

# VY CMa のスペクトル及び偏光の時間変化

松田健太郎\*、秋田谷洋†、池田優二‡、関宗蔵、長俊成§、  
川端弘治¶、岡崎彰||、平田龍幸

2006年12月3日

## 1 VY CMa

VY CMa は赤外域で非常に明るい赤色超巨星で、温度は  $T_{\text{eff}} = 2800\text{--}3500\text{ K}$  (Le Sidaner & Le Bertre; 1996, Massey et al.; 2006 他) と低い。太陽系からの距離は  $d \sim 1500\text{ pc}$  と見積もられ (Lada & Reid; 1978)、 $\dot{M} \sim 1\text{--}4 \times 10^{-4} M_{\odot}\text{yr}^{-1}$  (Danchi et al.; 1994 他) という非常に大きい質量放出率を示す。その大規模な質量放出で、星の周囲に非対称かつ顕著な nebulosity を形成し、nebulosity の中には、arc や knot などの特異な構造が散見される (Smith et al.; 2001)。

また、VY CMa には晩期型星には珍しく、強い輝線が何本も見える。それらは、Na I、Ca I、K I などの中性金属原子の線が主で、輝線が出てくる源は星周領域にあると考えられている (Herbig; 1970)。

VY CMa の周りには、nebulosity の存在と、大きな質量放出率とから、星からの光を散乱させる粒子が大量に存在することが期待される。また、中心星以外に輝線源があることから、輝線に於ける偏光特性が、それ以外の成分の偏光特性と異なっていることが考えられる。そこから、輝線を発する星周領域の物質構造に対しより詳しい知見を得る為、輝線に於ける偏光を検出すべく、VY CMa の高分散分光偏光観測を行った。

次節では観測した偏光スペクトルとその顕著な特性について示す。3節では幾つかの特徴的な偏光成分の中から Na I D 線 ( $\lambda\lambda 5890, 5896$ ) に着目し、その時間変化について論じる。最後に4節でまとめと、Na I D 線の偏光が示唆する輝線生成の条件から、VY CMa に於いて未だ解明されていないトピックについてコメントする。

## 2 VY CMa の偏光スペクトル

観測は、線スペクトル偏光分光装置 (LIPS, Ikeda et al.; 2002) をマウナケア山のハワイ大学 2.2m 望遠鏡に取り付けて、2002年3月と同10月に実施した。3月期は SN $\sim$ 300。10月期は SN $\sim$ 200 程度を達成し、偏光スペクトルを得ることが出来た。図1は2002年3月に観測した偏光スペクトル  $I', p, \theta$  を、取得した全波長域について波長の関数としてプロットしたものである。

---

\*西はりま天文台

†国立天文台 ELT プロジェクト室

‡Photocoding

§東北大学 天文学教室

¶広島大学 宇宙科学センター

||群馬大学 教育学部

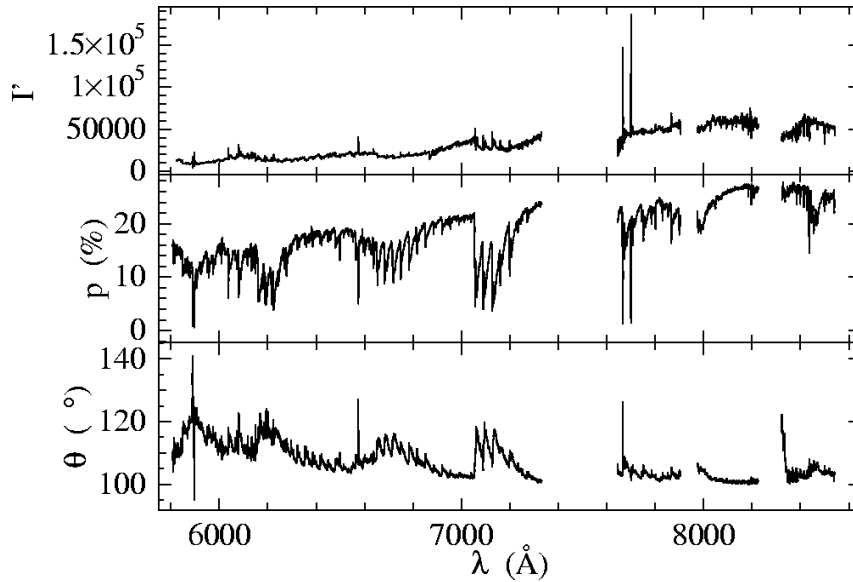


図 1: LIPS 観測による全波長域での VY CMa の偏光スペクトル。上段が強度 (ADU)、中段が偏光度 (%), 下段が偏光方位角 ( $^{\circ}$ ) を波長の関数としてプロットした。

LIPS を用いることで  $5800\text{\AA}$  から  $8500\text{\AA}$  までの偏光スペクトルを一度に取得することができ、Na I  $\lambda\lambda 5890, 5896$ 、Ca I  $\lambda 6573$ 、K I  $\lambda\lambda 7665, 7699$  といった輝線の成分と、TiO などの幾つかの分子バンドの偏光成分を検出することに成功、それも 1 回の観測で同時に得られた。各輝線、分子吸収バンドでは、連続光成分の偏光に対して大なり小なりの変動があり、それらはきちんと分解されている。

### 3 偏光プロファイルと時間変化

偏光を検出することに成功した成分の中から、Na I  $\lambda\lambda 5890, 5896$  を取り上げる。図 2 は該当する波長域を拡大したもので、左図が 2002 年 3 月期、右図が 2002 年 10 月期に取得したデータによる。

まず、強度スペクトルを見ると、「輝線」部分が 3 月期に比べ 10 月期では非常に弱くなっていることが見てとれる。偏光フラックス、偏光度には目立った時間変化は見られないが、偏光方位角では  $D_1$  線と  $D_2$  線とで異なる傾向をもって周辺波長域からのずれを示しており、全体として「S 字」的な曲線を描いている。そして、その傾向が 3 月期と 10 月期で異なっている。

Na I  $D$  線周辺は TiO 分子バンドであるが、 $D$  線固有の成分以外の輝線、分子バンドに於ける偏光方位角は全て同じ傾向の緩やかな時間変化を示しており、また他の輝線の強度はここまで目立って弱くなっていることはない。そして  $D$  線では、輝線が消え偏光の「S 字」プロファイルに関する部分が他成分とは異なる傾向の時間変化を示す。 $D$  線の偏光特性を Stokes  $q-u$  平面にプロットしてみると、 $D_2$  ループが潰れた時間変化がよくわかる (図 3)。

このことから、2 期の間で変動した Na I  $D$  線の輝線部分と偏光の「S 字」プロファイルの成分に関係があると考えられる。偏光特性で、特に共鳴二重線においてこのような「S 字」曲線を描く例は、太陽の分光偏光観測で検出された例があり、上層大気に於ける共鳴散乱での量子力学的干渉

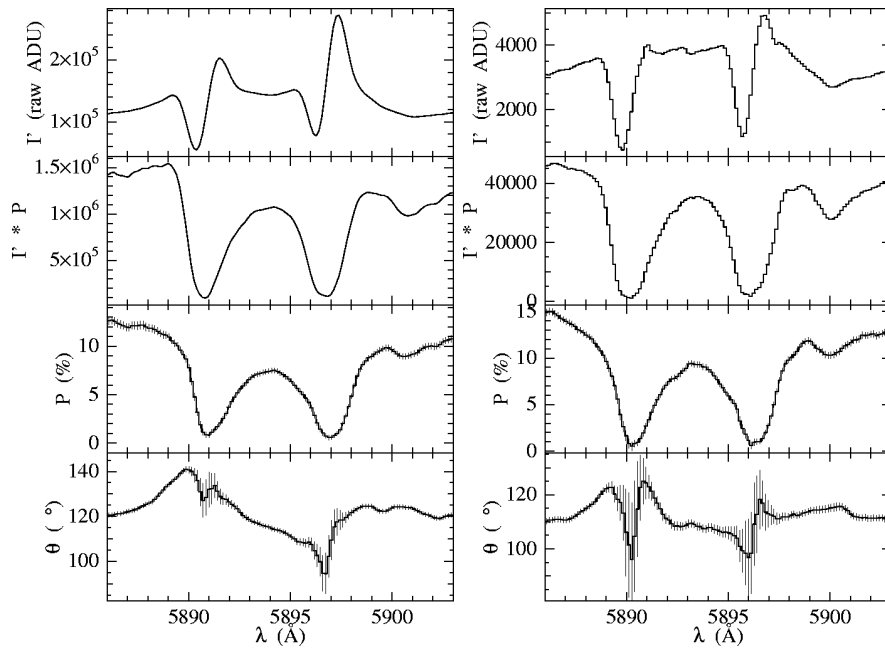


図 2: Na I  $\lambda\lambda 5890, 5896$  二重線の偏光プロファイル。上から強度 (ADU)、偏光フラックス (強度  $\times$  偏光度)、偏光度 (%)、偏光方位角 ( $^\circ$ ) を波長に対してプロットした。

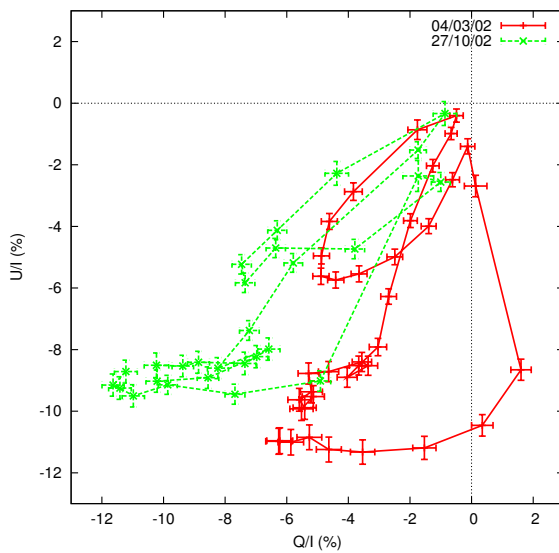


図 3: Na I  $\lambda\lambda 5890, 5896$  二重線の偏光特性を  $x$  軸に  $q = \frac{Q}{I}$ 、 $y$  軸に  $u = \frac{U}{I}$  をとってプロットしたもの。点の違いは波長域の違いを示し、赤い点と線が 2002 年 3 月期、緑の点と線が同 10 月期を表す。

が、このような「S字」プロファイルを生む原因と考えられている (Stenflo; 1980)。VY CMa においても Na 原子の所在は星周領域にあるとみられ、共鳴は熱的相互作用以外では有力な励起メカニズムの1つと言って間違いない。

すなわち、VY CMa に見られる Na I D 線の少なくとも輝線部分は、共鳴散乱による寄与が大であると考えられる。

## 4 まとめ

高分散分光偏光装置 LIPS を用いて VY CMa の分光偏光観測を実施。VY CMa に顕著な特徴と言える金属線に於ける固有偏光成分を初めて検出することに成功した。その金属線の中で、Na I  $\lambda\lambda 5890, 5896$  二重線の時間変化に着目し、VY CMa に見られる輝線の内基底状態から励起される二重線の主な励起メカニズムが共鳴散乱であることの示唆を得た。

これまで、D 線の輝線は熱的相互作用による励起を前提として温度等を決め存在領域が推定されてきた (Wallerstein; 1958) が、共鳴散乱が主な励起メカニズムならば、Na 原子存在領域の物理パラメータが変わる可能性があり、VY CMa の星周構造モデルを見直す必要が出てくる。それがどのように変わるか、或は変わらないかの検証は今後の課題である。

また、強すぎる K I 輝線を解決するモデルの一つとして Humphreys et al.(2005) が提唱したのが共鳴散乱を介した選択的な掩蔽の緩和であり、共鳴線の輝線が主に星周領域での共鳴散乱で生じるならば、そのモデルを支持する材料の一つともなる。

## 参考文献

- [1] Danchi, W.C., Bester, M., Degiacomi, C.G., Greenhill, L.J., and Townes, C.H. 1994, *AJ*, 107, 1469
- [2] Herbig, G.H. 1970, *Mem. Soc. R. Sci. Liège*, 19, 13
- [3] Humphreys, R.M., Davidson, K., Ruch, G., and Wallerstein, G. 2005, *AJ*, 129, 492
- [4] Ikeda, Y., Akitaya, H., Matsuda, K., Kawabata, K.S., Seki, M., Hirata, R., and Okazaki, A. 2003, *SPIE Proc.*, 4843, 437–447
- [5] Lada, C.J., and Reid, M.J. 1978, *ApJ*, 219, 95
- [6] Le Sidaner, P., and Le Bertre, T. 1996, *A&A*, 314, 896
- [7] Massey, P., Levesque, E.M., and Plez, B. 2006, *ApJ*, 646, 1203
- [8] Smith, N., Humphreys, R.M., Davidson, K., Gehrz, R.D., Schuster, M.T., and Krautter, J. 2001, *AJ*, 121, 1111
- [9] Stenflo, J.O. 1980, *A&A*, 84, 68
- [10] Wallerstein, G. 1958, *PASP*, 70, 479