

それはカシオペヤ座 TU 星から始まった

竹内 峯 （柳町自然研究所）

目 次

1	カシオペヤ座 TU 星の変光	1
2	唸りを示す脈動星	2
2.1	唸り	2
2.2	膨張収縮の幾つかの様式	3
3	脈動変光星の質量の推定	4
3.1	ケフェウス座デルタ型変光星の質量	4
3.2	唸りを示すケフェイドの質量	4
3.3	盾座 V367 星	5
3.4	さまざまな提案	5
4	不透明度の問題	6
4.1	ロスアラモス研究所の結果	6
4.2	新しい計算結果	7
5	大マゼラン星雲の大規模測光	9
6	現在確認されている銀河系の二重周期ケフェイド	10
	補遺	13
	観測結果の報告	13

1 カシオペヤ座 TU 星の変光

天の北極に近いカシオペヤ座にある 6.9 等から 8.2 等の間で光っている TU 星は、ケフェウス座デルタ型変光星であるが、変光曲線に独特な癖があることで知られていた。

アメリカ変光星観測者協会 (American Association of Variable Star Observers) のホームページでは, 2005 年秋の季節の変光星としてこの星を取り上げている. そこでは, 1911 年にアニー・キャノン (Annie Jump Cannon) によってこの星の変光が確かめられたこと, 1916 年にハーロー・シャプレー (Harlow Shapley) がそのスペクトル型を改訂したことなどが記されている. 1928 年になり, ロスコ・サンフォード (Roscoe F. Sanford) が周期が 2.1391 日であることを確かめると共に, スペクトルのずれから星の膨張収縮の様子を見ると, 別な周期の変化が重なっているようだとして記している (1).

チャールス・ウォーリー (Charles Worley) とオリン・エゲン (Olin Eggen) は, この星の明るさの観測結果をまとめたが, ある時の極大光度は確かに 6.88 等になっているが, 別なときの光度極大は 7.4 等よりも暗い. 他方, 光度極小の明るさを見ると, 7.8 等から 8.0 等のあたりでばらついていた (2).

光度極小はほぼ一定で, 振幅が 1.5 等から 2.1 等まで変動している変光の様子を見ると, この星は, 光度極大の時期に太陽面爆発 (flare) に似た現象が起きているのではないかと考えられる. しかし, 光度極大の時期以外にも, 光度曲線に変形が見られるので, 二つの異なった周期を持つ振動が重なり合っているのではないかと, 彼らは考えた.

極大光度の変動を詳しく観測し, 整理したのはピーテル・オーステルホフ (Pieter Oosterhoff) である. 彼は, 明るい光度極大の間隔が 5.2306 日であるとすると, 観測がうまく説明できることを発見した (3). 彼の発見は, **唸りを示すケフェイド** (beat Cepheid) という新しいグループの確立につながり, その研究は, その後四十年間脈動変光星研究の専門家の間で大きな課題となった

2 唸りを示す脈動星

2.1 唸り

唸るというと動物の唸り声をまず思い起こすかも知れないが, ここでいう唸りは, 釣り鐘を突いて鳴らした時の唸りの方である. 釣り鐘は形が完全に対称でないので, 多少異なった高さの音が同時に発生する. それらの複数の音が重なり合うと, 音の強さに強弱が生じる. それが, 唸りである.

ふだん鐘の音に縁のない生活している者でも, 除夜の鐘を実況放送などで耳にする際には, それを確かめることができる. インドネシアにゴングという楽器がある. 銅製で, それを吊して叩くのであるが, その響きに独特の唸りがあり, 聴く者の心に残るものがある.

カシオペア座 TU 星は, 2.139 日の周期で変光しているが, その極大光

表 1: オーステルホフの確認した唸りを示すケフェイド

星	変光周期	振幅の変動 する周期	二次的振動 の周期
カシオペヤ座 TU	2.139 日	5.2506 日	1.5183 日
南三角座 U	2.5684 日	6.9794 日	1.8775 日

度が明るくなったり暗くなったりすることが、鐘の音の強弱の変動と同じ原理によっているというので、唸りと呼ばれる。極大光度の明るさの変動は、言い換えれば振幅の変動である。振幅が変動する周期を**唸りの周期**（beat period）と呼ぶ。オーステルホフはまた南三角座 U 星の唸りを発見した (4)。彼が得たこれらの星の変光周期は、表 1 のようであった。表で、二次的振動と記してあるのは、唸りを引き起こすもうひとつの振動のことである。このようにしてケフェウス座デルタ型の星の中には、幾つかの唸りを示すケフェイドがあることが分かってきた。

2.2 膨張収縮の幾つかの様式

唸るケフェイドが、二次的な変光の周期を持っているとすると、ひとつの星が、2 種類の異なった膨張収縮の周期を持っているということになる。星が膨張収縮するにあたって、その周期が幾通りもあることは、他の振動現象からも類推できる。

例えば、笛を吹く場合、微妙な息づかいの違いで、1 オクターブ高い音を出したりすることができる。これは、笛の内部で空気が震える際に、幾つかの**様式**（mode）があるからである。星の場合も、基本様式（fundamental mode）、第 1 陪振動様式（first overtone mode）、第 2 陪振動様式（second overtone mode）など幾つもの様式での膨張収縮が考えられ、様式ごとに固有の周期を示す。

星の場合、中心部は温度が表面近くに比べて高く、そのため音速が速い。こういう領域は、周期にあまり影響を及ぼさないことが分かった。すなわち、星の比較的表面に近い部分の構造が、星の膨張収縮の周期に影響を与え、また、各種の様式の周期比にも影響を与える。後に南半球の天文台候補地の調査で大きな貢献をしたイサドレ・エプステイン（Isadore Epstein）は、その学位論文で以上のような関係を理論的に明らかにした (5)。

彼の理論により、星の膨張収縮の周期に大きな影響を与える球殻の位置が、その様式によりわずかではあるが異なることが示された。このことがわかったので、周期比の問題は、星の構造の理解に関係づけて研究される

ようになった。

星の表面のすぐ内側の構造を仮定し、星の半径と質量とを決めれば、比較的容易にこれらの様式の周期を計算することができ、また様式の異なる膨張収縮の間の周期比も計算できる (6)。このような計算を利用して、ケフェイドの質量を変光周期から推定することが可能になった。

3 脈動変光星の質量の推定

3.1 ケフェウス座デルタ型変光星の質量

連星の場合は、その共通重心の周りの公転運動の研究から質量を知ることができる。しかし、連星でない星の質量を知るのは容易ではない。脈動変光星は、星の膨張収縮が観測できるのだ、それを利用して質量を確かめるができないかと考えられた。このような着想に基づくもっとも初期の研究のひとつは、竹内峯 (Mine Takeuti) によって試みられている (7)。

脈動星の質量の推定には、理論から得られた周期と半径と質量の間に成り立つ周期密度関係を利用する。

ケフェウス座デルタ型の場合、周期から絶対光度が推定でき、色あるいはスペクトル型から表面温度を推定できるので、容易に半径が分かる。半径と周期とが、かなりの精度で推定できれば、周期密度関係の中で残るのは、特性周期と星の質量とである。であるから、特性周期を理論的に推定してやれば、質量を知ることができる。

典型的ケフェイドの質量は、星の進化の理論からも推定できる。進化の計算から推定された質量と、理論的特性周期を利用して半径から求めた質量は、唸りを示さないケフェウス座デルタ型星については、その一致が時期的には早く確かめられていた。

3.2 唸りを示すケフェイドの質量

アレックス・ロジャース (Alex W. Rodgers) は、実際に南三角座 U 星について、半径と、進化計算から予想される質量、脈動の周期、唸りの周期を比較したところ、つじつまが合わないことに気付いた (8)。

ロジャースの指摘は、かなり分かりづらいものであったが、周期比を信頼すれば唸りを示すケフェイドの質量が、進化の理論から求められた質量より小さいというように表現できる。竹内は、唸りのもととなっている膨張収縮の様式が、第 1 陪振動様式と第 2 陪振動様式と考えれば、観測と理論との矛盾を解消できるかも知れないことを示した (9)。しかし、より精密な理論計算の結果では、周期比が竹内の期待した値とは異なることが分か

り、問題はやはり解決されないことが分かった (10).

オーツェン・ピーターセン (J. Otzen Petersen) は、周期と周期比との関係が星の質量により系統的に異なることを指摘し、唸りを示すケフェイドの質量が、進化の理論から予想される質量の 3 分の 1 よりも小さいということを明瞭に示した (11). 横軸に周期を採り、縦軸に周期比を採った図は、ピーターセン図と呼ばれ、現在でも二重周期問題の検討の際に用いられている.

3.3 盾座 V367 星

1975 年になり、散開星団 NGC6649 の中にあるケフェイド、盾座 V367 星が唸りを示すことが分かった (12). この頃になると、唸りを示すケフェイドという呼び名に代わって、**二重周期ケフェイド** (double-mode Cepheid) という表現が多く用いられるようになっていく. 唸りという観測上での特徴を示す表現よりも、2 個の様式での膨張収縮が同時に起きているということをより明確に示す表現が好まれてきたことが分かる.

小林英輔 (Eisuke Kobayashi) らは、この星が散開星団に属していることを利用して絶対光度と表面温度との推定を試みた (13). その結果、進化理論に基づけば質量は太陽の 6 倍以上であり、脈動の周期及び周期比を満足する星の質量は、太陽の 4 倍あるいは 2.3 倍でなければならないことが確かめられた. 先のエプステインの研究に照らし合わせると、この星の表面のすぐ内側の球殻の構造が、正しく理解されていないことが示されていたわけである.

小林らが導いたこの星の表面温度と絶対光度をケフェイド不安定帯の他の星と比べると、青側の端に位置していた. このことは、後になって見ると重要な意味があったのであるが、当時はそのことはまだ理解されていなかった.

3.4 さまざまな提案

恒星の進化の理論、脈動の持続についての理論が、ケフェウス座デルタ型変光星の半径、質量、周期などをうまく説明しているというのに、二重周期ケフェイドの周期比が説明できないということは、脈動星の研究者の間でどうしても解決しなければならない重い課題であった.

もっとも容易な考え方は、唸りを示すケフェイドはケフェウス座デルタ型と異質なグループであると考えたことであつたが、散開星団に属している色や絶対光度がケフェウス座デルタ型と類似している盾座 V367 星の存在が分かってみると、異なったグループと片づけることはできなかった. そ

のため、様々な提案が行われ、何とか周期比を説明しようという努力が行われた。結局、星の構造を計算する際に用いられる不透明度に問題があったのであるが、そこに至るまでの過程で提出されたさまざまな提案は、ピーターセンと竹内によって記録されている(14)。天体物理学の幅がどの程度あるかを見る上では、この模索の記録を役立つであろう。

4 不透明度の問題

4.1 ロスアラモス研究所の結果

星の中心部で原子核反応などで発生した熱は、放射、伝導、対流などで星の表面まで運ばれて来る。放射は気体に吸収され、短時間後にその気体から再放出されるという過程を繰り返して、星の表面まで到達する。気体が放射を吸収する度合いが**不透明度** (opacity) である。

星の表面近くでは、分子の解離と再結合、原子の電離と再結合などが、不透明度に関係している。ノート No. 3 に記したように、ケフェイド不安定帯の星では、水素、ヘリウムが不透明度にもっとも深く関係しているが、それらは温度が 10 万度から 20 万度になると、すべてイオンとなってしまう。星の内部で全ての物質がイオンと電子とに完全に分離した状態では、不透明度は、電子と放射の相互作用でほぼ説明でき、不透明度は低い。しかし、水素やヘリウムがすべてイオンとなっているような高温でも、鉄などの金属が完全にイオンとはならず、原子核の周囲になお電子を抱えているような中間的な状態がある。このような温度、密度の組み合わせのもとで、不透明度がどのような値になるかは、金属イオンの電離の過程を詳しく計算しなければ分らない。

1960 年代、ロスアラモス研究所では、星の内部で起きていると思われる温度、密度の組み合わせのもとで、原子、イオンなどが、どのように放射と相互作用を行うかを計算した。その結果は、恒星の構造や進化の計算で広く用いられた。理論計算の結果と観測とはおおむね一致し、天体物理学は、恒星の構造と進化の大筋を解明したという考えが、少なくない研究者の間に広まった。

二重周期ケフェイドの周期比の問題は、こうした勝利の気分に水を差すもので、関係する研究者の間では、星の構造を研究する上で土台となっている不透明度の精度向上を求める声が強まった。不透明度が高ければ、放射と物質との結びつきが強まり、星の中の物質分布は均質的になる。その効果は、星の質量が大きくなっても、膨張収縮の様式が、星の質量が小さい場合に近いという形で現れるので、周期比の問題の解明に役立つと考えられた。

この問題を指摘した論文の中では、ノーマン・サイモン (Norman Simon)

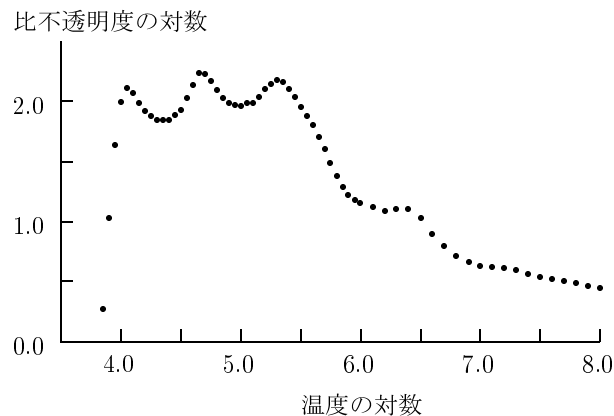


図 1: 新しい不透明度. 横軸は, 温度の対数で, 縦軸は, 比不透明度 (単位は平方センチメートル毎グラム) の対数である. 対応する密度としては, 温度の 3 乗にある係数を乗じた値を選んであり, ケフェイド不安定帯の星の内部の様子にほぼ相当するようしている. 幾つかの比不透明度の峰が見られるが, その説明は本文にある.

のそれが印象的で, しばしば引用された (15).

4.2 新しい計算結果

星の構造の研究に用いられる不透明度の研究で, ロスアラモス研究所の計算で残されていたのは, 各種の金属元素が持っている多数の電子がどのように放射と絡み合うかを, より詳しく調べることであった.

たとえば鉄は, 1 個の原子核に対応して 26 個の電子がある. このような多数の電子を持つ元素の電離を考える際には, あり得る多くの組み合わせを, 適切な近似で検討しなければならない. また, レーザ等を用いた実験との比較も, 可能な限り行われなければならない.

このような研究が, ローレンス・リヴァモア研究所で進められ, その結果がオーパル不透明度 (OPAL opacity) として発表された. ロスアラモス研究所と, ローレンス・リヴァモア研究所は, かつて核兵器の開発をめぐって激しい競争をした因縁があるが, 新しい不透明度の検討では, ローレンス・リヴァモア側が先んじた. オーパル不透明度は, その後ヨーロッパの研究者たちによって, その正しさが確かめられた.

図 1 は, ローレンス・リヴァモア研究所で計算された比不透明度である. 図に見られる幾つかの峰が見られるが, その性質は次のようになっている.

1. 左から 2 番目までの峰は, 1950 年代から知られていたもので, 水素とヘ

リウムとの原子に関係している。

2. 左から三つ目の温度 25 万度（温度の対数が 5.4 付近）、密度 0.016 キログラム毎立方メートルの状態に相当する峰は、ヘリウムの 1 価イオンと鉄の内側から数えて 18 番目よりさらに外側の電子の電離に関係しており、鉄の寄与の分、不透明さが増している。この峰がそれまで知られていなかった。

3. 左から 4 番目の温度 200 万度（温度の対数が 6.3 付近）、密度 8 キログラム毎立方メートルの状態に相当する峰は、鉄の内側から数えて 2 番目よりさらに外側の電子の電離、炭素、酸素、ネオンの内側から 2 番目までの電子の電離に関係している。この峰はロスアラモス研究所の研究でも知られていた。

4. その右側の温度 2000 万度（温度の対数が 7.3 付近）、密度 8 千キログラム毎立方メートルの状態に相当するあまりはっきりしない峰は、アルゴンから鉄にかけての元素の、完全電離直前の状態に関係している。この部分も以前から知られていた。

新しい不透明度の中で、星の膨張収縮ともっとも深い関係があるのは、温度が 25 万度付近で起こる鉄の電離・再結合で、そこでは鉄が電子を 18 個持っている状態（鉄の 6 価イオン）と、電子を 13 個持っている状態（鉄の 13 価イオン）との間の過程である。この過程では数百万本のスペクトル線についての計算が必要であった。

ノート No. 3 に、星の膨張収縮を持続させる機構として不透明度機構（カッパ機構）が記されているが、鉄のイオンの寄与などが加わり、それまで不透明度機構の効果が少ないと思われていた変光星についても、変光の原因が説明できるようになった。

ケフェウス座ベータ型星など、ケフェイド不安定帯の青側の端に比べてさらに青い変光星が変光する原因についての研究が大きく進むようになった。

パウエル・モスカリク（Pawel Moskalik）らは、オーバル不透明度を用いて星の構造を再計算し、その基本様式と第 1 陪振動様式の周期と周期比を求めた (16)。結果は見事に観測された周期比と一致した。こうして、二十年にわたって議論されてきた、二重周期ケフェイドの周期比問題は、新しい不透明度の導入により解決されたのである。

すでにノート No. 4 で記したように、流体力学モデルによる二重周期ケフェイドを再現する試みも成功しており、これらの変光星をめぐる研究は、通常のケフェウス座デルタ型星の研究の一部として位置づけられることと

表 2: 大マゼラン星雲のケフェウス座デルタ型星の色. 色は $(V - I)$ で値が増えるにつれて赤さが強まる.

膨張収縮の様式	色 (平均)
第 1 陪振動様式と第 2 陪振動様式が共存	0.425
第 1 陪振動様式のみ	0.496
基本様式と第 1 陪振動様式の共存	0.513
基本様式のみ	0.594

なった.

5 大マゼラン星雲の大規模測光

ノート No. 2 でも触れたが, 視野の広い望遠鏡に CCD カメラを組み合わせ, 多数の星の明るさを同時に記録する観測を**大規模測光** (massive photometry) と呼ぶ. 大マゼラン星雲の大規模測光の結果を調べて, ケフェウス座デルタ型変光星を探す研究が行ったマッチョ (MACHO = Massive Compact Halo Object) グループは, 45 個の二重周期ケフェイドを認めた (17).

この観測結果では, 大マゼラン星雲の周期光度図の上で, ケフェウス座デルタ型変光星は, 2 本の平行した帯になっている. 周期の短い帯は, 膨張収縮の様式が第 1 陪振動で, 周期の長い帯は基本様式で膨張収縮している.

確認された 45 個の二重周期ケフェイドのうち 30 個は, 基本様式と第 1 陪振動様式とで膨張収縮しており, 残りの 15 個は, 第 1 陪振動様式と第 2 陪振動様式とで膨張収縮している.

同様にマゼラン星雲の大規模測光を行っていたオグル (OGLE = Optical Gravitational Lensing Experiment) グループは, 大マゼラン星雲の中心部で 76 個の二重周期ケフェイドを確認している (18).

このうち, 19 個が基本様式と第 1 陪振動様式とが共存している星で, 57 個が第 1 陪振動様式と第 2 陪振動様式とが共存している星であった.

オグル・グループは, ケフェウス座デルタ型変光星の色光度図を描いて, 二重周期ケフェイドがどこに見られるかを調べたところ, 基本様式と第 1 陪振動様式とが共存している星は, 第 1 陪振動様式と第 2 陪振動様式とが共存している星よりも, 平均して 1.5 等あかるく, また, その色の分布は表 2 のようであった.

色光度図では, それほど明瞭ではないが, 基本様式のみで膨張収縮を繰り返している星と, 第 1 陪振動様式のみで変光している星との中間に, 基

表 3: 銀河系内の二重周期ケフェイド

星	極大光度	極小光度	周期	周期比
	等	等	日	
カシオペヤ座 V825	14.1	15.0	3.734	0.710
カシオペヤ座 AS	11.8	12.6	3.021	0.758
カシオペヤ座 TU	6.9	8.2	2.139	0.710
ぎょしゃ座 CO	7.5	8.1	1.784	0.799
船尾（とも）座 VX	7.7	8.6	3.011	0.710
帆座 AX	7.9	8.5	2.593	1.417
帆座 AP	9.5	10.5	3.128	0.703
ケンタウルス座 UZ	8.3	9.1	3.334	0.706
ケンタウルス座 BK	9.6	10.4	3.174	0.704
南三角座 U	7.3	8.3	2.568	0.711
盾座 V458	10.5	11.5	4.841	1.430
盾座 V368	11.2	11.9	6.293	0.697
蛇座 BQ	9.2	9.9	4.271	0.707
盾座 EW	7.8	8.2	5.820	0.707
ケンタウルス座 V1048	9.6	9.8	0.922	0.806

本様式と第 1 陪振動様式とが共存している星があり、第 1 陪振動様式のみで膨張収縮をしている星の高温で暗い側に、第 1 陪振動様式と第 2 陪振動様式とが共存している星がある、

星の模型について行われた制動力の計算では、ケフェウス座デルタ型では、表面温度が高く、かつ光度が低い側では、より高次の振動様式が持続するという結果が得られていたが、オグル・グループの観測の結果は、それを裏付けるものであった。

6 現在確認されている銀河系の二重周期ケフェイド

変光星総合目録に唸りを示すケフェイドとして掲載されているのは、表 3 にある 15 個の星である。

表 3 に掲げられている星の中で、盾座 AX 星と盾座 V458 星とは、周期比が 1 よりも大きい。これは、周期の短い脈動を、周期がより長い脈動が唸りを引き起こしているということで、長い方の周期を分母にとれば、そ

れぞれ 0.706 と 0.699 とになり, 基本様式と第 1 陪振動様式との干渉として問題ない.

ぎょしゃ座 CO 星と, ケンタウルス座 V1048 星とは, 周期比が他の星と異なっており 0.8 に近いが, これは, 第 1 陪振動様式と第 2 陪振動様式とが共存しているからであると解釈されている.

カシオペア座 AS 星の周期比が 0.758 となっているが, このことは理論的特性周期の研究結果からは理解は難しい. この星の周期比は 0.713 であるという観測結果もあり, こちらの値を用いた研究論文もある (19). この周期比は, 基本様式と第 1 陪振動様式との周期比として問題はない.

この表に取り上げられていないが, 最近の論文で取り上げられている二重周期ケフェイドとしては, 竜骨座 Y 星, 竜骨座 EY 星, 竜骨座 GZ 星, GSC 8691-1294 星, GSC 8607-0608 星などがある. これらの星の周期比は 0.702 から 0.708 の間である (20).

銀河系内の二重周期ケフェイドは, 観測が進めば, あるいはすでに貯えられている観測結果の解析が進めば, もっと数が増えるに違いない. そして, 観測結果が増えるにつれて, 星の構造や, 星の内部で起きている過程の理解, 化学組成などについて, 新しい知見を与えてくれる問題が見つかるであろうと思われる. カシオペア座 TU 星の, 異常かとも思われた不規則な増光の発見から始まった二重周期ケフェイドの問題は, 今後も研究が続けられることであろう.

参考文献

- [1] Sanford, R. F., 1928: On the Variation of the Radial Velocity of TU Cassiopeiae. *Astrophys. J.*, Vol. 68, p. 169
- [2] Worley, C. E., Eggen, O. J., 1957: The Peculiar Light Variation of TU Cas. *Astron. J.*, Vol. 62, p. 104
- [3] Oosterhoff, P. Th., 1957: The Light-Variation and the Radial-Velocity Curve of TU Cas Explained in Term of a Primary Period and a Beat Period. *Bull. Astron. Inst. Netherl.*, Vol. 13, p. 320
- [4] Oosterhoff, P. Th., 1957: U Trianguli Australis, a Classical Cepheid with Secondary Period. *Bull. Astron. Inst. Netherl.*, Vol. 13, p. 317
- [5] Epstein, I., 1950: Pulsation Properties of Giant-Star Models. *Astrophys. J.*, Vol. 112, p. 6

- [6] Cox, J. P., King, D. S., Stellingwerf, R. F., 1972: Theoretical Pulsation Constants and Cepheid Masses. *Astrophys. J.*, Vol. 171, p. 93
- [7] Takeuti, M., 1958: The Masses of Pulsating Stars. *Sci. Rep. Tôhoku Univ., Ser. I*, Vol. 42, p. 72
- [8] Rodgers, A. W., 1970: The Masses of Pulsating Stars. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, Vol. 151, p. 133
- [9] Takeuti, M., 1973: On the Pulsation Masses of the Classical Cepheids. *Publ. Astron. Soc. Japan*, Vol. 25, p. 567
- [10] Cox, A. N., Hodson, S. W., Henden, A. A., King, D. S., 1977: The Masse of AC Andromedae, U Triangli Australis, and BC Draconis. *Astrophys. J.*, Vol. 212, p. 451
- [11] Petersen, J. O., 1973: Masses of Double Mode Cepheid Variables Determined by Analysis of Period Ratios. *Astron. Astrophys.*, Vol. 27, p. 89
- [12] Efremov, Yu. N., Kholopov, P. N., 1975: Double Mode Cepheid V367 Sct in Open Cluster NGC 6649. *Inf. Bull. Var. Stars*, No. 1073, p. 1
- [13] Kobayashi. E., Saio, H., Takeuti, M., 1976: The Mass of the Double-mode Cepheid V367 Scuti. *Sci. Rep. Tôhoku Univ., Ser. I*, Vol. 59, p. 67
- [14] Petersen, J. O., Takeuti, M., 2001: A Historical Sketch of the Beat Cepheids Studies. in *Stellar Pulsation – Nonlinear Studies*, eds. M. Takeuti, D. D. Sasselov, *Astrophys. Space Sci. Library*, Vol. 257, p. 1
- [15] Simon, N. R., 1982: A Plea for Reexamining Heavy Element Opacities in Stars. *Astrophys. J. (Letters)*, Vol. 260, L. 87
- [16] Moskalik, P., Buchler, J. R., Marom, A., 1992: Toward a Resolution of the Bump and Beat Cepheid Mass Discrepancy. *Astrophys. J.*, Vol. 385, p. 685
- [17] Alcock, C., Allsman, R. A., Axelrod, T. S., et al., 1995: The MA-CHO Project LMC Variable Star Inventory. I: Beat Cepheids - Con-

clusive Evidence for the Excitation of the Second Overtone in Classical Cepheids. *Astron. J.*, Vol. 109, p. 1654

- [18] Soszynski, I., Udalski, A., Szymanski, M., et al., 2000: The Optical Gravitational Lensing Experiment. Cepheids in the Magellanic Clouds. VI. Double-Mode Cepheids in the Large Magellanic Cloud. *Acta Astron.*, Vol. 50, p. 451
- [19] Pardo, I., Poretti, E., 1997: The Galactic Double-mode Cepheids. I. Frequency Analysis of the Light Curves and Comparison with Single-mode Cepheids. *Astron. Astrophys.*, Vol. 324, p. 121
- [20] Sziládi, K., Vinkó, J., Poretti, E. et al., 2007: New Homogeneous Iron Abundances of Double-mode Cepheids from High-resolution Echells Spectroscopy. *Astron. Astrophys.*, Vol. 473, p. 579

補遺

観測結果の報告

二重周期ケフェイドの観測結果の報告については、記しておいた方がよいと思われることがある。

そのひとつは著名な観測者の報告にある周期と、その星を後に観測した際に得られた周期とが一致しないことが、時折あるということである。御本人に問い合わせても、御返事が頂けないのが普通らしい。

また、観測で得られたという色が理論的に理解できないということを書いたら、次の報告では、理論に合った値になっていたことがあった。論文そのものには何の断りもなかったが、観測結果をきちんと整理したら、そうなったということであった。

他の観測者の報告の引用でも、この論文で何故あのデータを引用しないのかと思う場合がある。著者のお人柄で、単にずばらという場合もないとはいえないが、内容的に関わりたくないの、熟慮の末触れないという場合もあるらしい。

このあたりの機微が話題になるのは、研究会の懇親会で、くつろいだ雰囲気での会話でその一端を教えて頂けることがある。

脈動変光星の特徴は、周期も含めて、その光度変化が、絶えず変動するところにあるというのが、百年前のシャプレーの指摘であったが、観測報告をどう読むか、理論とどこで関わらせるかは、天体物理学が自然現象を相手にしている以上、本質的な問題であろう。

変光星ノート No. 5 それはカシオペヤ座 TU 星から始まった
2008 年 5 月
柳町自然研究所
〒 980-0811 仙台市青葉区一番町 1-8-10-504