

# 2005年プレオネ円盤形成直前に現れた箱型金属吸収線解釈の試み

片平順一（中之島科学研究所・大阪科学振興協会）

概要：プレオネの連続3回目の円盤形成が観測された2005年には、星減光開始の2か月前、即ち円盤による吸収線が現れるはるか前に、MgII4481線など金属線に平底で箱形的な吸収線が観測された。これは円盤形成開始の前に、光球上空に赤道加速のある差動回転領域が発生していることを示す情報と思われる。箱形吸収線は、光球線が差動回転領域での吸収で変形されると考え、差動回転領域の簡単なモデルでプロフィール再現を試みた。

## 1. 観測データ

Be型星プレオネはプレアデス散開星団中の明るさ $V=5$ 等級、B8Ve型の周期218日を示す分光連星(Katahira et al. 1996, Nemravova et al. 2010)である。主星は自転速度 $V\sin i=286\text{km/s}$ (Fremat et al. 2005)、inclination $=60-65^\circ$ (Hirata 2007, Fremat et al. 2005)を示す、古典的なBe型星で100年以上の観測歴を持つ。1938年以降3回連続して、星の明るさが急激に減光し始め、続いて形成された円盤によるshell吸収線が見えだす過程が2005年にも観測されたのである(田中ほか2007, Tanaka et al. 2007)。プレオネは、B型高速回転星からのガス放出・円盤形成を連続的に見せている特別な星と言える。

本稿で扱うスペクトルは、国立天文台岡山天体物理観測所HIDES エシエル分光器(波長分解能50,000)、および美星天文台の通常分光器・西はりま天文台MALLS分光器(波長分解能はそれぞれ10,000及び7,000)で主に観測されたものである。既に2010年15回天体スペクトル研究会で詳細な報告している。ここではその一部を扱う。なお報告者(所属は2010年時)は、片平順一、増田盛治(徳島県立あすたむらんど子ども科学館)、神戸栄治(国立天文台)、今田明(国立天文台)、野上大作(京都大学)、佐藤文衛(東京工業大学)、井上和俊(元大阪府立箕面高校)、川端善仁(聖母学院高等学校)、川端哲也(名古屋大学)、田中謙一(元大阪教育大学)、鳴沢真也(西はりま天文台)、内藤博之(名古屋大学)、尾崎忍夫(国立天文台)、定金晃三(大阪教育大学)、平田龍幸(元京都大学)である。

今回第3回円盤形成活動期のごく初期、星減光開始の2か月前に、MgII4481線に線央部分が

平らで「箱型」的な吸収線が観測された(以下、箱形吸収線と呼ぶ)。そして、旧円盤輝線が残るFeII線にも同様な吸収線出現を連想させるプロフィールが得られた。これはプレオネ観測で初めてであり、また、プレオネと似た変動を示すBe星でも観測されたことのないものである。

## 2. 観測された箱型吸収線プロフィール

前報告と重なるので簡単に述べる。

### (1)MgII4481線

図1に2003-2005年の変動を示す。MgII4481線の2003年9月観測では光球成分に旧円盤輝線が重なっている。2005年7月では、吸収線全体の幅が広がり、同時に線央部分が平底的な箱形プロフィールに変わる。ただし、旧円盤輝線成分が弱いながら重なっているので、形状認定では注意が必要ではある。同年12月にはプロフィール幅が狭まるが箱形の形状はなんとか維持されている。また円盤形成を示す、微かな $\Delta$ 型CQE(矢印)も線央部分に重なってくる。これは箱形プロフィールと円盤起因のCQEが重なる唯一の観測であり、それ以降はCQEをもつshell成分が発達して箱形プロフィールは確認できなくなる。(CQE:Central Quasi Emission, Hanuschik 1995)

### (2)FeII4233&5169線

図2にFeII4233線の2003-2005年変動を示す。2003年9月は光球吸収線の上に旧円盤輝線成分が重なる。2005年7月では、輝線成分の両脇に深い吸収が現れる。同年12月では新円盤輝線成分でプロフィールが変形されるが、旧輝線成分両脇の深い吸収は痕跡として残っている。

図3はFeII5169線2003-2006年のプロフィール

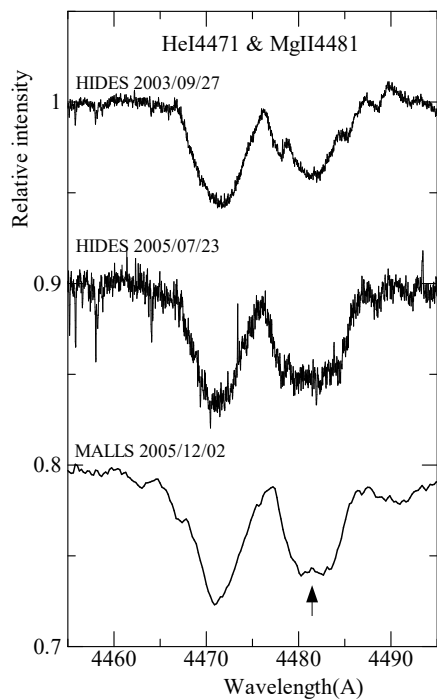


図1. He I 4471 & Mg II 4481 線の年変化 (2003年-2005年) 2003年 Mg II 4481 は光球成分に旧円盤輝線成分が重なるが、2005年7月ではより幅広い平底型の吸収が現れる。12月には少し狭まるが形状は維持される。ごく弱いCQE (矢印)も微かに見える。

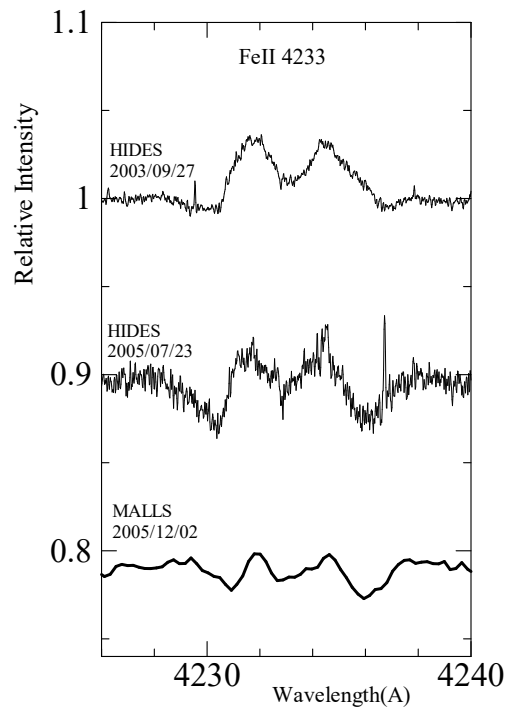


図2. Fe II 4233 線の年変化 (2003-2005年) 2003年9月は光球成分に旧円盤輝線成分が重なる。2005年7月では吸収成分が強まったように、輝線成分両脇に深い吸収が現れる。同年12月では旧円盤輝線成分が弱まるが、新円盤輝線成分が深い吸収成分を隠す。

ルである。2003年9月(破線は光球線推定)、および2005年7月はFe II 4233と似た変動を示す。2006年1月では円盤がさらに成長した状態を示している。ちなみに観察される5本の輝線成分はそれぞれ、中央のCQE(矢印)、その両脇の旧円盤の青側&赤側輝線成分、もっとも外側の新円盤の青側&赤側輝線成分。2005年7月観測の深く強い吸収成分はかき消された状態である。なお、2006/01/20観測は国立天文台ハワイ観測所すばる望遠鏡HDSエシエル分光器(波長分解能100,000)による。上記の光球線推定は、Fremat et al. (2005)のプレオネデータ” $T_{\text{eff}}=12110\text{K}$ ,  $\log g=3.94$ ,  $V\sin i=286\text{ km/s}$ ”を用いSptoolソフト(Takeda)で計算している。以下でも同データを使用する。

### (3) 箱形吸収線プロフィールの共通性

箱形吸収線を視線速度目盛でプロフィールを描いてみる。図4に2005/07/23観測のMg II 4481線、Fe II 4233&5169線を上から順に描いた。Mg II 4481線は、平底の広がり $\pm 200\text{ km/s}$ と読み取れる。同じくFe II 4233&5169線の輝線成分両脇の吸収minimumは $\pm 200\text{ km/s}$ を示す。Mg II 4481

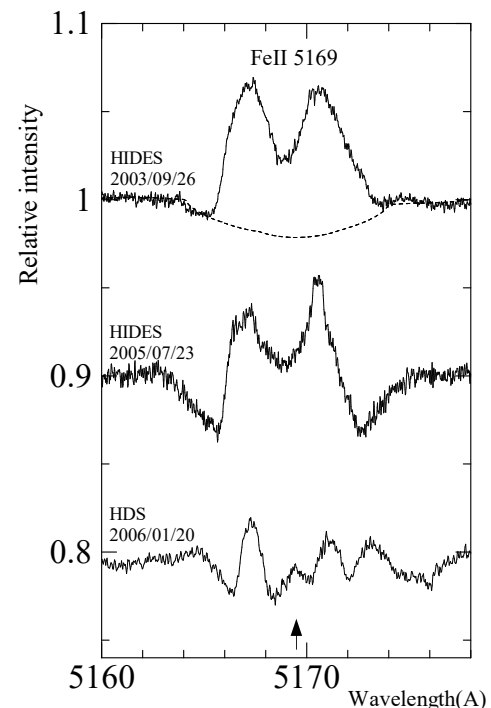


図3. Fe II 5169 線の年変化 (2003-2006年) 2003年9月は光球成分に旧円盤輝線成分が重なる。2005年7月では吸収成分が強まったように、輝線成分両脇に深い吸収が現れる。2006年では円盤成長で、輝線両脇の強い吸収は消える。

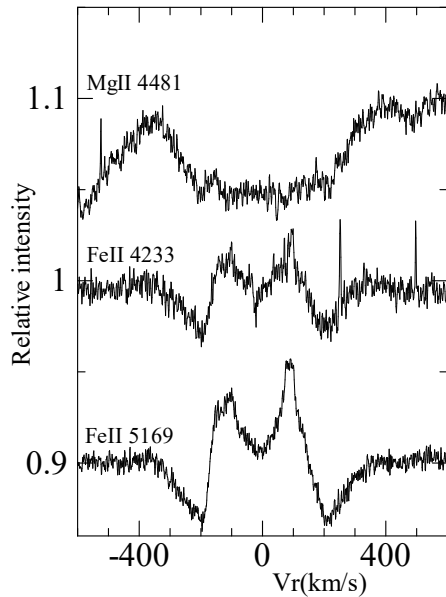


図4. HIDES 2005/07/23 観測 MgII4481 と FeII 線視線速度目盛で表示すると、MgII4481 プロフィールの平底の範囲は  $\pm 200$  km/s に及ぶ。FeII 線輝線成分両脇に現れる吸収成分エッジの視線速度は MgII4481 線と同じく  $\pm 200$  km/s を示す。

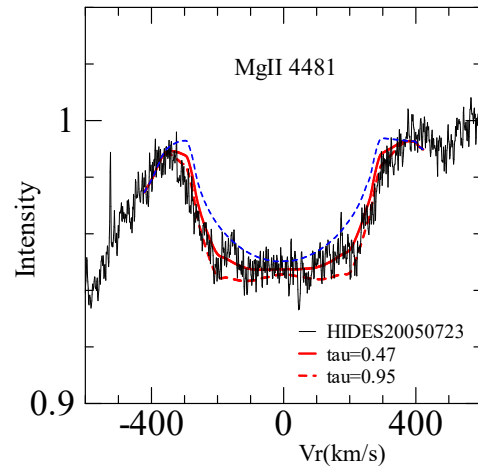


図5. MgII4481 線 (2005 年 7 月観測) の球殻差動回転領域モデルでの近似 箱形プロフィールの形状は、差動回転パターンと inclination で主に決まる。 $\tau$  値は計算プロフィールの光学的厚さ、青波線は光球成分で  $\tau$  が微小として計算。

線での特徴的な数字がやはり現れる。

### 3. プロフィール再現の試み

#### 3.1 簡易モデル：光球上空の差動回転領域

箱形吸収線は初期観測が円盤形成活動のごく初期という限定された観測時期から円盤成分ではないといえるし、通常的光球成分とまったくプロフィールが異なる。従って非鋼体回転へ考えを広げねばならない。具体的には差動回転を取り入れることが思い浮かぶ。箱形吸収線の印象からは、「光球上空」に新たに生じた光学的に薄い領域で光球線が特殊なパターンで吸収変形されていると思われるのである。

この想定に従い、鋼体回転する光球を、薄いガスの差動回転領域が球殻状に取り巻くモデルを採用する。そして同領域は等温・等密度と単純化する。差動回転速度は、赤道で星の  $V_{\text{crit}}=420$  km/s に対応する速度を持ち、極方向に回転速度が直線的に減少するものとする。光球の回転速度は  $V \sin i=286$  km/s を採用。両数値は Fremat et al. (2005) の示すプレオネパラメータから引用している。

光球表面からの光は、上のような球殻状差動回転領域中の等視線速度線上で吸収を受けて、観測される箱形吸収線が形作られるとして計算

を行う。光球面上に射影した上記の等視線速度線の分布は、仮定する差動回転速度の減少率、および星の傾き inclination に強く依存する。また球殻状差動回転領域の光学的厚さは小さいとする。同領域中での吸収プロフィールはガウス型とし、そのドップラー速度は一定とする。

よって簡易モデルでのパラメータは、

- 差動回転速度パターン  $\propto (1-kz)$   
( $k$  は定数、 $z$  は赤道面からの高さ)
  - 球殻の厚さ  $\Delta R$ 、ラインごとの光学的厚さ  $\tau$
  - 星の傾き inclination
- となる。

#### 3.2 パラメータフィッティングの結果

採用パラメータ値

$$k=0.5 \pm 0.05, \text{ inclination}=65 \pm 5 \text{ 度}$$

$$\tau \simeq 0.5-1.0$$

( $\Delta R=0.1 R_{\text{star}}$  は固定)

MgII4481 線の再現の様子を図5に示した。観測とそれにフィットさせた2つの  $\tau$  値のプロフィール、及び  $\tau$  がゼロとして求めた光球線を描いている。計算は、光球上各点の MgII4481 プロフィールを sptool (ATLAS9) から引用し、吸収プロフィールのドップラー速度  $V_d$  は 5-10 km/s の範囲使用、という条件で行った。図5には

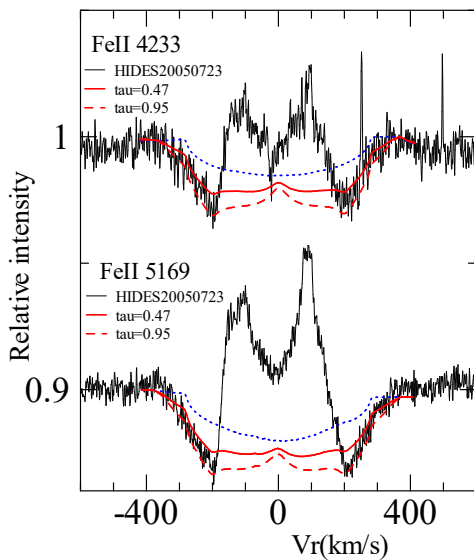


図6. FeII線(2005年7月観測)の球殻差動回転領域モデルでの近似 図5と同様。モデル計算結果はwing強度で規格化している

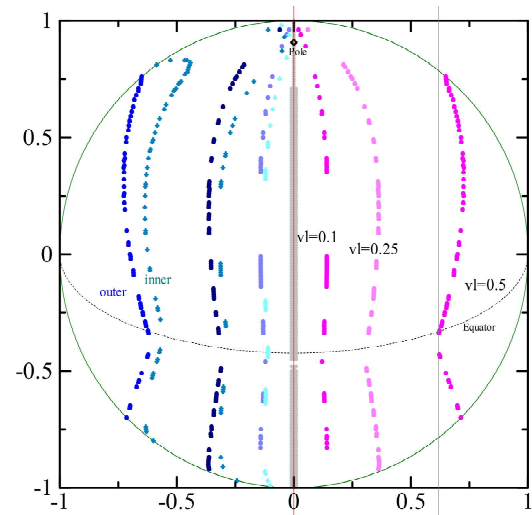


図7. 光球面に投影した規格化等視線速度線採用したパラメータで現れる等視線速度線 $v_l$ を概略描いている。赤色系統は正の視線速度で差動回転領域表面のもののみであり、青色系統は負の視線速度で、表面と内側でのカーブを両方描いている。子午面に対して対称性を持つ。

$V_d=5\text{km/s}$ のケースを描いているが、プロフィールの $V_d$ 依存性は強くはない。パラメータフィッティングで重要な $k=0.5$ ほどが、なぜいいのかという差動回転運動の物理は理解できていない。なお、Maunderタイプ $\propto(1-\text{const}\cdot z^2)$ の差動回転では観測プロフィールの平底「幅」が説明できない。

上記の結果を受けHIDES2005/07/23観測のFeII4233&5169両線にも同様なモデル・手法を適用した(図6)。±200km/sの吸収エッジがフラットボトムの両端で概略説明できる。計算したスペクトルは、wing強度で規格化して観測と重ねている。

採用したモデルパラメータによる光球面に投影したガス殻等視線速度線( $v_l=V_r/420$ )の分布概略を図7に描いている。例えば $v_l=\pm 0.5$ の等視線速度線(ガス殻のinner & outer)が光球面を覆う面積は、 $v_l=\pm 0.25$ の面積と比べても一定の大きさがある。それは光球光の吸収度合いを示しており、プロフィールの±200km/sほどの強度に対応する。

#### 4. まとめ

図5, 6はごく粗いモデルでも、主に差動回転運動と inclination という2つのパラメータを

選ぶならば、同じ設定で箱形プロフィールが、各ラインごと小さな $\tau$ 値で大まかなながら再現されることを示している。光学的に薄いガス溜りという想定通り、背景の光球吸収線が吸収変形されることを示したことになる。簡易モデルによる初期解釈として、「箱型吸収線は差動回転領域の発生を示す」と判断できそうに思われる。ご批判を乞う。

#### 文献

- Fremat, Y., Zorec, J., Huvert, A.-M., Floquet, M. 2005, A&A, 440, 305
- Hanuschick, R. W. 1995, A&A, 295, 423
- Katahira, J., Hirata, R., Ito, M., Katoh, S., Ballereau, D., & Chauville, J. 1996, PASJ, 48, 317
- Nemravova, J., Harmanec, P., Kubat, J., Iliev, L., Yang, S., Ribeiro, J., Slechta, M., Kotkova, L., Wolf, M., Skoda, P. 2010, A&A, 516, 80
- Takeda, Y., Sptool soft, <http://optik2.mtk.nao.ac.jp/~takeda/sptool/>
- 田中謙一, 定金晃三, 鳴沢真也, 坂元誠, 内藤博之, 2007, 天文月報110, 573
- Tanaka, K., Sadakane, K., Narusawa, S., Naito, H., Kambe, E., Katahira, J., Hirata, R. 2007, PASJ, 59, L35