

プレオネ星周円盤半径の長期変動 (1938-2007)

片平順一、田中謙一(元大阪教育大)、井上和俊(大阪府箕面高)、川端善仁(京都成章高)、川端哲也(元美星天文台)、中山浩(京都市堀川高)、鳴沢真也(西はりま天文台)、内藤博之(西はりま天文台)、門正博(大阪樟蔭女子大)、定金晃三(大阪教育大)、平田龍幸(元京都大)

1. はじめに

図1にはプレアデス星団(すばる)の写真と、主だった星ぼしのH α 線プロフィールが重ねてあります(Be型星を観測しているフランスのアマチュア研究者HPから引用)。明るい左の2つの上側がプレオネ(Pleione, 28 Tau)です。ダブルピークのプロフィールが描かれています。

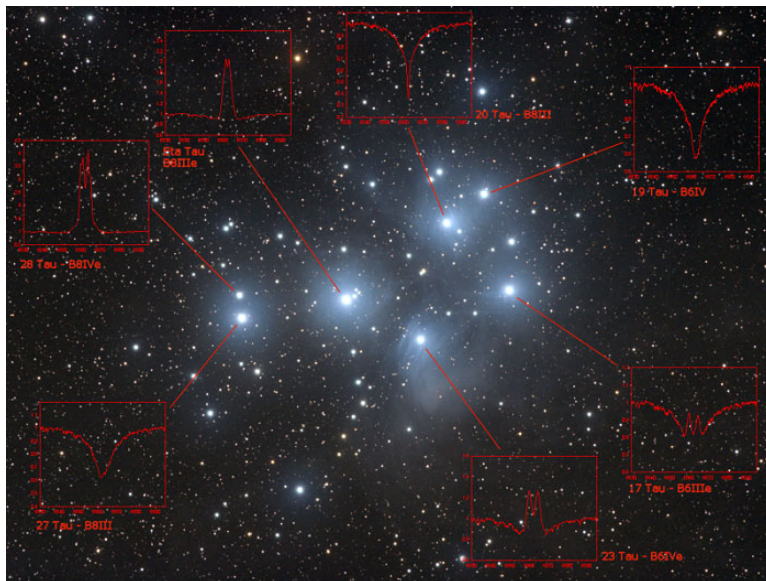


図1 プレアデス星団の星ぼし

(<http://www.astrosurf.org/buil/us/bestar.htm>)

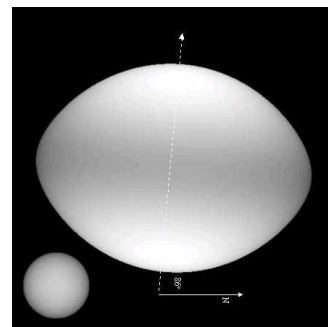


図2 レグルス(B7V型)の姿
上下が自转轴の方向。高速自転のため木星のように光球が赤道方向に張り出している。左下は比較のための太陽。(http://www.nsf.gov/news/news_images.jsp?cntn_id=100726&org=NSF)

プレオネのスペクトル型はB8Veとされています。そして、少なくとも3重連星と考えられています。主星は高速回転を示しています。プレオネにスペクトル型の近い、B7V型高速回転星レグルス(しし座星)の光干渉計像を眺めると、主星の形がイメージできると思います(図2)。連星成分は次のようです。

	スペックル成分	分光連星成分
周期 P	不明	218.0 日
離心率 e	不明	0.60

軌道面傾斜角 = 60° とすれば、

$$a = a_1 + a_2 = 240R_o$$

$$\text{最接近時の距離} = > 96R_o$$

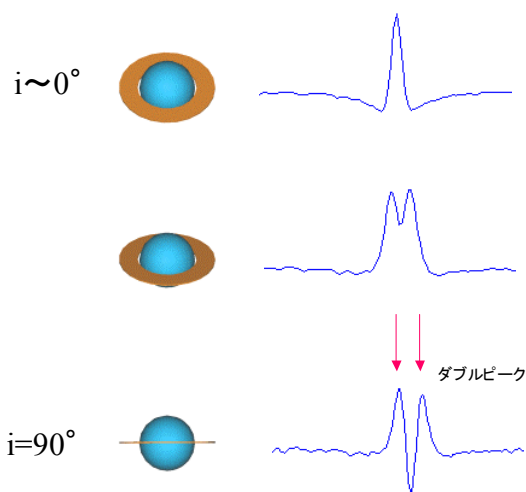
$$(R_* = 4R_o \text{ とすれば}) = > 24R_*$$

$$M_2/M_1 (3.8M_o) = 0.35M_o/3.8M_o$$

2. Be星円盤の傾き (i) と輝線プロフィール

Be星の輝線プロフィールは普通、図3のように星の自転軸の傾きに応じて変化すると考えられています。それは、土星のリングのように、星の周りにできる円盤は星の赤道面上に形成されるのが力学的に安定しているからです。

ところがプレオネは35年ほどの活動周期の間に、図に描かれたようなプロフィールを、H 線が順次見せてくれるのです。円盤を形成し始めた活動期初期には $i=90^\circ$ に対応する、弱いダブルピーク輝線成分と線中心の吸収成分を併せ持つプロフィール、そのダブルピーク輝線成分がだんだん強くなり、輝線強度が最大となる時には $i \sim 0^\circ$ に対応するようなシングルピークのプロフィールへ移行していきます。輝線強度最大期を過ぎると、今度は逆方向にプロフィール変化を辿ります。ただし、 $i=90^\circ$ に対応する、吸収成分を示すプロフィールには戻りません。



引用 <http://www.astrosurf.org/buil/us/bestar.htm>

図3 輝線プロフィールの形と星の自転軸の傾き

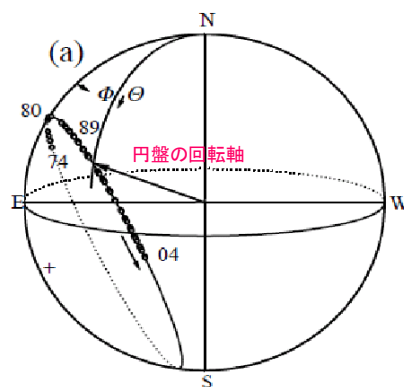


図4 プレオネ円盤の歳差運動の様子

1974 - 2004年の円盤回転軸の向きが丸印で球面上に示してある。天球面の向こう側から観測者側へ動く。(Hirata, R. 2007, in ASP Conf. Ser. 361, Active OB Stars)

プロフィール変動の過程で、ダブルピーク輝線の間隔 (Peak Separation, 略して PS) は活動初期は非常に幅広く、その後だんだん狭くなり、最大強度期前後ではシングルピーク的にプロフィールになるため、PSを測定できなくなります。活動期終期に向けて、再びPSは広がります。

このような面白い現象は長年の不思議でしたが、最近、偏光観測の解析から歳差運動が検出され、ようやく理解することができました (図4参照)。歳差運動は、分光伴星の潮汐力によって引き起こされると考えられます。

3. 輝線プロフィール PS から求める円盤半径

プロフィールのPSを輝線を放つ円盤半径と結びつける理論研究は1970年代に行われています。それによると、円盤回転がケプラー運動をしているとすれば、簡単な次式で表されます。

$$r_{\text{disk}} = R_{\text{disk}} / R_* = (2 * V_c * \sin(i_{\text{disk}}) / \text{PS})^2$$

ただし、 i_{disk} は円盤回転軸の観測者に対する傾きです。図3での i と同じ定義です。 V_c は星半径での円盤回転速度で、420km/s を仮定しています。

i_{disk} を以前は一定と考えていましたが、円盤の歳差運動解析から推定できるようになりました。ここでは解析から得られた i_{disk} を用いて、円盤半径を求めてみました。

4. 輝線プロフィールPSの長期変動とH・H線による円盤半径

プレオネは約35年周期で、1938年以降、連続して3回の円盤形成を起こしています。図5では、それらを第n期円盤として区分してあります。図には4つのバルマー線のPSがプロットしてあります。高準位線ほどより大きなPS値を示す傾向が読み取れます。PSデータは、出版され

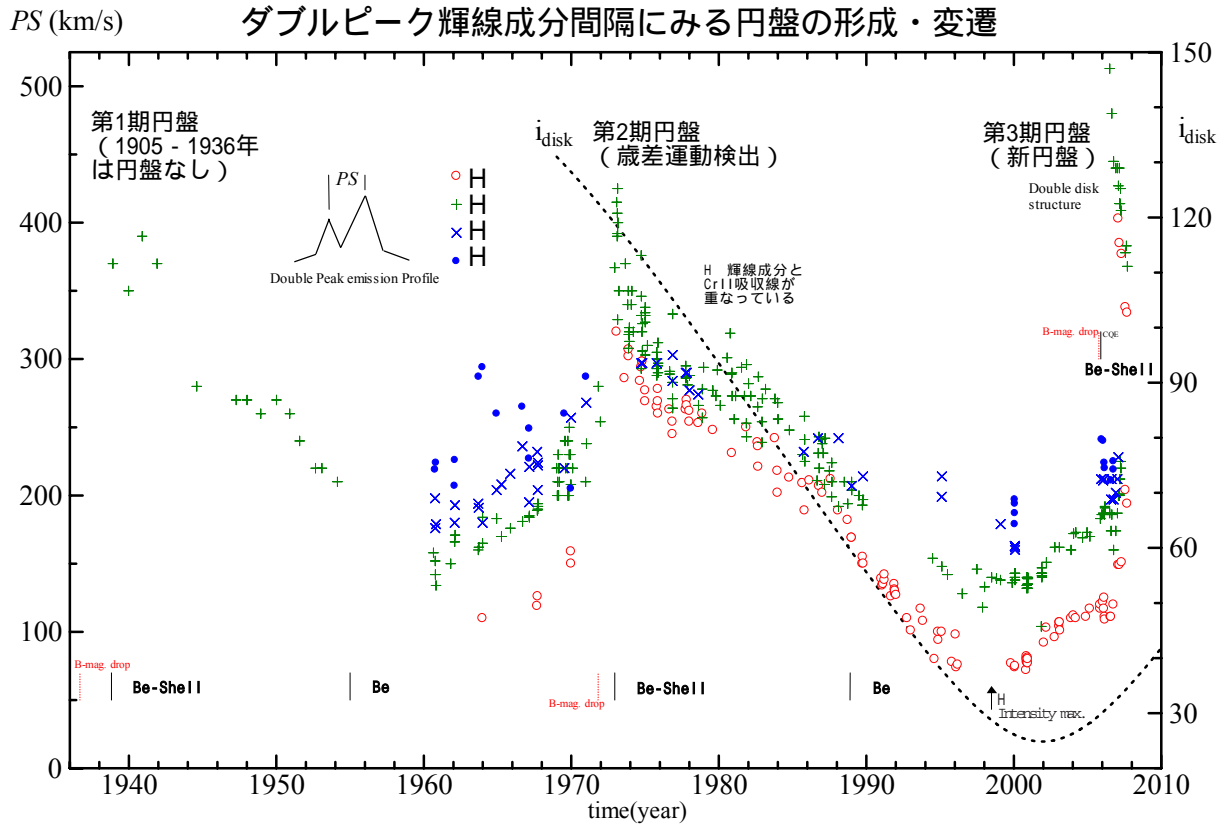


図5 プレオネのPS長期変動 H 輝線強度が最大となる時期(図中の矢印)の前後はシングルプロフィール的になり、PS測定が難いため、データを除いてある。

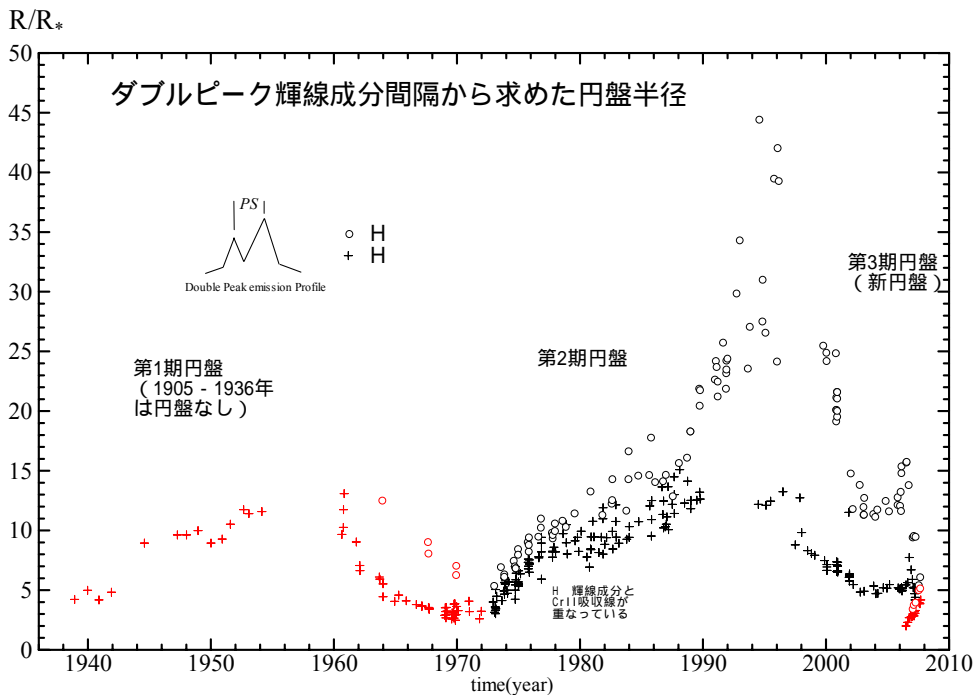


図6 プレオネのH・H線による円盤半径

H 輝線がシングルプロフィールになる時期の前では計算値がばらついている。

た論文（通常分光器・エシェル分光器、乾板・Reticon・CCD）、国立天文台岡山観測所の通常分光器による乾板・CCDデータ、美星天文台・西はりま天文台の通常分光器 CCD データ、北京天文台エシェルデータからなっています。

円盤の偏光解析は第2期円盤で行われました。得られた i_{disk} を同図に重ねています（右側の目盛り）。偏光解析からは、 i_{disk} がもっとも小さくなる2002年頃にH 輝線強度の最大期が起ると予測されます。しかし実際には、約3年半前に輝線強度最大となり、少々観測とのずれがあります。ですから、用いる i_{disk} は近似的な値といえます。

第3節の換算式から得た半径を、図6にプロットしています。その計算時、第1期円盤および第3期円盤の i_{disk} は、円盤形成の周期性を仮定して時間をずらして適用しました。（具体的には円盤形成開始時に起こる、星の明るさ減少開始時期の間隔分だけシフトしています。）

H 線から得た半径はH のものより大きく現れています。これは光学的に厚いH 輝線は広い範囲で作られ、より光学的に薄いH 輝線は円盤の内側領域で形成されることを表しています。

H 線半径は第1期、第2期で似たような変動を示しています。円盤の成長過程が似たようなものであることを示唆しているのではないのでしょうか。第2期円盤が消える前に第3期円盤が発生しており、2重の円盤が存在する時期が2年ほど続きました。2つの円盤の相互作用のためか、第2期円盤の最後の半径変動が、第1期と少し異なるようです。

H 線の最大強度期の半径情報は、プロフィールがシングルピーク的になるため得られていませんが、近隣の半径から推測してみます。最大強度の時期は、私たちが円盤全面を観察するような時期です。図からは、この時期に円盤半径がもっとも大きくなるといえます。計算値のばらつきは大きいですが、30-35R. に達すると見積れます。第1節で主星と分光伴星の距離は、最接近時に24R. になると述べました。推測されるH 線円盤半径の最大値は、これに近い値となっています。プレオネでの円盤成長は、主星の周りの最小のロッシュ半径の中に制限されているのではないかと考えられます。

5. 光干渉計による円盤観測への期待

最近、Be型星の円盤が光干渉計によって次々と観測され始めています、1例を図7に示します。

単独星の周りの円盤だけでなく、連星系の円盤も観測対象になっています。

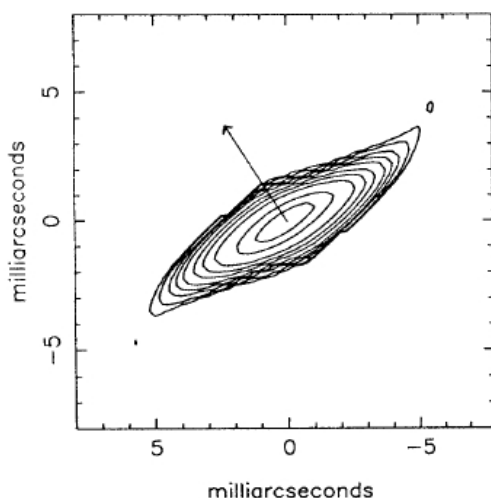


FIG. 6.—Reconstructed H α intensity map of ζ Tauri, showing the high axial ratio of the circumstellar environment of this shell star. The polarization angle (denoted by the arrow) is perpendicular to the plane of the disk (from Quirrenbach et al. 1993, reproduced with permission).

光干渉計観測から、プレオネと同じスペクトル型B8星の円盤に対して、半径=3R. ほどが得られています(Grundstrom & Gies, ApJ 651, pp. L53-L56, 2006)。図6に示したプレオネ円盤半径と比べると、ずいぶん小さな値が示されています。

今後、光干渉計観測がプレオネでも行われることを期待しています。光干渉計による円盤の姿、求まる半径とPS半径との対応関係が得られれば、プレオネ円盤の変遷の考察がもっとリアルになると考えられます。

図7 H でみた Tau の円盤

(Porter & Rivinius 2003, PASP, 115, 1153)