

大 犬 座 ベ ー タ 型 変 光 星

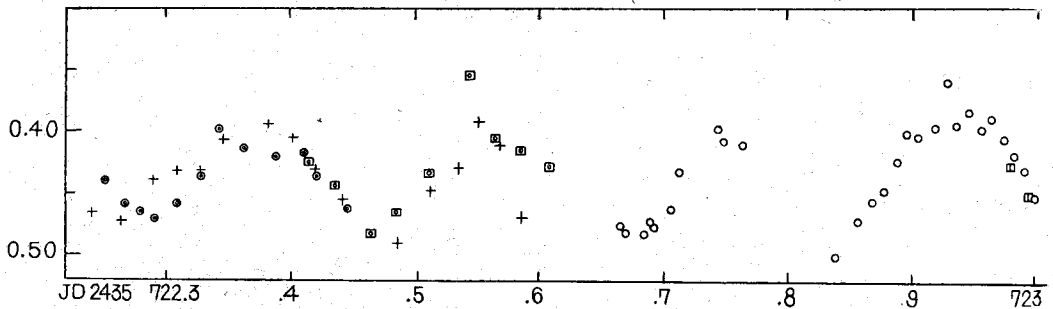
— 柳 寿 —*

大犬座ベータ型変光星は極めて少数であるが、そのスペクトル型、変光周期その他の共通な特長をもってひとつのグループを作っている。スペクトル型はB0.5—B2の狭い範囲に限られて、ヘルッシュブルグ—ラッセル図の上で主系列からやや右方の位置を占めている。最も大きな特長は、これらの星の約半数について光度曲線、視線速度曲線に2つの非常に接近した周期、あるいは多重周期が現われることである。B型星の大気・内部構造は比較的によくわかっているの、それらと結び付けて星の脈動論に新しい知見を加えるという期待ももてるわけである。本稿では多重周期と脈動の問題だけに限って最近の研究を紹介しよう。変光星の他の性質については「鍋木・宮地教授記念論文集」の拙文を参照して頂きたい。

この変光星の光度・視線速度曲線には第1図に示したように時と共に強い変化があらわれる。それを解析して正確な独立振動周期をきめることは極めて重要な仕事でそれなしでは正しい脈動論を立てることも不可能なわけである。それで1つの星の光度・色・視線速度などを同時観測して切れ目なしの連続データをとる目的で1956年の秋、日本からも古畑教授ほか数氏が参加して12 Lac星の共同観測が行なわれた。第1図はその時の記録の一部である。これらの観測のうち光度曲線の周期解析の結果が昨秋漸く発表されて、12 Lac星に次の4つの独立な周期： $P_a=0.1973$ (日) (4時間44分)、 $P_b=0.1931$ (4時間38分)、 $P_c=4$ 時間22分、 $P_d=25.8$ 日などのあることが明らかになった。このうち始めの2つは以前から判っ

ていたものであるが、後の2つはこの共同観測によって発見されたものである。振幅の最大のものは P_b で他はその1/3程度である。第1表には以下述べることに関係する量だけ挙げてあるが、 P_b 周期に結び付くものは観測の不充分によるらしい1—2の例外はあるが視線速度の振幅も大きく、また吸収線の増幅はこの周期についてだけ起きている。

周期解析法を用いて独立周期をもとめる研究は近年ファン—フーフによっても盛んに進められている。ファン—フーフは表の P_b が基本振動(P_0)をあらわし、 P_a は P_0 と第2陪振動 P_2 との喰りの周期 P_{02} と考える。はじめ P_0 、 P_{02} がきまると P_2 が求まり以下同じ考えを指導原理として光度曲線あるいは視線速度曲線から多数の独立周期を発見している。最初にしらべた ν Eri星については $P_0=0.1735$ (日)、 $P_2=0.1167$ 、 P_3 、 P_4 ほかに $P_{02}=0.1773$ など13ケの周期を見いだしている。次いで β Cru、 ξ^1 CMa、 β Cep、 θ Ophについて表以外の多くの独立周期をえている。 ν Eri星でえられた陪振動の周期 P_1 、 P_2 、……と基本周期の比をとると既に判っている指数3のポリトロプガス球の球対称脈動の場合の値と大体等しくなる。ファン—フーフはこの関係が他の星にも成立つと前提して周期解析を進めることができたので、これらの変光星は球対称の脈動によって全部説明できると主張している。しかし、ファン—フーフの導いた多数の振動のなかには測定誤差程度の振幅のものも少なからず含まれているから、その全部に物理的意味があるか否かは疑問である。またファン—フーフの考えを上



第1図 (a) 12 Lac の光度曲線

* 東北大理学部
Z. Hitotuyanagi; Recent Studies on the β CMa-Type
Variable Stars

の 12 Lac 星の観測に應用すると少しくいちがいが現われてくる。しかし多重周期を今後も出来る限り多く正確に決めることは極めて重要なことである。

この球対称の脈動説に対してルドーは既に 1951 年に次の説を出している。B 型星は一般に回転速度が大きいからこれら変光星では球対称脈動のほかに回転による変形運動が起きていると仮定してその周期を求めた。普通の脈動振動数を σ_0 、角速度を Ω とすると、回転のあるときの振動数は σ_0 のほかに、 $\sigma_0 - 2\beta\Omega$ 、 $\sigma_0 + 2\beta\Omega$ (β は内部構造による定数) があらわれる。 Ω は非常に小さい値であるから、これらの振動数は互に非常に接近している。ところで問題の周期は 2 つであって、以上の 3 つのうち何れか 1 つは現実には起きえないという説明を与えることができなかった。その上回転星でも強く惹き起されるのは球対称の脈動で他は速かに減衰するものと考えられるためルドーの理論はその後あまり発展をみなかった。

数年前からチャンドラセカールとレボピッツはガス体の平衡形状と安定論について一般的な方法の研究を進めて、従来 1 つのピリアル方程式で論じていたものを、テンソル表式を導いて可能な振動の型を余計含めるような形で論じようとした。そして星の内部の脈動による偏位がその点の座標の一次関数であると仮定した場合の問題を解いている。球対称のホモログ偏位はこの仮定の最も簡単な例である。その結果まず回転のない場合の独立な振動数として次の 2 つがえられた。

$$\sigma_R^2 = (3\gamma - 4) \frac{W}{I}, \quad \sigma_S^2 = \frac{4}{5} \frac{W}{I}.$$

W は星の全ポテンシャルエネルギーの絶対値、 I は中心点のまわりの慣性能率、 γ は等圧比熱と等積比熱の比で振動が断熱的におきるとするとき圧力変化の比率は密度変化の比率の γ 倍でおきる。更に回転のあるときには上記の振動数はそれぞれ Ω^2 に比例する量だけちがった値をもつ。 σ_R は従来研究すみの球対称の脈動に当るが、 σ_S は非対称脈動に当るものでチャンドラセカールとレ

ボピッツによつてはじめて存在が明らかにされた。

ここで $3\gamma - 4$ が $4/5$ に等しいとき、すなわち $\gamma = 1.6$ という特別な場合を考えると非常にちがった事情がでてくる。回転のない場合 σ はひとつになってしまうが、回転によってそれは次の 2 つの形の基本振動に分れる。

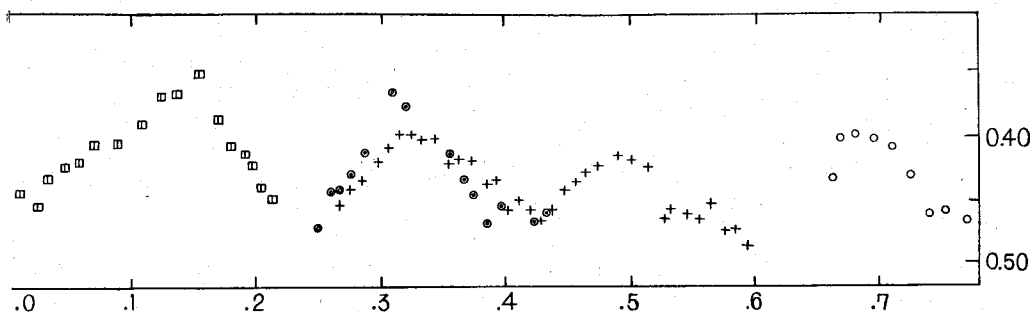
$$\sigma_1^2 = \sigma_0^2 - a\Omega^2, \quad \sigma_2^2 = \sigma_0^2 + b\Omega^2, \quad a \neq b.$$

すなわち回転体に対しては殆んど相等しい 2 つの振動数が自動的にあらわれてくる。同時に振動は何れも非対称で σ_1 の方は赤道方向の振幅が極方向のよりも大きく、また σ_2 は逆に極方向の振幅が大でしかも極方向のふくらむとき赤道方向は反対に縮む運動をあらわしている。チャンドラセカールはこの 2 つが変光星に見られる周期にほかならないと主張している。問題は $\gamma = 1.6$ という値が星のなかで実現するか否かである。 γ は電離ガスでは $5/3$ 、輻射だけに対しては小さい $4/3$ になる。B 型星の質量はほぼ太陽の 10 倍以上なので輻射圧の役割が利いてきて、実際計算したモデルで調べると内部の可成りの範囲に亘つて γ の 1.6 に非常に近い値が実現してい

第 1 表

	Pa		Pb		2 Ka	2 Kb	$V \sin i$
	h	m	h	m			
α Lup	6	14					
σ Sco	6	7	5	55	15	110	30
β CMa	6	0	6	2	12	6	28
β Cru	5	58	5	40	1	5	
ξ^1 CMa	5	2			36		0
BW Vul			4	49		150	26
KP Per			4	48		16-25	
12 Lac	4	44	4	38	17	37	29
β Cep	4	41	4	34	3	25	25
15 CMa	4	26			7		39
ν Eri	4	16	4	10	22	49	7
τ^1 Lup	4	15			11		
16 Lac	4	6	4	4	9	30	5
δ Cet	3	52			13		0
γ Peg	3	38			7		0
θ Oph	3	17	3	22		14	26

2 Ka, 2 Kb は周期 Pa, Pb に対応する視線速度の振幅(km/sec), $V \sin i$ は回転速度観測値、 i は視線と回転軸のなす角。



第 1 図 (b) 12 Lac の光度曲線

ることが判る。また表から判るように視線速度の振幅の和 $K_a + K_b$ が2つの周期の差の比率 $\Delta P/P$ と共に増加している事実は回転が脈動の何等かの原因となっていることを示すと考えることができる。

このようにして独立周期の数が2つということは旨く説明できたが、この理論による他の観測事実の説明はまだ定性的にしか進められていない。上の式から $\Delta P/P$ は Ω^2 に比例するから星の質量、半径と内部構造を仮定すると赤道表面の回転速度がえられ、およそ 150 km/sec 前後になる。変光しないB型星の平均回転速度は 164 km/sec であるから可成り大きい値である。もし変光星は実際にこの速度で回転していると仮定すると、視線への投影された速度は何れも小さいから、われわれはこれらの星をその回転軸に近い方向から眺めているという推論も出てくる(ボーム・ピテンゼの説)。しかしこの説では同時に同じ物理量、構造をもつ星を赤道方向から見た場合に変光星として観測されない理由が判らない。何故回転速度の大きい場合ほど脈動がおさえられるか、あるいは前述の脈動偏位の仮定が実際と合わないこと、あるいは別の型の脈動も考えられることなど更に研究の余地が残されている。

以上は変光星が可成り大きい回転速度をもつことを認めた上での立論である。ところがマクナマラ・ハンセン(1961)は表の $V \sin i$ の測定をやると共に、変光星と同じスペクトル範囲のB型星について回転速度に対する星数の統計的分布を調べた。これらの星で観測値 $V \sin i$ から直接 V を相することはできないが、回転軸の向きが任意分布をすることで確率的に赤道表面の回転速度自身の頻度を知ることができる。表から判るように $V \sin i$ の値は例えば 50 km/sec より小さい。したがって

50 km/sec より小さい $V \sin i$ をもつ星数は、 V 自身が 50 より小さい星と V は 50 より大きいが赤道面の傾きのため 50 より小さく観測されるものとの和と考えられる。調べた 5.6 等級より明るいB型星の総数に対する $V < 50$ の星の頻度は丁度変光星の数の割合(約 60%)と一致することが認められた。したがって、この結果をそのまま受け入れると、脈動の起きるのは回転速度がある一定値より小さい場合に限るであろうという考えに導かれる。もしこの結論を正しいとしてチャンドラセカールの理論をとると2つの周期は観測値より接近して少しくいちがいが見られる。また変光星の頻度は星を極方向から見る頻度より大きいので、これとボーム・ピテンゼの説とは矛盾する。

このように唯2つの周期の存在にかかわるだけの問題でありながら、問題の核心は尚判らないという状態である。しかし、ファン・フーフの説よりは回転が重要な要素になっているとする説の方が素直な考え方と思える。星は進化と共に半径および密度分布が変わるので赤道表面での重力と遠心力の関係が変化する。クラムピンとホイール(1960)は適当な回転エネルギーをもった星はH.R.図の上で主系列から出発して進化の道がS字型になる辺りに達するとき遠心力と重力の釣合が破れて所謂回転不安定になる可能性のあることを示した。すなわち赤道からガスの流出がおりそれが殻を作ってB型輝線星になるであろうと考えた。それで、もし回転エネルギーがこのような回転不安定をおこすに足りない場合には、星はガスを失う代わりに脈動を始めることが可能であるかも知れない。従来巨星で考えていた星の安定論とは別の形の安定不安定の問題がこの辺りに隠されているのではないかという期待もあらわれるのである。

新刊紹介

概論天文学 宮本正太郎著

A5判 170頁、口絵写真5頁、本文中に多数の図あり。
定価 550円、地人書館発行

著者宮本教授の著書は明解な点で定評があると思う。その著者が近時の宇宙研究の感覚で構想を新たにしてお中高校の先生方の参考書として教科書形式に書かれたものが本書である。オリジナルで最新の口絵写真、しかもその配列等に著者の行きとどいたスマートな感覚がうかがわれ、明解な本文と相俟って、本書をユニークな教科書にしている。

本書が従来の教科書と違っている点の一つは、著者が探針宇宙科学の研究法、すなわちロケットや人工天体に

よる直接研究法を本書の構成に非常に豊富にとり入れておられることである。その結果、人工天体の運動に関する関係式などが多く見られると共に、月や惑星の表面というような問題も相当くわしく取り扱われ、本書の独自性を作り上げていると同時に、地学として天文学が学校教育で取り上げられている現状に見事にadaptしている。

本書は1.天象、2.惑星の運動、3.恒星とその進化、4.惑星と地球の4章に大別され、13頁の附録と、索引がついている。附録は日時計の目盛りに関する表とか、比較的繁雑な公差の力学的説明とか、ロケットの運動方程式とかの教育上実用的な内容を持っている。本書は天文地学教育に従う人だけでなく、天文学を体系的に知ろうとする人々にとって無二の参考書となることである。