

牡牛座 RV 型変光星

竹内 峯 (柳町自然研究所)

目 次

1 特徴ある変光曲線	1
1.1 牡牛座 RV 型の発見	1
1.2 現在の定義	2
2 牡牛座 RV 型星はケフェイドか	4
2.1 周期光度関係	4
2.2 HR 図上での位置	6
3 光度の主極小と副極小	7
3.1 共振	7
3.2 流体力学模型	8
3.3 副極小	11
4 一角獣座 U 星のなぞ	11
4.1 RVB は食連星	11
4.2 ドーナツ状の雲	13
補遺	15
どんな車がシボレーか	15
微小振幅を仮定した場合の理論的周期	15

1 特徴ある変光曲線

1.1 牡牛座 RV 型の発見

牡牛座 RV 星が変光していることに始めて気付いたのは、リディヤ・ツエラスカヤ (Lydia Ceraski あるいは Tserasskaya) である (1). ついで、こ

の星が暗い極小と明るい極小を繰り返すことが報告され(2), シグル・エネボー (Sigurd Enebo) が詳しい観測結果を発表した. そこでは, 暗い光度極小と明るい光度極小が交互に見られること, また平均光度が緩やかに変化している様子が, はっきりと示されている(3). 牡牛座 RV 型という呼び名を使い始めたのもエネボーである(4).

ハーロー・シャプレー (Harlow Shapley) が, 星の脈動による変光という考えを提示する以前であるから, エネボーは牡牛座 RV 型を琴座ベータ型と似た星として考えている.

その後, 牡牛座 RV 星と, それに似た矢座 R 星, 小狐座 V 星の変光を詳しく調べたのは, ヤン・ファンデアビルト (Jan van der Bilt) で, この時期, 彼はミラ型変光星との類似を念頭に置いている(5). シャプレーは 1918 年の論文では, これらの星をケフェイドに似た星として扱っている(6). 周期が短いことと, ひとつひとつの光度極大の前後だけを見れば, ケフェウス座デルタ型に似ていること, また, シャプレーが, 変光に不規則性が見られるのが脈動星の基本的な特徴だと考えていたことから, こうした判断に至ったのであろう.

牡牛座 RV 型を詳しく調べたのはボリス・ゲラシモヴィッチ (Boris Gerasimovich あるいは Gerasimovič) である(7). 光度極小に暗い極小 (主極小) とそれほど暗くない極小 (副極小) とがあり, それが交互に現れるについて, 彼は, ある周期の振動と, その二分の一の周期の振動とが重なり合って生じているのではないかと考えた. この考えが最終的に確認されるまで, 実に七十年の歳月が必要であった. なお, ソ連時代の変光星総合目録編集部は, 国内政治上の理由から彼の仕事にほとんど触れていない.

1.2 現在の定義

変光星総合目録 (GCVS) では, 牡牛座 RV 型変光星を次のように説明している.

「動径方向振動をしている超巨星で, そのスペクトル型は光度極大時には F 型ないしは G 型で, 光度極小時には K 型から M 型である. 光度曲線の特徴は, 暗い光度極小 (主極小) とそれほど暗くない光度極小 (副極小) が交互に現れることで, 極小時の明るさは変化し, 主極小と副極小とが交代することがある. 光度極大と主極小との間の光度差は, 実視等級で 3 ないし 4 等になることがある. 引き続く主極小の間の時間間隔は通常 **フォーマル周期** (formal period) と呼ばれるが, 30 日から 150 日の間にある. この型の変光星には, さらに RVA 型と RVB 型という異なった特徴を示す星がある.」

表 1: 明るい牡牛座 RV 型の星

星	明るさ (等)	周期 (日)	スペクトル型
盾座 R	4.2 - 8.6	147	G0Ia - K2 (M3) Ib
一角獣座 U	6.1 - 8.8	91	F8Ib - K0Ib (M2)
ヘルクレス座 AC	6.9 - 9.0	75	F2Ib - K4
小狐座 V	8.1 - 9.5	76	G4 - K3 (M2)
矢座 R	8.0 - 10.4	71	G0Ib - G8Ib
牡牛座 RV	9.8 - 13.3	79	G2Ia - M2Ia

冒頭の「動径方向振動をしている」という説明は、理論での解釈で観測での特徴ではないように感じられる。しかし、色あるいはスペクトルの観測では、表面が高温になっている時期と、明るい時期とがほぼ一致しているので、動径方向脈動と言い切ってよいであろう。そう考えると、これも観測的特徴ということになる。次の「超巨星」というのは、スペクトルが表面重力が太陽の千分の一あるいはそれ以下という特徴を示しているという意味である。天体物理学では、超巨星という表現は、星の半径の大小と直ちには関わりがないのであるが、専門誌の論文でも、そこがあいまいな論文がある。

牡牛座 RV 星では、平均光度の緩やかな変動が見られたが、こうした変化が見られない星もある。このことから、変光星総合目録では、平均光度の変動しない星を RVA とし、変動する星を RVB としている。RVB の代表的な星は、一角獣座 U 星で、周期 1,500 日程度の緩やかな変動が見られる。この型の星については、このノートの最後で触れる。

およそ脈動星は、変光曲線に不規則な変動があるが、牡牛座 RV 型は不規則性が著しい。その例として盾座 R 星の観測結果を示す（図 1）。

この星は RVA に分類されており、平均光度は変わらないとされている。しかし、変わらないのは極大光度であって、極小光度が 6 等級程度から 8.5 等級程度の間を変動するので、厳密にいえば平均光度一定とは言い難い。しかし、一角獣座 U 星の光度変化（図 5）と比べれば、確かにその様子は大きく異なっている。

表 1 に明るい牡牛座 RV 型星を掲げた。周期はフォーマル周期で、スペクトル型の記号中、I は超巨星の特徴を持つことを示している。Ia はその中でも特に表面重力が小さいことを示し、Ib は表面重力がやや大きいことを示している。

スペクトル型が超巨星の特徴を示すことから、牡牛座 RV 型は絶対等級が高い（明るい）という誤解が、専門家の間でもしばしば生ずるが、単に

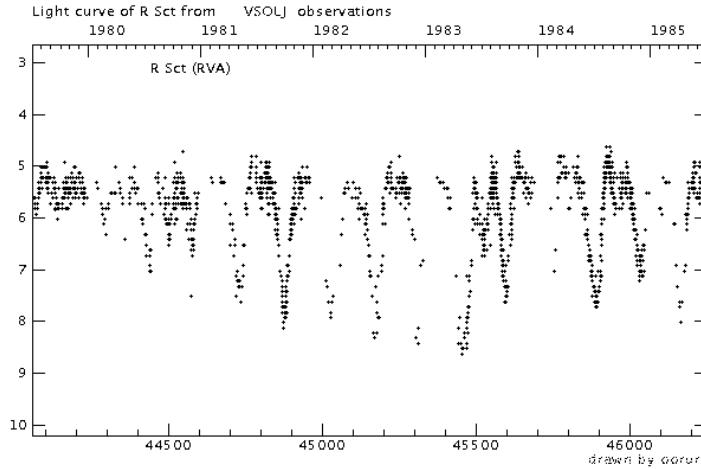


図 1: 盾座 R 星の変光曲線. 1979 年中頃から 1985 年に至る約二千日間の観測結果が示されている. この結果は日本変光星観測者連盟 (VSOLJ) で発表しているものである.

表面重力が極めて小さいということだけが、スペクトルの特徴から知られるので、絶対等級がどうかはスペクトル型からは分からない.

ここに掲げられた 5 個の星のうち、一角獣座 U, 矢座 R, 牡牛座 RV の 3 個の星は RVB の特徴を示している. これらの星の平均光度の変動の周期は、それぞれ約千五百日, 千百日日, 千二百日である.

牡牛座 RV 型星の変光については、近年かなり理解が進んできているので、紹介したいことも少なくない. このノートでは、まずケフェウス座デルタ型星との関連について考え、牡牛座 RV 型星がケフェイド不安定帶にあることを確かめる. 次に流体力学模型の研究結果に基づいて、副極小の性質を考える. 最後に、RVB 型についての近年の見方を紹介する.

盾座 R 星に見られるような振幅の変動や、その他の話題については、別のノートで触れる.

2 牡牛座 RV 型星はケフェイドか

2.1 周期光度関係

牡牛座 RV 型星を理解する上で、鍵となった観測は、何といっても大マゼラン星雲の大規模測光で周期光度関係が確認されたことである. このことについては、ノート No. 2 で記述したが、そこで掲げた図を再び掲げる(図 2).

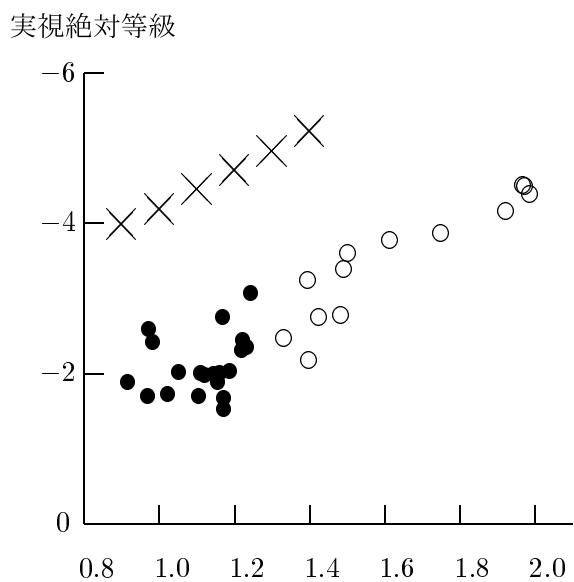


図 2: タイプIIケフェイドの周期光度. 大マゼラン星雲の33個のタイプIIケフェイドの周期と光度を示す. 黒丸は乙女座W型, 白丸は牡牛座RV型の変光星を示す. 横軸は周期の対数で, 周期20日(対数で1.3)のところで, 乙女座W型と牡牛座RV型とが分かれている. 縦軸は実視絶対等級である. 上部の×印は, 同じく大マゼラン星雲のケフェウス座デルタ型星の周期光度関係を示す.

牡牛座 RV 型については、引き続く光度極大の時間間隔を採用する場合と、引き続く深い光度極小の時間間隔を採用する場合とがあるので注意が必要である。図 2 では、フォーマル周期すなわち後者を用いている(8)。

図には比較のため、大マゼラン星雲のケフェウス座デルタ型星の周期光度関係を示してある。牡牛座 RV 型星より周期の短い側に分布するケフェイドは、乙女座 W 型星である。

大マゼラン星雲の観測結果により、牡牛座 RV 型変光星がケフェウス座デルタ型と比べられる変光星であることが確かめられた。なお、松永典之(Noriyuki Matsunaga) たちは、球状星団の牡牛座 RV 型星を観測し、周期光度関係が、大マゼラン星雲の星とずれていることを指摘している(9)。規則性の乏しい変光星の場合、周期決定にはおりおり誤差が伴うので、球状星団の星の変光を連続的に監視することが望まれる。

2.2 HR 図上での位置

周期光度関係が確認されたことにより、HR 図上での牡牛座 RV 型星の分布もようやく確かめることができるようにになった。そこで、スペクトル型と絶対光度とを横軸と縦軸に取った HR 図を描くことが可能になった(図 3)。

周期から絶対光度を求めるために用いたのは次の関係である。

$$\text{実視絶対等級} = 1.34 - 3.07 \times \log(\text{周期}) \quad (1)$$

用いたのは、以前ジョージ・プレストン(George W. Preston)らが観測した星のうちから、彼らが比較的通常の星と似たスペクトル型を示すとした 13 個の星のデータである(10)。

ノート No. 3 の図 1 に掲げてあるケフェウス座デルタ型の星の分布と比べて見ると、光度極大時、すなわち最も青くなった時の HR 図上での位置は、ケフェウス座デルタ型では F 型の赤い方で、牡牛座 RV 型ではそれよりも低温側に散在している。最も大きく異なるのは、光度極小時すなわち最も赤くなった時で、ケフェウス座デルタ型では G 型の特徴を示しているのに対して、星により異なるが M 型の特徴を示すまで表面温度が下がっているものも幾つかある。

図 1 に掲げてある盾座 R 星の変光曲線を見ると、光度極大の明るさはほぼ一定で、光度極小の明るさはかなり変動している。光度極小は、星の膨張の結果、表面温度が下がることによってもたらされるのであるから、その時々の膨張の具合で、光度極小時のスペクトルの特徴もかなり変動していると思われる。星に固有な性質を示す特徴としては、光度極大時のスペクトルの方が、光度極小時のそれよりも適当であると考えられる。そうす

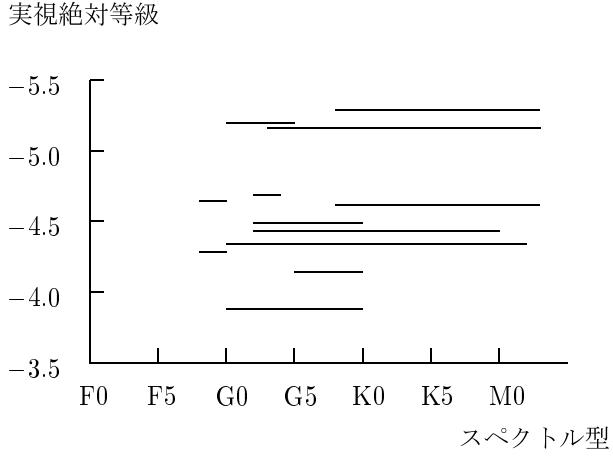


図 3: 牡牛座 RV 型変光星の HR 図. 横軸はスペクトル型. 個々の星は直線で示されている. 左端が光度極大時, 右端が光度極小時のスペクトル型を示している. この方の星のスペクトルには, 通常の星とは異なった様々な特徴があり, ここで示されている型の標準的なものとは同じではない. 縦軸は実視絶対等級で, 大マゼラン星雲の周期光度関係を利用して周期より導いた.

ると, 牡牛座 RV 型の星は, ケフェイド不安定帯に属しているが, 表面温度はやや低く, ケフェウス座デルタ型の星に比べて, より大きく膨張する性質を持っているとしてよいであろう.

スペクトル型が通常の星とかなりかけ離れた特徴示す星は, 特異 F 型 (F_p 型) に分類されている. これらの星を, 通常の F 型と同じように図に示すと, ケフェイド不安定帯の青側にはみだしてしまう. 最近でも, 牡牛座 RV 型の HR 図上での分布を, ケフェウス座デルタ型の赤側に描いている例が見られるが, 光度極小時に重みを置いて描いているということであろう. また, 右下がりに描いている例が見られるが, 図 3 では, そのようには見えない. かなり以前の論文を拠り所にしたものと思われる.

3 光度の主極小と副極小

3.1 共振

牡牛座 RV 型の特徴は, 何といっても光度極小に, 暗くなる主極小と, あまり暗くならない副極小との 2 種類があることである.

ゲラシモヴィッチが考えたように, 主極小の中間に副極小が挟まる光度曲線の形は, ある周期の主な振動と, その半分の周期の振動とが, 重なり合っている様を想起させる. ケフェイド不安定帯の星の構造を計算し, 基

表 2: 流体力学模型の要素

質量	太陽の 0.6 倍
絶対光度	太陽の 3100 倍
表面温度	5100 度
化学組成	水素 70 パーセント ヘリウム 28 パーセント

本様式の周期と、第 1 陪振動の周期とが、1 : 2 になる場合があることを、実際に示したのは、竹内峯 (Mine Takeuti) とオーツェン・ピーターセン (J. Otzen Petersen) である (11).

この説を実際の牡牛座 RV 型に適用しようとすると、周期が長い星は絶対光度が明るいという性質が期待された。ところが、この共振説による計算が発表された当時は、牡牛座 RV 型の周期光度関係は、そのようになつてはいないという論文があり、観測と理論が食い違ったままでしばらくの年月が経過した。この説が最終的に受け入れられたのは、大マゼラン星雲の牡牛座 RV 型の周期光度関係が確認されてからである。

3.2 流体力学模型

流体力学模型による牡牛座 RV 型の変光の再現に最初に成功したのはアンドレイ・フォーキン (Andrei B. Fokin) である (12)。当時の電子計算機の能力を考えると、計算にかなり時間のかかったはずである。この研究は、観測された表面温度、表面重力、星の構造の理論から推定された質量を組み合わせ、主極小と副極小を繰り返す変光を再現することにより、牡牛座 RV 型星がどのような変光星であるかを、基本的に解明したもので、牡牛座 RV 型星の研究としては画期的なものであった。

フォーキンは、星の質量が太陽の 0.6 倍、星の絶対光度は太陽の 3 千倍から 7 千倍の範囲の模型を対象した。この光度は、マイナス 4 等からマイナス 5 等に相当する。

フォーキンの計算は、また、共振説を裏付けるものでもあった。

ここで、変光星ノート No. 4 で用いた流体力学模型で、牡牛座 RV 型星の数値シミュレーションを行った例を以下に示そう。

考え方としては、牡牛座 RV 型星はケフェイド不安定帯にあるとし、光度変化の不規則性が著しいのは、表面重力が小さいからであろうと推定する。恒星構造の理論から、質量は太陽の 0.6 倍とする。このように質量を仮定すると表面重力はケフェウス座デルタ型星よりもかなり小さくなるので、かなり不規則な変動をするであろうと考えられる。

例として表 2 に掲げるような要素の模型の性質を調べることとする. この星の半径は太陽の 72 倍, 表面重力は太陽の一万分の一で, ケフェウス座デルタ型の星に比べてさらに小さい. 計算は, 星を 162 個の球殻に分けて進められた. 対流のことは考えていない.

手始めに, 膨張収縮の振幅が極めて小さく, その時間変化が正弦曲線で表すことができるという仮定で, この模型の脈動を計算を試みる. この模型で表されるような星では, 表面近くでは気体の密度が極めて低いので, 热の移動による膨張収縮の効果が著しく, 热の移動を無視した近似の精度が極めて低くなる. そこで, 热の移動を考慮に入れた膨張収縮の周期を見ると, 基本振動様式の周期は 54 日で, 第 1 陪振動様式の周期は 29 日となり, その比が 1 : 1.9 になる. これは, 先に記した共振が起きる可能性が高いので, 牡牛座 RV 型に似た変光を示すことが期待される.

実際に数値シミュレーションを行った結果を図 4 に示す. 热の移動を考慮に入れた微小振幅で得られた基本様式での周期がおよそ 54 日で, 秒で数えると 466 万秒であったが, それに近い周期で模型は膨張収縮を繰り返している. 牡牛座 RV 型の星に見られるような, 副極小が光度変化に現れている.

図の上段に示してある絶対光度の変化はかなり不規則である. 矢印で示した短時間の減光は, 模型の表面で衝撃波が生じていることに関係して起きている. このような短時間の減光が, 衝撃波面の凹凸を計算では考えに入れていないことで強調されて表れているのか, 実際には連続測光をすればこのような短時間の減光があるのか, よく分からない. 小さな変動を無視すると, 主極小と副極小を繰り返す牡牛座座 RV 型の変光をしているよう見える.

図の中段に示してある模型の半径の変動と, 絶対光度の変動とを比較すると, 副極小を挟んだ二つの光度極大が, 膨張しつつある時期に起きており, 主極小が模型の収縮しつつある時期に起きている. 膨張しつつある時に明るくなるというケフェウス座デルタ型や, 琴座 RR 型と類似した関係であることが分かる.

中段の図では, 内側から数えて 156 番目の球殻の半径の変動と, 光球の位置と, 内側から数えて 45 番目の球殻の半径とが描いてある. いずれも引き続く主極小の間の周期 (フォーマル周期) で変動を繰り返している. 注目すべきことは, 内側の球殻の動きには, 副極小に相当する変動は見られず, 模型を構成している物質の大部分は, フォーマル周期で膨張収縮を繰り返しているだけである.

図 4 に示されている内側から 45 番目の球殻は, 最も収縮した時には温度が 25 万度まで上がり, 最も膨張した時には 6 千度まで下がる. この球殻の半径は静止時に比べて膨張時と収縮時とでは, それぞれ 50 パーセント

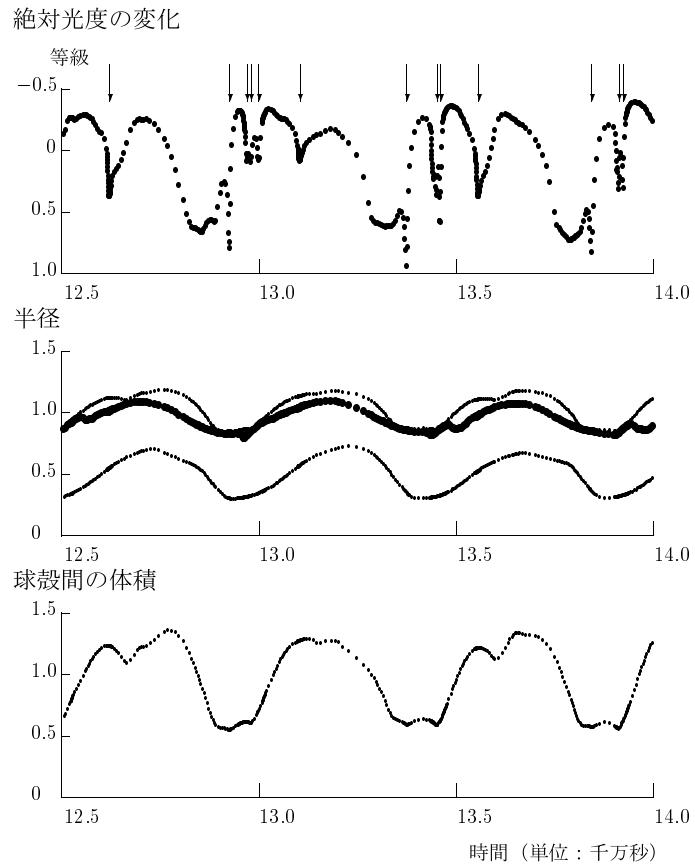


図 4: 質量の小さなケフェイドの流体力学模型. 上から絶対光度, 模型の球殻の半径, 球殻間の体積の変化を示す. 横軸は時間で, 単位は千万秒である. 絶対光度の尺度は等級で, 振幅は 1 等弱である. 矢印は, 模型の表面近くで生じた衝撃波による短時間の減光を示す. 球殻の半径の上は内側から数えて 156 番目の球殻の半径, 真ん中の大きな点は, 特定の球殻ではなく, その時々の光球の半径, 下は内側から数えて 45 番目の球殻の半径の時間変化である. 尺度は, 静止時の光球の半径を 1 としている. 球殻間の体積は, 内側から数えて 156 番目と 45 番目の球殻との間の体積である. 単位は静止時の体積を 1 としている.

近くも変動し、この球殻の内側の体積の変動は 10 倍にもなる。ケフェウス座デルタ型や琴座 RR 型に比べて、膨張収縮の規模が極めて大きい。

3.3 副極小

図 4 を見ると、光度変化では副極小が見られるのに、模型の内部ではそれに応する変化は見られない。では、副極小は何に起因して起きているのであろうか。それを見るために、ここで取り上げた 2 個の球殻の間にある物質の密度の変化を調べてみよう。

図 4 の下段に示されている、内側から数えて 156 番目の球殻と同じく内側から数えて 45 番目の球殻との間の体積の時間変化を見ると、光度変化の主極小に対応する明瞭な体積の減少とは別に、光度の副極小に対応する体積の小規模な減少が見られる。

星の光球のすぐ内側の温度が上昇すると、この部分の体積が膨張するから、星が明るく輝き、その部分の温度が低下すると、体積が縮小し、また星も暗くなるという関係がここでは見られる。

第 1 陪振動様式の膨張収縮では、星の内側に比べて、表面のすぐ内側での体積変動の割合が大きいので、第 1 陪振動の様式が、基本様式の振動との共振で引き起こされた時に、このような牡牛座 RV 型の光度変化が見られるのである。

流体力学模型の計算の結果は、主極小は星全体の膨張収縮の動きと関係して生じているが、副極小は星の表面の変動によって生じていることを示している。

4 一角獣座 U 星のなぞ

4.1 RVB は食連星

代表的な RVB 型の星である一角獣座 U 星の光度変化を図 5 に示した。周期約 90 日の牡牛座 RV 型の変光が繰り返されているが、その平均光度がかなり暗くなっている。この図に示された時期は平均光度が暗くなっている時期で、やがて平均光度は以前の明るさに戻る。一角獣座 U 星の場合、このよう平均光度の増減が約 1500 日の周期で見られる。

ノート No. 5 で記述したように、カシオペア座 TU 星など短周期のケフェウス座デルタ型星は、二つの異なる周期の脈動が同一の星で起きており、その結果、振幅に喰りと呼ばれる変動が生じていた。一角獣座 U 星のように平均光度が変動する RVB 型の変光星を、カシオペア座 TU 星と同様な現象が起きているとして説明しようとする試みもあった。

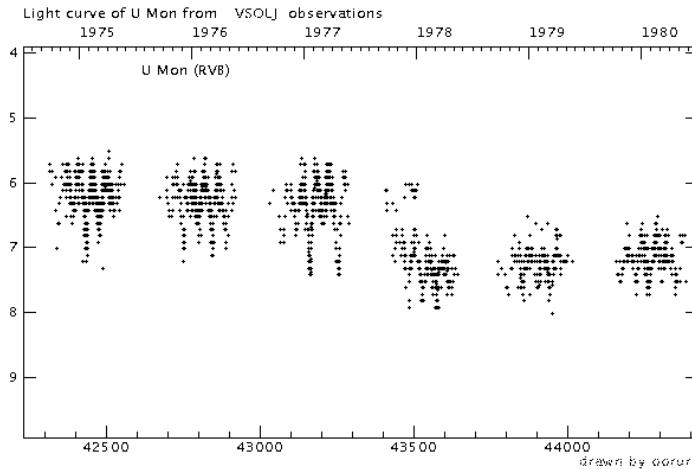


図 5: 一角獣 U 星の変光曲線. 一角獣座 U 星は, 平均光度が変動することで知られている. この図に示されているのは, 平均光度が明るい状態から暗い状態へと移行する時期である. 4 年ほど周期で, 平均光度が明るい状態と暗い状態とを往復する. この観測は日本変光星観測者連盟 (VSOLJ) で発表しているものである.

しかし, 2 種類の異なった様式の脈動が同時に起きているという説の最も致命的な困難は, 平均光度の変動が大きすぎることであった. フォーキンが, 白鳥座 DF 星を例に挙げて展開した議論 (12) を, ここでは一角獣座 U 星を例にとって紹介しよう.

図を見ると, この星の平均光度は 1977 年半ばまでは 6 等よりいくらか暗い程度である. それが 1977 年末からは 7.4 等程度に見える. この差は少なめに見積もっても 1.2 等に達する. これは, 放射の率に換算すると, 3 倍の違いである. 平均光度が明るい期間も暗くなつてからも平均表面温度が変わらないので, この明るさの変化は表面積の変動によるとしなければならない. 平均表面積が 3 倍変化しているすれば, 平均半径は 1.7 倍変わつてこととなる.

平均半径が 1.7 倍変化しているならば, 平均光度が明るい期間は, 暗い期間に比べて, 平均密度が 5.2 倍高いということになる.

脈動変光星では, 周期密度関係が成り立つので, このような平均密度の変化が実現しているならば, フォーマル周期が 2.3 倍短くならなければならぬ. しかし, 周期のそのような変動は観測されないから星の平均半径に変動はなく, また, 表面温度の平均の変動も観測されていないので, 平均光度の変動は食によると考えるほかない.

こうして, RVB 型の変光の説明は, 一方の星が牡牛座 RV 型である食連

星として、どう理解するかにしばられた。

4.2 ドーナツ状の雲

一角獣座 U 星のスペクトル線のずれを観測した結果、確かに連星の一方であることは確かめられた。ところが、この星が公転軌道の手前側に来た時に、平均光度が暗くなっていることが分かった(13)。通常の食連星では、隠される星が軌道の向こう側にある時に暗くなる。これに比べると状況は逆になっていて、通常の食連星のように説明できないことが分かった。

連星で、しかも星が手前に来ている時に暗く見えるという状況を説明できる提案をしたのは、クリストッフェル・ウェルケンス (Christoffel Waelkens) とローレンス・ワーテルス (Laurens B. F. M. Waters) とである(14)。彼らの提案は、**微小固体粒子** (dust) の雲が、ドーナツ状に一角獣座 U 星を含む連星系を取り巻いており、われわれはそれらを、斜め上からのぞき込んでいると考えればよいというものであった。

詳しい計算は省略するが、一角獣座 U 星は質量が太陽の 0.58 倍、相手の星は、質量は太陽の 1.6 倍で、スペクトル型が A 型から F 型あたりの主系列星と推定される。相手の星は暗くて観測されていない。このような連星系を取り巻いて、冷たい固体粒子の雲があると考えれば、観測はうまく説明できる(15)。

このような雲をつくる微小固体粒子は、連星系から放出されたものであろうから、次第に外側へと拡散していくであろう。そう考えると、RVB 型の平均光度が暗くなる現象は、毎回少しずつ異なり、時によってはしばらく起きないということも考えられる。観測がさらに蓄積されれば、微小固体粒子の雲の性質について、より具体的なことが分かってくるであろう。

参考文献

- [1] Ceraski, W., 1905: Trois Nouvelles Variables. *Astron. Nachr.*, Vol. 168, p. 29
- [2] Seares, F. H., Haynes, E. S., 1908: The Variable RV Tauri (45.1905). *Laws Obs. Bull. Univ. Missouri*, Vol. 1, p. 215
- [3] Enebo, S., 1908: Über den Lichtwechsel von RV Tauri. *Astron. Nachr.*, Vol. 177, p. 313
- [4] Enebo, S., 1912: Bestätigung der Veränderlichkeit einiger Neu Entdeckten Variablen. *Astron. Nachr.*, Vol. 192, p. 185

- [5] van der Bilt, J., 1916: The Variable Stars R Sagittae, V Vulpeculae, RV Tauri Part I, An Analysis of the Light-Curve of RV Tauri. *Recher. Astron. Obs. Utrecht*, Vol. 6, p. iii
- [6] Shapley, H., 1918: Studies Based on the Colors and Magnitudes in Stellar Clusters. VIII. The Luminosities and Distances of 138 Cepheid Variables. *Astrophys. J.*, Vol. 48, p. 279
- [7] Gerasimovič, B. P., 1929: Investigation of Semiregular Variables. VI. A General Study of RV Tauri Variables. *Harvard College Obs. Circ.*, Vol. 341, p. 1
- [8] Fokin, A. B., Pollard, K. R., 2001: Period-Luminosity Relation for RV Tauri Stars, In *Stellar Pulsation – Nonlinear Studies*, eds. M. Takeuti, D. D. Sasselov, *Astrophys. Space Sci. Library*, Vol. 257, p. 122
- [9] Matsunaga, N., Fukushi, H., Nakada, Y., et al, 2006: The Period-Luminosity Relation for Type II Cepheids in Globular Clusters. *Mon Not. Roy. Astron. Soc.*, Vol. 370, p. 1979
- [10] Preston, G. W., Krzeminski, W., Smak, J., Williams, J. A., 1963: A Spectroscopic and Photoelectric Survey of the RV Tauri Stars. *Astrophys. J.*, Vol. 137, p. 401
- [11] Takeuti, M., Petersen, J. O., 1983: The Resonance Hypothesis Applied to RV Tauri Stars. *Astron. Astrophys.*, Vol. 117, p. 352
- [12] Fokin, A. B., 1994: Nonlinear Pulsation of the RV Tauri Variables. *Astron. Astrophys.*, Vol. 292, p. 133
- [13] Percy, J. R., 1993: Long-term Changes in RV Tauri Stars. In *Luminous High Latitude Stars*, D. D. Sasselov, ed., ASP Conf. Ser., Vol. 45, p. 253
- [14] Waelkens, C., Waters, L. B. F. M., 1993: Radial-Velocity Variations of Three Famous High-Latitude Supergiants. In *Luminous High Latitude Stars*, D. D. Sasselov, ed., ASP Conf. Ser., Vol. 45, p. 253
- [15] Takeuti, M., 1998: Binary Models of the RVb Stars. *Saito-Ho-On Kai Mus. Res. Bull.*, No. 66, p. 15
- [16] Wallerstein, G., 2002: The Cepheids of Population II and Related Stars. *Publ. Astron. Soc. Pacific*, Vol. 114, p. 689

- [17] Takeuti, M., Aikawa, T., 1986: Revision of Pulsation Properties of Yellow Bright Stars. *Sci. Reports Tôhoku Univ.*, Eighth Ser., Vol. 7, p. 109
- [18] Aikawa, T., 1985: Non-adiabatic Effects on the Pulsation Periods. *Astrophys. Space Sci.*, Vol. 109, p. 183

補遺

どんな車がシボレーか

どの星が牡牛座 RV 型に属するかについては、おりおり議論がある。ジョージ・ウォーラースタイン (George Wallerstein) は、「ヘレン・ソーサー・ホッグ (Helen Sawyer Hogg) とセシリア・ペイン・ガポシキン (Cecilia Payne Gaposchkin) が牡牛座 RV 型に分類したのなら、それは牡牛座 RV 型なのだ。（ゼネラル・モーターズがこの車はシボレーだというのならそれはシボレーなのだ。）」と述べている(16)。

シボレーといえば販売台数の多い米国の乗用車であるが、しばしばモデルチェンジが行われ、1920 年代と最近とでは似ても似つかぬ外観となっている。それでも自動車を製造している会社がシボレーだとして売っているからには、シボレーに違いない。

牡牛座 RV 型という分類ができた頃と現在とでは、観測結果も蓄積され、観測手段も多様になり、昔の定義が言葉通りあてはまるとは限らないかも知れない。しかし、歴史的に形成されてきた変光星分類を、どの項目がどうあてはまるかあてはまらないかで、いちいち変える必要が本当にあるのだろうか。ウォーラースタインが述べているのは、そういう意味であろう。歴史的に形成されてきた変光星の分類を用いないわけにはいかないし、用いるとなれば、こう割り切らないと議論が進まないということはある。

ここでウォーラースタインが名前を挙げているヘレン・ソーサー・ホッグとセシリア・ペイン・ガポシキンとは、米国、カナダで活躍した女性天文学者で、変光星観測の分野で大きな業績を挙げた。ヘレンは 1905 年に生まれ 1993 年に亡くなった。私の仕事に着目して声を掛けて頂いたことは生涯忘れないであろう。セシリアは 1910 年生まれで 1979 年に亡くなった。私はお会いする機会はなかったが、私の恩師の一人である萩原雄祐 (Yusuke Hagihara) からその仕事ぶりを聴かされたものである。

微小振幅を仮定した場合の理論的周期

膨張収縮の振幅が極めて小さく、その時間変化が正弦曲線で表すことができるという仮定を行う、専門家の間では線形近似 (linear approximation) と呼ばれる。線形近似でも、牡牛座 RV 型星の模型の場合には、その仮定の取り方でかなり異なった結果がでる。

各球殻の間での熱の流れが、静止している場合と同様なままであると仮定して行う計算を線形断熱近似 (linear adiabatic approximation) と呼び、専門の論文では LA などと略記される。このような近似のもとでは、このノートで扱った流体力学模型にの場合には、膨張収縮が基本様式の場合には周期が 102 日となり、第 1 陪振動様式の場合には周期が 23 日となる。

他方、同じ線形近似であっても、各球殻の間での熱の移動があるとする近似を、線形非断熱近似 (linear non-adiabatic approximation) と呼び、LNA のように略記される。このような近似で計算すると、周期はそれぞれ 54 日と 29 日となる。違いは基本様式の場合に著しい。

このことを指摘した竹内たちの研究がある(17)。このような熱の移動の取扱によって理論的周期に違いが生ずる機構については、相川利樹 (Toshiki Aikawa) が研究している(18)。

変光星ノート No. 6 牡牛座 RV 型変光星

2008 年 6 月

柳町自然研究所

〒 980-0811 仙台市青葉区一番町 1-8-10-504