

β Cep 星 と Be 星 の 諸 問 題

— B および Be 星 研 究 会 か ら —

小 暮 智 一*・田 中 靖 夫**・石 塚 俊 久*

B型星の非定常現象を主テーマにした小研究会が去る2月28日から3日間、水戸市でひらかれた(参加者約20名)。研究会の対象は β Cep星とBe星、およびそれに関連した分野というように限られたものであったが、参加者から多くの話題が提供されて有意義な研究会であった。ここではその紹介をかねて問題点をさぐってみたい。

1. B型星の進化と自転, Be星の統計

(1) 自転の影響

星の構造と進化に及ぼす自転の影響については、最近多くのリアリスティックな模型計算がある。この影響を定性的に見るために田中(茨大)は解析的に取扱える線型モデルをしらべた。自転速度の変化に対応する表面光度、有効温度の変動が計算されたが、ひとくちにおいて、自転は星の有効質量を減少させる効果をもつので主系列近傍でその効果を識別するのは難しい。

また、主系列から離れた星については星全体で角運動量が保存されるかどうか、依然として重要な問題となっている。角運動量が保存され剛体的自転がつづくとするれば、遠心力が重力にうちかかって赤道からのガス流出が始まりBe現象に対応させることができる。一方、角運動量が星の内部で各層ごとに保存されるのであれば表面近くで重力にうちかつことはない。現在のところ、どちらかという理論的なきめ手はまだない。

(2) 中心水素燃焼以後の段階

HR図上で主系列よりおよそ1等級明るい領域に中心核の水素がほぼ消失した段階が位置する。その段階から星は青い方へ移る。この進化段階を β Cep星またはBe星の不安定性に対応づけようとする説もいくつかあるが、いずれもたしかではない。例えば、Be星のうち輝線の特に強い星が主系列のほぼ1等級上方に並ぶというシュミットカラー(1964)にたいし、スレッチバックはそれを否定している。この辺はまだ観測上の問題として残されているようである。

(3) 星団中のBe星

最近の資料を解析して、高橋(和歌山大)は星団中のBe星の存在比は転向点(星の分布が主系列から離れる

点)がB1~B2である星団で著しく大きい、という事実を見出している。例外はNGC 6530で、転向点がO5であるのに存在比は82%と非常に大きい。この星団はM8の中心部にあるので、Be星の輝線はガス雲と関係しているのかも知れないという話もある。転向点と存在比が星および星団の進化とどのように関係するかは新しい問題であるといえよう。

(4) 自転速度についての統計

星の自転速度 $V\sin i$ の頻度分布は一般に自転速度の分布 $f(v)$ と自転軸傾斜角の分布 $g(i)$ の積で表わされる。上杉(京大)はBe星について、 i の分布をランダムと仮定して $f(v)$ の形を推定し、幅のせまい矩形分布が比較的よく観測と合うことを見出している。自転速度の大きい点に極大頻度をもつ $f(v)$ の非対称性はマックスウェル分布では説明が難しい。むしろ、Be星を一樣な自転速度400 km/secをもつ星と見なす考え方(例えば後節にのべる分光モデル)の妥当性を裏づけているように思われる。

Be星にたいし、B星全体の分布 $f(v)$ は上杉によると440 km/secまで一定という分布がよいという。B星とBe星の自転速度分布の相異は何に由来するのか、進化的にみても面白い問題である。この点について $V\sin i$ と分光型との関係図でのBe星の分布を見ると、B3—A0で $V\sin i$ の上限はほとんど釣合いの臨界速度に近くなっている。Be星とは一般にこの臨界速度で自転する星といえるかも知れない。

2. β Cep 星型

一般に β Cep(または β CMa)星とはHR図上でB0.5~B2、光度階級II~IVの狭い領域に分布する変光星である。その特徴を要約すると短周期変光(3.5—6時間)、ピート現象、小さい光度差(0.01~0.05等級)、緩やかな速度曲線(数10 km/sec以内)、90°の位相差、吸収線輪郭の位相変化、などである。これらの特徴のうち一部を持たないものもある。

(1) 吸収線輪郭と非動径振動

尾崎(東大)はルドー(1951)の立場にたって、吸収線輪郭の変化とピート現象を、二つの非動径振動の組合せと自転的作用によって説明を試みた。興味深い結果の

* 茨城大学理学部

** 茨城大学教育学部

一つとして、星の自転はある位相では自転と同じ方向に進む進行波と打消し合って吸収線を鋭くさせる。したがって、吸収線のもっとも鋭い時期に測定された自転速度は真の値を与えず、それより小さくなっている。尾崎によるこの補正をほどこしても自転速度は 15~75 km/sec の範囲におさまるので、 β Cep 星が B 型星としては低速自転星に属することは間ちがいないであろう。

(2) 脈動定数 Q と励起機構

尾崎の計算は β Cep 星の現象をよく説明しているが、脈動定数 $Q (=P\sqrt{\rho/\rho_0}$ days) の値に問題のあることが石塚 (茨大) によって指摘された。観測的には一柳・竹内による推定値およびスピカの値があって、いずれも $Q \sim 0.02$ である。一方、理論的には動径振動、非動径振動のどちらでも $Q \sim 0.04$ である。 Q の理論値を半分に減らすには高次振動を採るか、星の内部での密度分布を変えなければならない。こうして、 Q の問題は内部構造および振動の励起機構とも直接関係して来る。

β Cep 星理論の最大の難関はその励起機構にある。脈動エネルギー 10^{48} erg は石塚によると、He, O の電離エネルギー、自転、磁場のエネルギーなどで十分捻出することは出来るが、それらがどのようにして非動径振動に変換されるかについては手がかりもない。

(3) δ Sct 型変光星

β Cep 星と関連し、やや晩期型になるが、主系列近傍の変光星としての δ Sct 型星について、研究の現況が西村 (東京天文台) によって紹介された。

3. B 型超巨星と P Cyg 星

FUV, とくに 1000~2000Å での B 型星の分光観測はモルトン (1966) 以来、数回のロケット観測があり、オリオン、さそり座を中心に 20 個近くの星についてスペクトルが得られているが、B 型星全体の傾向をつかむほどにはなっていない。

FUV での最近の話題は B 型超巨星で高速度の質量放出が発見されたことである。これは FUV 域に Si IV, C IV などの輝線があらわれ、かつ、紫方に変位した吸収線を伴うことから推定される。可視域のスペクトルにはそのような事実が現れないので、放出されたガスの量はさほど多くなく、したがって光学的にも厚くないことが推測される。

これを P Cyg 星と比べて見ると、B 型超巨星域での質量放出には次の 2 つのタイプがあるように思われる。ひとつは超巨星型で放出速度が大きく (1500~2000 km/sec) かつガス密度が低い。もうひとつは P Cyg 星型で、放出速度は小さい (100~200 km/sec) が、ガス密度が高い。

4. Be 星

(1) 赤外スペクトル

Be 星の多くは著しい赤外超過を示す。その原因としては星をとりまく宇宙塵による場合と、外層大気中の散乱光による場合とが考えられる。両者はスペクトルの様子から区別できるが、星によってどちらの場合も観測されている。平田 (岐阜大) はモデル大気の計算から外層大気による散乱光が、電子温度に強く依存するけれども、十分に赤外超過に寄与しうることを示した。

写真赤外域でのスペクトルは水素パッシェン系列線、O I $\lambda\lambda$ 7773, 8445, Ca II $\lambda\lambda$ 8498, 8542, 8662 などによって特徴づけられる。約 60 個の星についてのアンドリアとウージオ (1967) の観測資料を検討して、小暮は次のような傾向を認めた。

- i) ガス殻星は一般に赤外輝線も強い。
- ii) 光度階級の高い (B I ~ B III) 星は赤外輝線、とくにパッシェン輝線を出しにくい。
- iii) $H\alpha$ が吸収線の星は赤外輝線は示さない。
- iv) 主系列の Be 星 ($H\alpha$ 輝線) のなかで、赤外輝線を示す星の割合は B0~B5 で 30~40% 程で必ずしも高くない。
- v) B6 以降の Be 星では赤外輝線を示す率が低い。

これらの傾向のなかで、 $H\alpha$ とパッシェン系列との関係が輝線の現れ方について単純でない点は注意すべきであろう。これは次にのべる分光モデルを精密化するときの一つの鍵になることが予想される。

(2) Be 星外層大気分光モデル

Be 星の輝線強度や輝線輪郭などから外層大気の構造を推定するには、まず、外層大気内部の輻射場を知る必要がある。輻射場の近似解としては大気中の速度勾配を重視する立場 (ソボレフ) と、自己吸収の効果を重視する立場 (宮本, 小暮) とがある。平田の検討によると前者では外層大気の拡がりが大きく出すぎることで、比較する物理量によってパラメーターが一貫しないことなどに問題がある。一方、後者では扱えるエネルギー準位の数に制約があって、例えば $H\gamma$, $H\delta$ の輝線強度が説明できないといった欠点があるが、 $H\alpha$, $H\beta$ だけに限定すれば、一応矛盾のないモデルが得られる。この立場にたって計算された $H\alpha$ 輝線強度とバルマー減滅率との関係および、それと観測との比較の結果 (平田, 鈴木, 小暮) が報告された。それによると Be 星外層大気は次のような平均的構造をもつ:

- a) 赤道面内で星半径の 5~10 倍の拡がりを持ち、それと垂直な高さは星半径の 2~3 倍程度である。外層大気の拡がりや偏平度は星の分光型と共に多少変化する。
- b) 外層大気を等視線速度帯に分割して、輻射場の近似解を適用すると、各速度帯のライマン連続光にたいする光学的厚さとしては 1~5 の値が適当である。

つづいて鈴木 (京大) はマルボローのモデルに基く輝

線輪郭の計算結果を報告し、ガス殻吸収線の形成機構について説明を試みた。

(3) Be 星外層大気の力学的構造

Be 星外層大気を 磁場を伴う 定常恒星風とみなす立場から、齋藤（東京天文台）は外層大気の定性的性質を検討した。解の主な特徴をまとめると

a) 赤道方向に広がった外層大気が存在するためには、星表面で数 10 ガウス以上の強い磁場の接線成分の存在が必要である。

b) 恒星風の状態は磁場、密度などにあまり依存せず、外層大気中の自転法則は角運動量保存型になっている。

齋藤のモデルにたいして、外層大気の形成に磁場が必然なのかどうか、Be 星外層大気は本質的に非定常であるという考え方もありうるのではないかと、といった点に論議が集った。輝線輪郭の時間変化から外層大気は膨張ばかりでなく、収縮状態にある場合もかなり存在する。これは定常恒星風だけでは解決できない問題であろう。いずれにしても、現状では力学的構造の理論と分光モデルとの関係は十分でなく、今後の両面からのアプローチが期待されるところである。

(4) β Lyr

B型に属する代表的な近接連星として β Lyr の光度曲線およびスペクトルの特性が清川（東京天文台）によって紹介された。伴星は見え、スペクトルは B9II+ガス殻吸収線+輝線、という現れ方である。FUVでの光度曲線ほど第2極小点の深さが増し、 $\lambda 1200\text{\AA}$ 以下で第1極小点と逆転するところから、伴星は高温(10⁵ K)、重質量のブラックホールではないか、というウイルソン(1971)らの説も紹介された。

研究会ではまとめの討論が三つのテーマについて行われ、それぞれ問題点が整理された。第1はB型星の進化と β Cep星の諸問題(司会:田中)、第2はBe星の分光および力学的モデルの諸問題(司会:平田)、第3は観測の見地からの総合討論(司会:菊池(東京天文台))である。とくに最後の討論では日本における観測諸施設をふまえて、B型星および関連した諸領域でのケーススタディをふくめた幅広い観測をすすめることの意義が強調された。

最後に本研究会の開催には東京天文台高瀬文志郎氏の総合研究班からの援助に負うところが大きい。記して深甚の謝意を表したい。

好評増刷発売中

火星

— 観測と研究 —

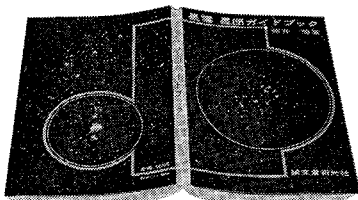
■天文ガイド臨時増刊 / B5判 / 122頁 / 定価480円

マリナー探査機による火星の写真、今季の観測についてのアドバイス、ベテラン各氏の観測経験の紹介、火星の地図、データなど火星に関する総合版です。

★主内容 本文 / 今年の火星大接近 / 最近のころの火星面小・中望遠鏡で見る火星 / 今世紀の火星接近一覧表 / 口絵 / 火星のカラーイラスト / 花山天文台の標準火星地図 写真 / マリナー6・7号による火星写真

星雲星団ガイドブック

— 小型カメラと小望遠鏡による星雲・星団の観測 —



好評発売中

■藤井 旭著 / A5変型判 / 316頁 / 定価680円

天文ファンにとって人気のある星雲星団の写真撮影と観測についての入門書です。オリオン星雲など約120種の作例と、見つけ出すための星図を添え、撮影の方法や注意、小望遠鏡でながめる場合のヒントをくわしく解説した。星雲星団の写真集として満足できる本で、同じ著者の「天体写真の写し方」の姉妹編です。

誠文堂新光社

東京・神田錦町1の5 振替東京6294