

# プレオネ伴星の periastron 通過時のバルマー輝線変動

片平順一・前野将太 (美星天文台)・本田敏志 (兵庫県立大学)・  
Stephane Charbonnel (Durtal Observatory)

**概略** プレオネ伴星の periastron 通過時に  $H\alpha$  プロフィール変動が引き起こされることを Pollmann & Vollmann (2014) が検出している。それを受け、2018, 2019 年 periastron 時に  $H\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  の各線での輝線強度変動を短期間調べた。観測からは、同変動は  $H\beta$ ,  $\gamma$  線と急激に弱まり、 $H\delta$  線輝線成分ではほとんど変動が見えないことが分かった。それについて報告する。

## 1. はじめに

プレオネ (28 Tau, B8Vne) は、ほぼ 35 年周期でガス円盤形成を連続 3 回続けている稀な Be 型星であり、その 35 年の間に、“Be-shell” 期から Be 期への位相転移をはっきり示す特徴を持つ (Hirata 1995, Tanaka et al. 2007)。プレオネの視線速度解析からは、周期 218 日で大きな離心率  $0.6 \sim 0.7$  をもつ連星軌道が推測されている (shell 吸収線解析 Katahira et al. 1996;  $H\alpha$  輝線 wing 解析 Nemravova et al. 2010)。しかしながら論文出版の時点では、大きな離心率を示唆する現象は認識されていなかった。

2005 年の円盤形成開始後の “Be-shell” 期が発達する過程で、Pollmann & Vollmann (2014) は、伴星の periastron 通過時に、 $H\alpha$  輝線プロフィールのダイナミックな変動を検出した (以下 periastron 現象と呼ぶ)。その後、ヨーロッパのアマチュア観測グループの膨大な継続観測により、同現象の詳細が明らかになった。これは、推測されていた大きな離心率を直感的に認識させる初めての観測となった。以前の観測は時間分解能が低く、periastron 時のデータ数が少ないためノイズ的に扱われていたのである。

現在はウェブサイト上に  $H\alpha$  観測が逐次追加され、時系列の変動が表示されており periastron 現象のチェックが可能である ([http://arasbeam.free.fr/spip.php?page=beam\\_belist2&lang=en](http://arasbeam.free.fr/spip.php?page=beam_belist2&lang=en))。Pollmann & Leonardi (2017) が示したように periastron 時を起点とする現象は 60 日ほど、連星軌道周期 218 日の  $1/3$  もの間、影響が続く。periastron 現象は未だ説明できていないが、Pollmann (2018) は連星軌道周期にほぼ連動する周期を持つ、円盤歳差運動での説明を示唆している。

## 2. 観測とデータ処理

本報告は、 $H\alpha$  線で観測される periastron 現象が  $H\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  線でも起きているのかを、美星天文台 1 m 望遠鏡中分散分光器 ( $H\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  線: 分解能  $R \simeq 10000$ , フレームの波長幅  $\Delta\lambda \simeq 300 \text{ \AA}$ 、前野 2018 年観測と片平 2019 年観測)、及び西はりま天文台 2 m 望遠鏡 MALLS 分光器 ( $H\delta$  線: 分解能  $R \simeq 7000$ ,  $\Delta\lambda \simeq 600 \text{ \AA}$ 、本田 2019 年観測) で短期間追ったものである。また、BeSS データベースのスペクトルも合わせて確認を行った。

美星天文台及び西はりま天文台の観測データ処理は基本的には IRAF を用いて行われた。スペクトルへの連続光設定は、プレオネ特有の吸収線群中に垣間見える連続光の「窓」を手掛かりに、IRAF 及び個人開発のスペクトル処理ソフト (ソフト名: 虹星<sup>\*1</sup>)、連続光設定は連続光位置の指定点を spline3 関数で結ぶ) で作業している。

BeSS データベースからダウンロードしたエシエルスペクトル (Charbonnel 2018, 2019 年観測、口径 0.5 m 鏡、分解能  $R \simeq 11000$ ) は次の様に処理を行った。関係するバルマー線を含むエシエルオーダーとその周辺でのスペクトル勾配、隣り合うスペクトル同士の接続状況から連続光位置を推定し、連続光を直線あるいは単純な折れ線で近似した。しかし、誤差の大きい作業

\*1) シェアウェア, <http://yamaneco.webcrow.jp/nijibosi.html>

である。H $\delta$ 線領域は使用分光器のエシェルオーダーの最高次数レベルに対応し、光量不足でノイズが大きくなっている。そのため、2019年Periastron時後半の11/29, 12/01のエシェルデータも援用した(観測者Guarro Flo氏)。これらのスペクトルの連続光設定作業は虹星ソフトとグラフィックソフトplots32\*2)とで並行して行った。

連続光で規格化したバルマープロフィールを図1に並べている。上から順に、2018年9月periastron時のH $\beta$ 、H $\gamma$ 、そして2019年11月periastron時のH $\delta$ を描いている。各図の横軸は波長 $\text{\AA}$ 、縦軸は規格化強度。なお横軸波長は、Nemravova et al. (2010)の軌道要素(solution 3)に従って主星の視線速度を求め、それを補正した波長としている。(各バルマー線プロフィールは波長精度の高いものではないが、位置が大きくずれていないことにも注意。)

### 3. バルマー輝線H $\beta$ ・H $\gamma$ ・H $\delta$ の変動

観測を行った2018, 2019年のperiastron現象が観測されない期間では、バルマー線のダブルピーク輝線強度比は、H $\alpha$ で $V/R > 1$ 、H $\beta$ , H $\gamma$ , H $\delta$ で $V/R < 1$ との長期変動を示している。

Pollmann & Leonardi (2017) は、H $\alpha$ 輝線が、伴星のperiastron通過時を起点にして輝線強度比を長期変動レベルから急に変化させ $V/R < 1$ と逆転する、かつ、shell吸収線のminimum強度 $I_c$ 、視線速度 $V_r(I_c)$ が劇的に大きく振れる、変動が収まると元の長期変動レベルに戻るという現象を明らかにした。しかも観測可能なperiastron時の4回連続の観測で示したのであった。

このH $\alpha$ の変動を基準にして、図1のバルマー輝線成分にperiastron現象が観測されるかを見てみよう。ただし、波長精度は高くないのでプロフィールシフトについては触れず、強度変化のみについて考える。図のプロフィールラベルは観測日(yyyy/mm/dd)と観測場所(BISEI:美星天文台、MALLS:西はりま天文台、BeSS:BeSSデータベース)で組み合わせ、periastron前のプロフィールを黒色、その後を青・赤色等と変えながら重ね合わせている。periastron日(yyyy/mm/dd)と観測日とを比べながらチェックすると変化が見やすい。

・H $\beta$ 線では、はっきりと輝線強度の変

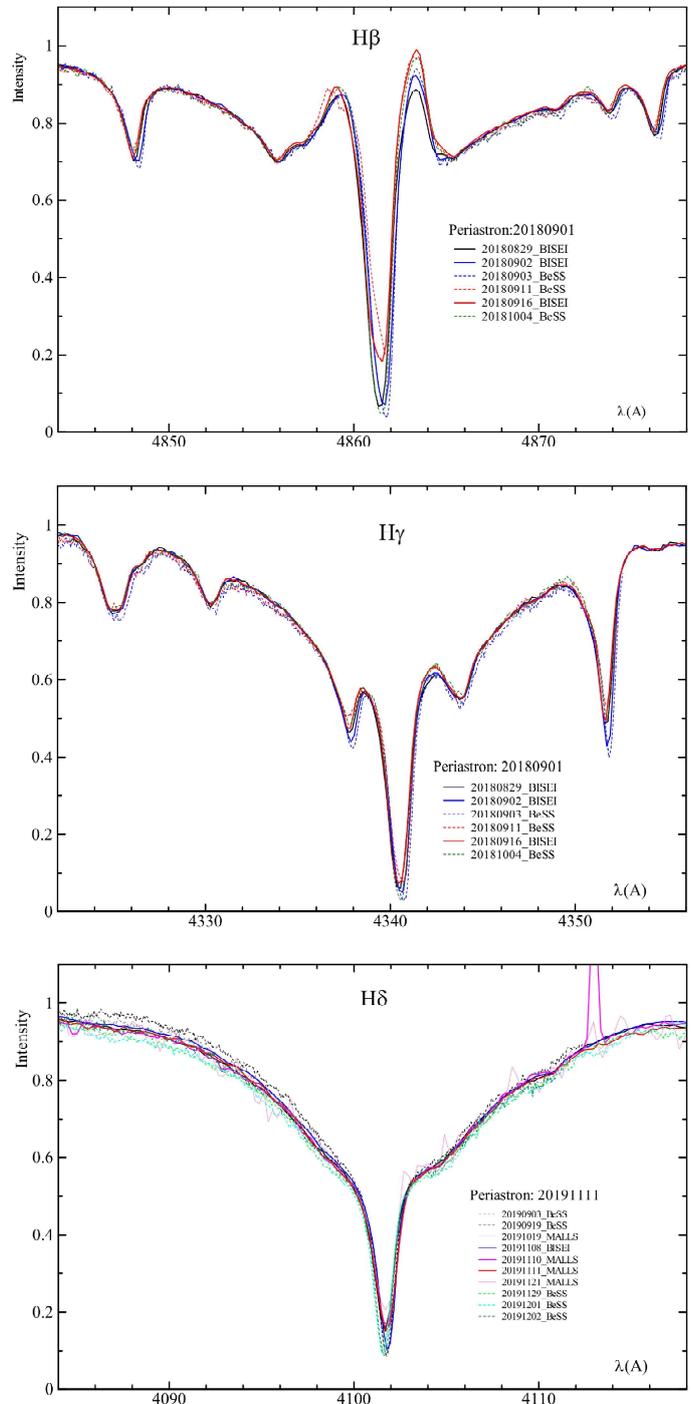


図1 Periastron現象でのH $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ 輝線変動  
横軸は波長 $\text{\AA}$ 、縦軸は連続光で規格化した強度。なお波長は、Nemravova et al. (2010)の軌道要素(solution 3)に従う主星視線速度で補正した波長。

\*2) フリーウェア, <http://hp.vector.co.jp/authors/VA007663/>

化が観測される。しかし、 $V < R$  の傾向は変わらない。そして  $I_c$  が大きくなることも確認できる。 $H\alpha$  にやや似た変動といえる。

- ・  $H\gamma$  輝線成分は  $H\beta$  線に従う、やや弱い変動を示す。
- ・  $H\delta$  線の輝線成分変動はほとんど検出できない。

$H\gamma$ ,  $\delta$  線の  $I_c$  強度変化は光量不足による測定誤差が大きく、詳細な変動確認は難しい。これらの線、特に  $H\delta$  線は更なる観測が求められる。

上記の観測結果は、輝線成分変動の度合いがバルマー輝線の励起ポテンシャルと逆相関する傾向を示している。これは、 $H\alpha$  輝線と比べ  $H\delta$  輝線はより円盤内縁部で形成されるという Be 型星の一般的な観測事実からの推測と矛盾はない。以下では、本稿の観測時期に対応する円盤の成層構造について少し触れてみたい。

Hirata (2007) は前回の円盤活動期に対して、 $H\alpha$  輝線領域の時間変動を推定している。今回の観測時期を、円盤が edge-on で観測される時期に対応させると、円盤半径は光球半径のおおよそ 10 倍である。プレオネの円盤形成活動が毎回同じように繰り返されるとすれば、同じ見積もり値が使える。Iwamatsu & Hirata (2008) は、B1V 型星周りの水素円盤 (等温の viscous Keplerian decretion disk) 中での密度比  $N(\text{NLTE}, i\text{-level})/N(\text{LTE}, i\text{-level})$ 、すなわち” b(i) factor” を計算している。同論文図 3 には空間的な b(i) 分布図が描かれている。b(i=3, 4, 5) の分布をそれぞれ  $H\alpha \sim H\gamma$  輝線の形成領域の広がりで見なすと、10 倍星半径円盤内での輝線形成領域の成層構造が読み取れる。 $H\delta$  線に対応する b(i=6) の分布は論文では表示されていないが同じ傾向と考える。スペクトル型が異なり、かつ、非定常な成長中のプレオネ円盤を観測しているのだが、同様な成層構造が生じていると想像しても間違いではなかろう。伴星 periastron 時に潮汐的な影響を受けるのは  $H\alpha$  線が最も強く、変動の激しさは  $H\delta$  線に向かって小さくなる傾向が自然に納得できる。

#### 4. まとめ

現在の Be-shell 期に見つけられた periastron 現象は、 $H\alpha$  輝線では驚くほどの変動を示している (Pollmann & Vollmann 2014、ほか)。一方、本稿の観測では  $H\beta$ ,  $\gamma$  輝線成分の変動は控えめであり、 $H\delta$  線では輝線変動がほとんどないことが分かった。円盤内縁部の  $H\delta$  輝線形成領域までは伴星の潮汐力が強く及んでいないことが推測される。この現象は見方を変えると、成長しつつあるプレオネ円盤を伴星が periastron 毎に揺らして、円盤変化の情報を与えるものと想像できる。恐らく、過去の観測の詳しい解析は新たな情報をもたらすと期待される。同現象は periastron 時を起点にして連星軌道周期の 1/3 ほどの長い時間継続することを考えると、円盤中に形成されているであろう密度波 ( $V/R$  などの長期変動を示すもの)、例えばスパイラル的な密度波が伴星の periastron で受ける変形と修復という視点からの検討も必要と思われる。最近のプレオネの吸収線強度変化は、この星が Be-shell 期から Be 期へとスペクトル位相を近々移すと予想させる。その位相変化に伴う、periastron 現象の変化も興味深く、継続的な観測が求められる。

**謝辞** 本稿では BeSS database 公開のスペクトルを使用しました。J. Guarro Flo 氏の公開スペクトル (2019 年 11/29, 12/02 観測) を断りなく処理し図に用いています。データ公開に感謝します。本データベースは LESIA, Observatoire de Meudon, France: <http://basebe.obspm.fr> で管理されているものです。また、本稿を準備するにあたり有用なコメントをいただいた平田龍幸氏に感謝申し上げます。

## 文 献

Hirata, R. 1995, PASJ, 47, 195

Hirata, R. 2007, in ASPConf. Ser.361, ActiveOBStars: Laboratories for Stellar and Circumstellar Physics, ed. S. Stefl, S. P. Owocki, and A. T. Okazaki (San Francisco: ASP), 267

Iwamatsu, H. and Hirata, R. 2008, PASJ, 60, 749

Katahira, J.-I., Hirata, R., Ito, M., et al. 1996, PASJ, 48, 317

Nemravova, J., Harmanec, P., Kubat, J., et al. 2010, A&A, 516, 80

Pollmann, E. 2018, IBVS, 63, Num.6239

Pollmann, E. and Vollmann, W. 2014, BABS, 63, 149

Pollmann, E. and Leonardi, M., 2017, IBVS, 62, Num.6199, p.2

Tanaka, K., Sadakane, K., Narusawa, S.-Y., et al. 2007, PASJ, 59, L35