

変光星ノート No. 2

タイプ II ケフェイド

竹内 峰 (柳町自然研究所)

目 次

1 ケフェイドのタイプ I とタイプ II	1
2 ケフェイドの周期光度関係	2
3 周期光度関係の二重性	3
4 星団に属さないケフェイド	5
4.1 琴座 RR 型	5
4.2 乙女座 W 型	6
4.3 乙女座 W 型の細い分類	9
4.4 北極星の問題	9
4.5 牡牛座 RV 型	10
5 タイプ II ケフェイドの定義と実際	12

1 ケフェイドのタイプ I とタイプ II

脈動変光星と呼ばれている一群の変光星がある。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は、星の内部にある原因によって星が収縮膨張などを繰り返し、その結果明るさが変わることである。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ってきた。

ノート No. 1 で述べたように、20世紀前半には、ケフェウス座デルタ型、乙女座 W 型、琴座 RR 型は、まとめてケフェイドと呼ばれていた。ケフェイドが注目されたのは、この型の星には周期光度関係があつて、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る。

ところが、20世紀の半ばにケフェイドの周期光度関係に二つの種類あることが分かり、そのことによって、それまで考えられていた宇宙の尺度が一挙に 2 倍になるという、衝撃的なできごとがあった。その際に、周期光度関係の違いによって、ケフェイドをタイプ I とタイプ II に分けて取り扱う必要があることが分かった。

ケフェウス座デルタ型と琴座 RR 型とをタイプ I とタイプ II とし、さらに乙女座 W 型もタイプ II に含められた。また、牡牛座 RV 型変光星も、タイプ II ケフェイドではないかと考えられた。だが、その後の研究の過程を見ると、何がタイプ II のケフェイドなのかをめぐって、議論が続いている。このノートでは、タイプ II のケフェイドとは何か、乙女座 W 型や牡牛座 RV 型はどのように位置づけられるかについて、簡単にまとめてみたい。

2 ケフェイドの周期光度関係

1930 年代の変光星の本を読むと、スペクトル型が A 型から K 型の範囲で、脈動によると思われる星をすべて一括してケフェイドと呼んでいる。ケフェイドに周期光度関係があることが、マゼラン星雲中の変光星観測の結果から発見され、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世紀前半には広く受け入れられていた。

周期光度関係で距離を推定する際に重要なことは、周期が何日のケフェ

イドの絶対光度はいかほどかを知ることである。そのために、銀河系内の典型的ケフェイド (classical Cepheids) 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、それによって、これらの星の平均的な距離を推定する試みがエイナル・ヘルツスブルング (Ejnar Hertzsprung) によつて行われた。彼は、周期 6.6 日の典型的ケフェイドの明るさが、絶対等級で約マイナス 3 等であるとし、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(1)。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つた。

幾つかの球状星団には、琴座 RR 型と共に、より周期の長いケフェイドが存在する。これらのケフェイドの周期と光度との間の関係を見ると、その傾きはマゼラン星雲の典型的ケフェイドの周期光度関係と同様であった。その関係を 1 日以下の短周期まで延ばすと、琴座 RR 型ケフェイドの周期と光度とを説明できる。そこで、琴座 RR 型も典型的ケフェイドの周期光度関係の延長上にあるとされ、このことから、球状星団の距離が推定され、さらに銀河系の大きさが推定された。また、アンドロメダ星雲で発見された典型的なケフェイドの周期と見かけの明るさから、アンドロメダ星雲の距離が推定された。

3 周期光度関係の二重性

アンドロメダ星雲の星の明るさと色とを詳しく観測したワルター・バーデ (W. H. Walter Baade) は、これらの星が、横軸に色、縦軸に明るさを取った色等級図の上で、予想していなかった分布をしていることに気付いた(2)。横軸にスペクトル型、縦軸に絶対光度を取って星々がどこにあるかを示した図を、ヘルツスブルング・ラッセル図 (略して HR 図) というが、バーデの描いた色等級図は、HR 図と同等である。

アンドロメダ星雲では、太陽に似た星々や極めて明るい青い星に対して、球状星団の星と周期 1 日以下のケフェイドは、色等級図上で異なった分布を示した。バーデの論文では、前者をタイプ I、後者をタイプ II として、それらの性質を詳しく示している。

表 1: ケフェイドのタイプ

タイプ	属する変光星のグループ	性質
I	典型的ケフェイド	太陽に近い速さで運動 銀河面近くに分布
II	球状星団のケフェイド 球状星団に属さない琴座 RR 型	太陽に対して高速で運動 高銀緯まで分布

バーデは、色等級図の上で異なった分布をする 2 種類の天体が、以前ヤン・オールト (Jan Oort) が指摘していた、星がその空間運動の違いによって二つのグループに分けられるという事実に対応していることに気付いた (3). アンドロメダ星雲のタイプ I の星は、銀河系の中の太陽に似た速度で動いている星々と同様な特徴を持っており、タイプ II の星は太陽との関係で高速度で運動している星と一致し特徴を持っていた。

この発見により、星には銀河系内での運動の性質が異なり、かつ色等級図上で異なった分布をする二つの種族 (population) があることが認識された。

ケフェイドの明るさについて見ると、琴座 RR 型の変光星と典型的なケフェイドとは、単一の周期光度関係で説明できるとされていたが、アンドロメダ星雲の琴座 RR 型のケフェイドは、典型的ケフェイドの周期光度関係より 1.5 等暗かった。すなわち、それまですべてのケフェイドの明るさが、単一の周期光度関係で説明されると思っていたのが誤りで、ケフェイドであっても星によって周期光度関係が異なることが分かったのである。従来の典型的ケフェイドをタイプ I, 琴座 RR 型に加えて球状星団にある周期が 1 日よりも長いケフェイドも加え、これらをタイプ II と呼ぶことになった。(表 1 参照)

アンドロメダ星雲の周期光度関係が、われわれの銀河系でも妥当かどうかを確認するための研究が行われた。典型的ケフェイドの絶対光度を確かめるために、散開星団に属するケフェイドを利用する事が試みられた。ロバート・クラフト (Robert P. Kraft) の得た周期光度色関係では、周期

6日の典型的ケフェイドの絶対等級がマイナス3.6等となった(4). 小林英輔(Eisuke Kobayashi)は、さらに利用する資料を増やして同様な研究を行い、クラフトの結果が妥当であることを確認した(5).

また、新しい周期光度関係と、ケフェウス座デルタ型星の太陽に対する運動との関係は、高瀬文史郎(Bunshiro Takase)が詳しく研究し、種族Iとしての性質を確かめている(6). 今更ではあるが、バーデによるアンドロメダ星雲の観測が行われる前でも、ケフェウス座デルタ型星の空間運動を詳しく検討しておけば、正しい周期光度関係を求めることができたはずであった. ケフェイドの周期光度関係は一通りしかないという思いこみが、球状星団とケフェウス座デルタ型変光星の明るさの違いを示唆する結果を重視しないという学界の流れをつくっていたのである.

恒星の構造の研究が進むにつれて、タイプIとタイプIIとの違いが、重元素の含有率の違いに由来することが分かった. それに伴い変光星の場合でも、タイプIとタイプIIとでは含まれている重元素の比率に差があるとされた.

4 星団に属さないケフェイド

4.1 琴座 RR 型

球状星団中のケフェイドは、その周期にかかわらずタイプIIとされたが、それでは、球状星団の外に散在するケフェイドはどう考えたらよいのであろうか. 琴座RR型についていえば、球状星団にあるだけでなく、球状星団に属さない星も多数発見されており、その空間分布や空間運動の特徴は球状星団と共通であるから、琴座RR型変光星は、球状星団に属していない星もすべて、タイプIIと考えられた.

4.2 乙女座 W 型

球状星団の中には、数は多くはないが、周期が 1 日より長いケフェイドが存在する。表現の問題としては混乱を招きそうではあるが、これらの星は「球状星団中の長周期ケフェイド」と呼ばれることがある。球状星団の中のケフェイドで周期が 1 日以上の星があるということは、それに対応するタイプ II のケフェイドで球状星団に属さない星があるのではないかと考えられた。

「球状星団中の長周期ケフェイド」と典型的ケフェイドとの違いは、光度曲線を見る限りではそれほど著しくない。そこで、光度曲線はさておき、銀河面から離れているケフェイドを選んで、その性質を調べたらどうかということになり、銀緯が 57.6 度の乙女座 W 星が注目された(7)。

さらに、球状星団のケフェイドについて、変光曲線の吟味が行われ、光度極大前後で変光曲線が平らで、減光時の変光曲線に肩が見えるという共通の特徴も指摘された(8)。このようにして確認された変光星のグループに、乙女座 W 型という名称が与えられた。

それまで、変光星のグループ分けは、変光曲線の形を主とし、スペクトル型を参考とするということで進められていたが、乙女座 W 型は、空間分布という要素を加えてグループが定義されたという点で、それまで提唱されてきたグループと異質なものを持っている。空間分布の特徴は、実は種族 II に属しているということを示す指標として用いられているわけで、乙女座 W 型変光星は、種族 II ケフェイドと呼び変えられても当然であった。

種族 II に属するケフェイドという概念の明瞭さに比べて、実際に乙女座 W 型に属する星はどれかということは、なかなか難しい問題である。最初に挙げられたのは、きりん座 RU, カシオペヤ座 TU, 凤凰座カッパ, 牡牛座 SW, 小熊座アルファ, 乙女座 W などの星である。これらのうち、カシオペヤ座 TU 星と小熊座アルファ星(北極星)とは、現在ではタイプ I とされている。また、鳳凰座カッパ星も現在のところタイプ II と断定されていない。

表 2 に、アメリカ変光星観測者協会 (American Association of Variable Star Observers) で詳しく観測するように奨めているタイプ II の明るい星

表 2: 星団に属さないタイプ II ケフェイド. アメリカ変光星観測者協会が観測するよう奨めている 10 個の明るい星を掲げた. 周期と平均光度はハリスの目録 (9) による.

星	周期	平均光度	備考
牡牛座 SW	1.6	9.7	
南三角座 RT	1.9	9.8	要検討 (9), 重元素が多い (12)
ケンタウルス座 V553	2.1	8.9	要検討 (9)
ペガサス座 AU	2.4	9.3	要検討 (9), タイプ II (17)
ポンプ座 T	5.9	9.3	タイプ I (13)
いるか座 TX	6.2	9.2	タイプ II は疑問 (11) 半径から見るとタイプ I (10) タイプ II (17)
わし座 V733	6.2	9.9	タイプ II は疑問 (11) 半径から見るとタイプ I (10)
鳳凰座カッパ	9.1	4.3	要検討 (9), タイプ II (17)
乙女座 AL	10.3	9.5	
きりん座 RU	21.5	8.5	

周期の単位は日, 平均光度は V 等級.

を掲げた。これらはいずれも、ヒュー・ハリス (Hugh Harris) のタイプ II ケフェイド目録 (9) にある星で、表にある周期と光度はハリスの目録から採った。備考欄に要検討とある 4 個の星は、ハリスの目録でタイプ II として断定するためには、今後さらに研究が必要とされている星である。10 個の星の中に、4 個も疑問符の打たれている星があったということは、タイプ II ケフェイドを見分けることが簡単ではないことを示している。

タイプ II ケフェイドかどうかを明らかにするために、明るさの変化と視線速度曲線の観測結果を組み合わせて半径を推定し、それから距離や絶対光度を求めてタイプ I か II かを議論している研究がある (10)。

また、分光観測に基づいて星の表面の重力を調べ、それをもとにタイプについて議論している研究もある (11)。これは言い換えれば、星の質量を手がかりにタイプの分類をしようということである。

南三角座 RT 星は、分光観測で重元素が多いという結果が得られたので、そのことだけから見ればタイプ I ケフェイドである (12)。

ポンプ座 T 星についての近年の論文では、散開星団との関係、周期の規則性などから、この星はタイプ I とされている (13)。

光度変化の規則性は、理論的には質量が大きいことに対応するので、タイプの判定に役立つとされる。しかし、定量的にそれを確かめられるような明瞭な関係は、見つかっていない (14)。

表 2 にある 10 個の星が、変光星総合目録 (General Catalogue of Variable Stars, 略記して GCVS) ではどのように分類されているかを見ると、ポンプ座 T とわし座 V733 とはケフェウス座デルタ型 (タイプ I) になっている。ペガサス座 AU、鳳凰座カッパの 2 星については、単にケフェイドと記されており、まだ判断が確定されていないことが分かる。タイプ II として確認されているのは、牡牛座 SW、南三角座 RT、ケンタウルス座 V553、いるか座 TX、乙女座 AL、きりん座 RU の 6 星である。ハリスの判断とは食い違いがあるが、表にある 10 個の星のうち、6 個しかタイプ II として確認していないという点では同様で、どの星がタイプ II なのかが分かりづらいことが示されている。

個々の星の分類が進まないのは、星団に属さないケフェイドの距離を決

めることが困難であることから、絶対光度がはつきりせず、周期光度の関係でどちらのタイプで属しているを決められないからである。距離が分からないとなると、結局は個々の星の分光観測を行い重元素の比率を調べることが、有力な手がかりになると思われる。

4.3 乙女座 W 型の細い分類

乙女座 W 型は、変光星総合目録では CW という記号で示されている。CW は、さらに周期 8 日を境にして、周期の長い CWA と、周期の短い CWB に分けられて記載されている。CWA を代表する星は、乙女座 W 星で、CWB の代表はヘルクレス座 BL 星である。

周期が 6 日から 9 日の間のタイプ II ケフェイドが見つかることを考慮して、ジョージ・ウォーラーシタイン (George Wallerstein) は、ヘルクレス座 BL 型は周期が 1 日から 5 日の間の星で、乙女座 W 型は周期が 10 日から 20 日の範囲としている (15)。

これらのグループ分けの根拠としては、球状星団の長周期ケフェイドが、水平分枝のすぐ上に位置する短周期のグループと、典型的ケフェイドに準ずる系列をなす長周期のグループに分けられことがある (16)。

マクドナルド天文台の 2.7 メートル望遠鏡を用いて行われた分光観測の結果が最近発表されている (17)。それによると、これらのグループの間では元素組成に違いがあり、進化の過程に差があることを思わせる。

4.4 北極星の問題

北極星（小熊座アルファ星）は振幅が小さいが、ケフェウス座デルタ型の変光星である。一時タイプ II に分類されていたが、その後タイプ I とされた。この星の分類についての経過を簡単に振り返ってみよう。

1950 年代には、北極星はタイプ II とされており、たとえば、1960 年にミシェル・プチ (Michel Petit) が銀河系のケフェイドについて書いた長い論文 (18) の中で、よく研究されたタイプ II のケフェイドとして北極星

を挙げている。これは、北極星の銀緯が 26 度で、天の川からかなり離れているので、その点に着目してタイプ II にしたということである。プチのこの論文には、ケフェイドの周期光度関係を掲げているが、北極星の明るさをマイナス 1.6 等としている。この星までの距離を短く見積もったので、推定した絶対光度が暗すぎたということである。

1966 年のドナルド・ファーニー (J. Donald Fernie) の論文 (19) では、北極星の光度をマイナス 3.2 等と見積もっているが、この明るさではタイプ I の周期光度関係に乗る。モスクワでつくられた変光星総合目録には、一時北極星はタイプ II として掲げられていた。しかし、1970 年にモスクワで出版された変光星の本では、北極星をタイプ II の星として挙げていない (20)。すでにこの時期には、変光星総合目録の編集グループの中でも判断が変更されていたとしてよいであろう。

しかし、この星を乙女座 W 型の一員として観測したという論文が 1974 年に出版されている (21)。この頃まで、北極星がタイプ II であるという解釈が、研究者の中でまだ続いていることが分かる。

4.5 牡牛座 RV 型

光度極小の際の明るさをたどると、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）とが見られる変光星があるが、その中で、光度極大が毎回ほぼ同じ明るさで、主極小と副極小とが交互に起きることの多い脈動変光星は、牡牛座 RV 型として分類されている。この型の星が数個、球状星団に見つかっているので、琴座 RR 型と同様であると考えれば、タイプ II ということになる。

1952 年に球状星団に属さないこの型の星の分光観測を行ったアルフレッド・ジョイ (Alfred Joy) は、空間運動から見ると、琴座 RR 型と同様な特徴があつて種族 II としてよい星と、太陽と同様な運動をしているが種族 I と断定できないグループとに分類されると結論している (22)。

ケフェイドのタイプが、色光度図の上で位置に差があることによって発見されたことを思い起こすと、牡牛座 RV 型の絶対光度がはつきりしない

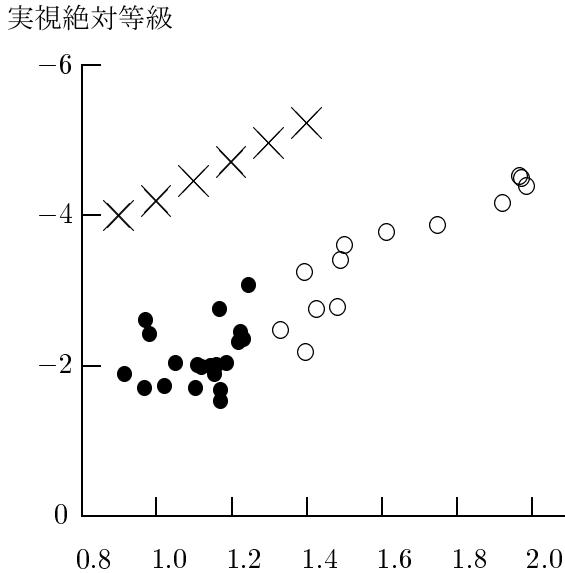


図 1: タイプ II ケフェイドの周期光度. 大マゼラン星雲の 33 個のタイプ II ケフェイドの周期と光度を示す. 黒丸は乙女座 W 型, 白丸は牡牛座 RV 型の変光星を示す. 横軸は周期の対数で, 周期 20 日 (対数で 1.3) のところで, 乙女座 W 型と牡牛座 RV 型とが分かれている. 縦軸は実視絶対等級である. 上部の × 印は, 同じく大マゼラン星雲のケフェウス座デルタ型星の周期光度関係を示す.

ことは, タイプの決定を困難にした. 牡牛座 RV 型の定義が光度曲線の特徴にあるので, かなり多数回明るさの観測を行わなければ, そのグループに属していると判定できない. このことが, マゼラン星雲やアンドロメダ星雲の中にあるであろう牡牛座 RV 型の確認を難しくしていた.

視野の広い望遠鏡を用いて多数の星の明るさを繰り返し測定し, 星の変光を確かめる観測を**大規模測光** (massive photometry) という. マゼラン星雲の星々の明るさを大規模測光で監視した結果, ようやく牡牛座 RV 型の変光星の存在が確かめられた (23).

図 1 は大規模測光で得られた 33 個のタイプ II ケフェイドの周期光度図

である。牡牛座 RV 型は光度曲線の特徴で選ばれている。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がある。後者は前者の 2 倍の値になる。図 1 では、周期は後者の値を用いてある(24)。

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(25)。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 型星に相当する。

大マゼラン星雲にタイプ II ケフェイドが存在し、牡牛座 RV 型星がタイプ II であることが明瞭に示されている。

5 タイプ II ケフェイドの定義と実際

これまでの研究の経過を振り返ってみると、タイプ II ケフェイドについて、観測の進歩に伴って考え方の変遷もあり、用語なども時期により研究者により意味が同じとはいえないことに気付く。時期を追ってその経過を概括すれば、以下のようなになる。

1. アンドロメダ星雲の観測により星の種族の違いが認識された際に、タイプ I のケフェイドとして現在のケフェウス座デルタ型が、タイプ II のケフェイドとして現在の琴座 RR 型が、それぞれ確認された。
2. 球状星団に琴座 RR 型よりも周期の長いケフェイドがあることから、周期が 1 日よりも長いタイプ II のケフェイドがあるとされた。球状星団に属さないケフェイドのうちから、高銀緯の星（空間分布）と光度曲線の特徴に着目して、乙女座 W 星を手がかりとして分類が進められた。
3. 個々の星を分類しようとすると、銀河系内の星の場合、絶対光度がはつきりしないので、タイプ I なのか II なのか明瞭に区分することは容易ではない。光度曲線の形に違いがあるというが、定量的にそれを表現しようとすると、はつきりしない。

4. 大マゼラン星雲のタイプIIケフェイドについて近年観測が進み、牡牛座RV型も含めて、タイプIIケフェイドの周期光度関係が確立された。ウォーラーシタインは、周期が1日より長いタイプIIケフェイドを、ヘルクレス座BL型（周期が1日から5日）、乙女座W型（周期が10日から20日）、牡牛座RV型（周期が20日より長い）に分類している。また、タイプIIケフェイドが種族Iではないかとしている(15)。

最近のウォーラーシタインの考え方には、研究者たちがどう反応するか、変光星総合目録の編集者がどう対応するかなど、まだはっきりしないが、ケフェウス座デルタ型を典型的ケフェイドとし、それよりも暗い周期光度関係に属する脈動変光星をひとつのグループとして捉えるという姿勢は正しいと思われる。これらの星の化学組成について研究が進んでいるが、これは別のノートにまとめたい。

参考文献

- [1] Hertzsprung, E., 1914: Über die räumliche Verteilung der Veränderlichen vom δ Cephei-Typus. *Astron. Nachr.*, Vol. 196, p. 201
- [2] Baade, W., 1944: The Resolution of Messier 32, NGC 205, and the Central Region of the Andromeda Nebula. *Astrophys. J.*, Vol. 100, p. 137
- [3] Oort, J. H., 1926: The Stars of High Velocity. *Publ. Kaptein Astron. Lab. Groningen*, Vol. 40, p. 1
- [4] Kraft, R. P., 1961: Color Excesses for Supergiants and Classical Cepheids. V. The Period-Color and Period-Luminosity Relation: a Revision. *Astrophys. J.*, Vol. 134, p. 616
- [5] Kobayashi, E., 1974: Absolute Magnitude and Effective Tempera-

ture for 14 Cepheids in Galactic Clusters. *Sci. Rep. Tôhoku Univ., Ser. I*, Vol. 47, p. 41

- [6] Takase, B., 1970: Kinematical Analysis of the Cepheid Variables. *Publ. Astron. Soc. Japan*, Vol. 22, p. 255
- [7] Sanford, R. S., 1952: The Spectrum and Radial Velocities of W Virginis. *Astrophys. J.*, Vol. 116, p. 331
- [8] Arp, H. C., 1955: Cepheids of Period Greater than One Day in Globular Clusters. *Astron. J.*, Vol. 60, p. 1
- [9] Harris, H. C., 1985: A Catalogue of Field Type II Cepheids. *Astron. J.*, Vol. 90, p. 756
- [10] Balog, Z., Vinko, J., Kaszas, G., 1997: Baade-Wesselink Radius Determination of Type II Cepheids. *Astron. J.*, Vol. 113, p. 1833
- [11] Vinko, J., Remege Evans, N., Kiss, L. L., Szabados, L., 1998: Spectroscopic Survey of Field Type II Cepheids. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, Vol. 296, p. 824
- [12] Wallerstein, G., Matt, S., Gonzalez, G., 2002: The Carbon Cepheid RT Trianguli Australis: Additional Evidence of Triple- α and CNO Cycling. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, Vol. 311, p. 414
- [13] Turner, D. G., Berdnikov, L. N., 2003: The Nature of the Cepheid T Antliae. *Astron. Astrophys.*, Vol. 407, p. 325
- [14] Fernie, J. D., Ehlers, P., 1999: Using BV Photometry to Distinguish between Type I and Type II Cepheids. *Astron. J.*, Vol. 117, p. 1563
- [15] Wallerstein, G., 2002: The Cepheids of Population II and Related Stars. *Publ. Astron. Soc. Pacific*, Vol. 114, p. 689

- [16] Demers, S., Harris, W. E., 1974: The Instability Strip of Population 2 Cepheids. *Astron. J.*, Vol. 79, p. 627
- [17] Maas, T., Giridhar, S., Lambert, D. L., 2007: The Chemical Composition of the Type II Cepheids - The BL Herculis and W Virginis Variables. *Astrophys. J.*, Vol. 666, p. 378
- [18] Petit, M., 1960: Le Type de Population des Céphéides Galactiques; Critères de Distinction des Types et Catalogue. *Ann. d'Astrophys.*, Vol. 23, p. 681
- [19] Fernie, J. D., 1966: Classical Cepheids with Companions. II. Polaris. *Astron. J.*, Vol. 71, p. 732
- [20] Frolov, M. S., 1975: Cepheids of the Spherical Component. In *Pulsating Stars*, B. V. Kukarkin, ed, John Wiley & Sons, p. 97. Translated by R. Hardin from the Russian edition published in Moscow, 1970
- [21] Gehez, R. D., Hackwell, J. A., 1974: New Infrared Measurements of W Virginis Stars. *Astrophys. J.*, Vol. 193, p. 385
- [22] Joy, A. H., 1952: The Semiregular Variable Stars of the RV Tauri and Related Classes. *Astrophys. J.*, Vol. 115, p. 25
- [23] Alcock, C., Allsman, R. A., Alves, D. R., et al., 1998: The MACHO Project LMC Variable Star Inventory. VII. The Discovery of RV Tauri Stars and New Type II Cepheids in the Large Magellanic Cloud. *Astron. J.*, Vol. 115, p. 1921
- [24] Fokin, A. B., Pollard, K. R., 2001: Period-Luminosity Relation for RV Tauri Stars. in *Stellar Pulsation – Nonlinear Studies*, eds. M. Takeuti, J. R. Buchler, *Astrophys. Space Sci. Library*, Vol. 257, p. 122

- [25] Sandage, A., Tammann, C. A., Reindl, B., 2004: New Period-Luminosity and Period-Color Relations of Classical Cepheids. II. Cepheids in LMC. *Astron. Astrophys.*, Vol. 424, p. 43

変光星ノート No. 2 タイプIIケフェイド
2008年2月
柳町自然研究所
〒980-0811 仙台市青葉区一番町1-8-10-504