った気体球の場合には、周期密度関係と呼ばれる関係が成り立つ。シャプレーは、周期を日を単位とし、平均密度は太陽の平均密度を単位として表すと、

$$\text{周期} \times \sqrt{\text{平均密度}} = 0.08 \quad (1)$$

という関係が、周期 0.4 日から 33 日にわたるケフェイドについて成り立つことを示した。右辺の 0.08 という値は、現在の理論で認められている値とは異なるが、当時の天文学の水準に照らして見れば、理論と観測の見事な一致といっても過言ではなかろう。

このようにしてケフェイドに関する脈動説が確立し、脈動星とケフェイドとは同義語のように用いられた。

## 9 脈動星の3つの問題点

ケフェイドの脈動説が受け入れられたのちに、解明されるべきいくつかの問題点が残った。それらのうち主な問題を挙げると、周期の問題、明るさの変化の問題、脈動持続性の問題であろう。

### 9.1 周期

脈動の周期は、星の平均密度と (1) 式の右辺の数値が分かれば計算できる。星の脈動理論のもっとも大きな任務は、この右辺の値を求めることがあった。

シャプレーの研究で、多くのケフェイドに対して共通の値が得られたので、この右辺の値は**脈動定数** (pulsation constant) と呼ばれた。この値は、星の中の温度や密度のようすによって異なった値を取るので、すべての脈動星に共通な定数を理論的に求めることはできない。そこで、この右辺の値は星ごとによって異なるというので、**脈動パラメター** (pulsation parameter) あるいは**脈動特性** (pulsation property) と呼ぶことが理論研究者の側からは、推奨されている。最近の理論では、この右辺の値は、振幅の大きな脈動では 0.03 から 0.05 くらいの値が妥当とされている。

理論的にこの式の右辺の値が限定されれば、この式を用いて個々の脈動星の平均密度を推定でき、観測から半径が分かれば、質量の範囲を推定できる。20世紀後半、ケフェウス座デルタ型星の質量をめぐって、長い議論が続いたが、現在では解決している。

### 9.2 明るさの変化

ケフェイドの明るさの変化の光度最大、光度最小は、いずれも半径が平均半径に近い時に起きている。ケフェイドの明るさの振幅は 1 等級程度あり、これは光の量にしてプラスマイナス 50% の変化に相当する。半径がほぼ等しいのにこれだけの明るさの変化が起きるために、星の表面からの光の放射率がプラスマイナス 10% 変化しているということである。

実際にスペクトルや色の変化から光の放射率を推定し、スペクトルのずれから半径の変化を求め、観測される光度変化をうまく説明できるかどうかが、観測者の課題となつたが、容易に解決できなかつた。ケフェウス座デルタ型の星について実際に満足できる結果が得られたのは、1961年にベヴリ・オーク (J. Beverly Oke) によってである(9)。シャプレーの最初の論文から数えて、実に47年後のことである。精密に星の明るさを測定する試みと、恒星大気の構造についての理解の進歩が、この成果につながつた。

### 9.3 脈動の励起と持続

理論の問題として重要であったのは、脈動が如何にして長時間持続するのかということであった。理論では、膨張すれば自分の重さで収縮し、収縮すれば圧縮された結果圧力が大きくなつて膨張に転るので、一旦脈動が始まれば、長時間継続することとなる。しかし、実際には熱を放出するので、膨張や収縮の勢いが前のサイクルよりも弱くなり、次第に振幅が小さくなるであろう。今日の見積もりでは、ケフェウス座デルタ型は、脈動を持続させようとする機構が働かなければ、100サイクルから1000サイクル程度脈動する間に、振幅が3分の1程度に減衰してしまう。

現実のケフェウス座デルタ型は、安定した脈動が観測されているのは、何らかの脈動維持機構が働いているからに相違ない。その機構は何かということが、理論研究者たちの課題となつた。ケフェウス座デルタ型の脈動維持機構がほぼ解明されたのは、ノーマン・ベイカー (Norman Baker) とルドルフ・キッペンハーン (Rudolf Kippenhahn) の論文が出た1960年代になってからである(10; 11)。脈動の維持機構については、別なノートの課題としよう。

## 10 ケフェイドの周期光度関係

### 10.1 リーヴィットの発見

ケフェイドに周期光度関係があることが、1908年、ヘンリエッタ・リーヴィット (Henrietta Leavitt) により、マゼラン星雲中の変光星観測の結果から発見され(12; 13)。リーヴィットは、小マゼラン星雲中で発見された25個の変光星の周期、極大光度、極小光度を測定し、周期が短い星は暗く、周期が長い星は明るいことを確かめた。

測定された変光星の明るさは、もっとも周期の短いHV1505星（周期1.25日）で極大光度が14.8等、極小光度が16.1等であり、もっとも周期の長いHV821星（周期127日）で極大光度が11.2等、極小光度が12.1等で

あった。これら 25 個の星の周期と光度の関係を見ると、周期が 10 倍になるとごとに 2.1 等づつ明るくなっていた。周期 10 日の変光星の平均光度は 14.1 等であった。

これらの変光星の光度変化は、琴座 UY 星や球状星団中の周期 1 日未満の変光星に似ていることが、当時の報告で指摘されているが、ケフェイドであるという指摘はまだない。

## 10.2 絶対光度の推定

ひとつひとつの星の距離を測定することができるようになると、それらの星が太陽に比べてどれほど明るいのか暗いのかということが関心を引くようになった。そこで、星の明るさを示す等級として、**見かけの等級** (apparent magnitude) と**絶対等級** (absolute magnitude) とを使い分けようになった。絶対等級で示した星の明るさが絶対光度である。

周期が何日のケフェイドの絶対等級はいかほどのかを知ることができれば、周期と光度との関係を用いて、マゼラン星雲の距離を知ることができる。エイナル・ヘルツスブルング (Ejnar Hertzsprung) は、銀河系内のケフェウス座デルタ型変光星の空間運動の観測結果を利用して、周期光度関係を周期と絶対等級との関係として確立しようとした(14)。ヘルツスブルングは、13 個のケフェウス座デルタ型の星の視線方向の運動と、固有運動とのデータを注意深く比較し、周期 6.6 日のケフェウス座デルタ型の星の平均の明るさが、観測者が 3.26 光年の距離から見た時に約 -7 等となるとし、この結果を用いると小マゼラン星雲の距離が約 3 万光年であるとした。これが、宇宙の大きさについての現代的な研究の第一歩となった。

絶対等級の定義としては、現在では観測者から 32.6 光年離れたところから見た明るさで示すこととなっており、太陽の絶対等級は 4.8 等とされているが、これは 1902 年にヤコブス・カプタイン (Jacobus Kapteyn) が提唱した記述法で(15)、ヘルツスブルングのこの論文執筆時には、まだ広く採用されていなかった。さらに、ヘルツスブルングが、この論文ではケフェイドという言葉を使用せず、ケフェウス座デルタ型という表現を用いているのも興味深い。

## 10.3 宇宙の灯台

その関係はすべてのケフェイドについて成り立つという理解が 20 世紀前半にはかなり広く行き渡った。シャプレーは球状星団の距離を推定し、それに含まれている周期 1 日以下のケフェイドの絶対等級が 0 等であるとして、宇宙の大きさを論じた。明るさを観測してその変光周期を測れば、

周期光度関係を用いて距離を知ることができるのであるから、ケフェイドは宇宙の灯台として利用されることになった。

その後、アンドロメダ星雲の変光星の観測から、周期が 1 日以上のケフェイドの周期光度関係と、周期 1 日以下のケフェイドの光度とには違いがあることが分かった。このことは宇宙の距離尺度の改訂として知られ、また星はその化学組成により種族 (population) に分類されることが分かり、恒星の理解を大きく進める手がかりとなった。このことは、また脈動変光星の分類に大きな影響を与えた。

## 11 琴座 RR 型の独立

星の種族の発見により、ケフェウス座デルタ星を代表とする周期 1 日以上のケフェイドを典型的なケフェイド (classical Cepheid)，あるいはより端的にケフェウス座デルタ型と呼ぶようになり、他方、球状星団中のケフェイドだけでなく球状星団の外に散在するケフェイドも含めた琴座 RR 型という分類が用いられるようになった。20 世紀初頭の星団型変光星の復活であるともいえるが、琴座 RR 型の独立ともいえる。種族の差を問題にする立場から、周期 1 日以上のケフェイドであっても、種族がケフェウス座デルタ星と異なると思われる星を、乙女座 W 型として、これも独立させる理解が確立していった。これらのグループの脈動星については、別に稿を改めて書くこととする。

変光星分類の経過という見方からすると、クラークが提唱し、シャプレーが用いたケフェイドという分類は、種族の発見以降は、変光星を分類する上ではいくつかのグループを含んだものとなってしまった。

## 12 ミラ型変光星

ミラは最初に変光星として認識された星であり、ミラに似た変光星は数多く発見されている。周期は 100 日から 700 日で、スペクトル型が M, N, R, S など、表面温度が低いことがこのグループの特徴である。

ミラ型は、長周期変光星 (long-period variables) と呼ばれていた。1930 年代に、これらを赤色変光星 (red variables) と呼ぶ人々もいた。いずれにせよ、ケフェイドと同じグループに入るという例は見あたらない。1970 年にモスクワで出版された書籍では、ミラ型変光星を脈動論で説明しようとする試みは成功していないとい記述がある (16)。しかし、ミラが食連星であると考えることは不可能であり、明るさの変動と同期するスペクトルのずれの変動、色の変動が観測されている以上、脈動星であると考えなければならない。以上は牡牛座 RV 型変光星についても同様であった。

表 2: 脈動変光星の種類

型	種族	変光原因
ケフェウス座デルタ型	I	ケフェイド型
乙女座 W 型	II	ケフェイド型
琴座 RR 型	II	ケフェイド型
盾座デルタ型	I	ケフェイド型
鳳凰座 SX 型	II	ケフェイド型
鯨座 ZZ 型	I ?	ケフェイド型
ケフェウス座ベータ型	I	ケフェイド型
ミラ型	I, II	未確定
牡牛座 RV 型	II	ケフェイド型
半規則変光星	I, II	未確定

このほかに青い短周期の変光星がある.

脈動星であることは間違いないと思われながら、脈動星である証拠が十分でないまま、これらの星は 20 世紀後半、興味ある研究対象として追究されてきた。牡牛座 RV 型、ミラ型は、脈動星であることで間違いはないが、それら星については別なノートで触れることとなろう。

### 13 現在の脈動変光星分類

脈動変光星とは、ケフェウス座型変光星の研究の中でたどり着いたものであり、その当時は、ケフェイドと同義であった。しかし、ケフェイド以外の変光星の研究が進み、またそれぞれの星の種族を考えに入れる必要が生じ、ケフェイドと脈動変光星とは同義ではなくなった。現在、どのような変光星が脈動変光星とされているかを示しているのが表 2 である。

スペクトル型がケフェウス座デルタ型より青い側にあり、かつ周期の短い変光星は、今までいくつかのグループに分類されているが、現在研究が続けられている最中といえる。

牡牛座 RV 型と乙女座 W 型を統一的に把握して研究しようという動きがあり、そのグループ名としてタイプ II ケフェイドという呼び名を用いている例もあるが、まだ広く受け入れられているとはいえない。

ミラ型は、表面温度の変動によって明るさが変わっていることは確認されており、星の膨張収縮が変光の原因と考えられているが、脈動がどのような機構で維持されているのかについては、なお解明する努力が続けられている。

## 参考文献

- [1] Vogel, H. C., 1890: Spectrographische Beobachtungen an Algol. *Astron. Nachr.*, Vol. 123, p. 289
- [2] Pickering, E. C., 1881: Variable Stars of Short Period. *Observatiry*, Vol. 4, p. 225
- [3] Belopolski, A., 1894: The Spectrum of  $\delta$  Cephei. *Astrophys. J.*, Vol. 1, p. 160
- [4] Clerke, A., 1903: *Problems in Astrophysics*. (出版者未確認)
- [5] Brunt, D., 1913: Some Problems if Astronomy, I. The Problem of the Cepheid variables. *Observatroy*, Vol. 36, p. 59
- [6] Schwarzschild, K., 1900: (論文題名未確認) . *Publ. v. Kuffnerschen Sternwarte*, Vol. 5, C100
- [7] Shapley, H., 1914: On the Nature and Cause of Cepheid Variation. *Astrophys. J.*, Vol. 40, p. 448
- [8] Ritter, A., 1879: (論文題名未確認) . *Wiedemanns Annalen*, Vol. 8, p. 172
- [9] Oke, J. B., 1961: An Analysis of the Absolute Energy Distribution in the Spectrum of Eta Aquilae. *Astrophys. J.*, Vol. 133, p. 90
- [10] Baker, N., Kippenhahn, R., 1962: The Pulsations of Models of  $\delta$  Cephei Stars. *Z. Astrophys.*, Vol. 54, p. 114
- [11] Baker, N., Kippenhahn, R., 1965: The Pulsations of Models of Delta Cephei Stars. II. *Astrophys. J.*, Vol. 142, p. 868
- [12] Leavitt, H. S., 1908: 1777 Variables in the Magellanic Clouds. *Annals Harvard College Observatory*, Vol. 60, p. 87

- [13] Pickering, E. C., 1912: Periods of 25 Variable Stars in the Small Magellanic Cloud. *Harvard College Observatory Circular*, Vol. 173, p. 1 (E. C. Pickering が Leavitt の研究を紹介する形になっている)
- [14] Hertzsprung, E., 1914: Über die Räumliche Verteilung der Veränderlichen vom  $\delta$  Cephei-Typus. *Astron. Nachr.*, Vol. 196, p. 201
- [15] Kapteyn, J., 1902: On the Luminosity of the Fixed Stars. *Publ. Kapteyn Astron. Lab. Groningen*, Vol. 11, p. 3
- [16] Ikaunieks, J., 1975: Long-period Variables of the Mira Ceti Type. *Pulsating Stars*, eds. B. V. Kukarkin, Chap. 9. Translated from Russian edition published 1970.

変光星ノート No. 1 脈動変光星の発見  
2008 年 1 月  
柳町自然研究所  
〒 980-0811 仙台市青葉区一番町 1-8-10-504