

近赤外高分散分光器 WINERED による LBV 星 P Cygni の非球対称な突発的質量放出現象の検出

水本 岬希 (東京大学大学院 理学系研究科)

Abstract

高輝度青色変光星 (LBV 星) は、大質量星が主系列星から進化した姿であり、大規模な質量放出により表層の水素ガス等が剥ぎ取られた後、Wolf-Rayet 星を経て超新星爆発を起こすと考えられている天体である。LBV 星の進化においては、特に突発的な質量放出が不可欠な働きをしていることが最近の研究で明らかになっている。一方で、LBV 星は短い大質量星の一生の中でもごく一期間の姿であるため、知られる天体は非常に少なく、その突発的質量放出に関しては不明な点が数多く残されている。この現象は衝撃波を伴っていると考えられるが、これには近赤外域の金属の禁制線の観測が適している。そこで我々は、新たに開発された近赤外高分散エシエル分光器 WINERED を用いて、我々から最も近い LBV 星である P Cygni の分光観測を行い、9100–13500 Å の波長域で波長分解能 $\Delta\lambda/\lambda = 28,300$ の高分散スペクトルを取得した。その結果、[FeII] $\lambda 12570$ の輝線が“double-peak”の形状をしていることが判明した。この輝線の解析により、我々は、今まで知られていなかった P Cygni の突発的質量放出現象を新たに検出し、またこの現象が非球対称なものであることを明らかにした。この結果は、P Cygni の突発的質量放出の中心星付近での構造に初めて迫るとともに、WINERED 分光器の性能の高さを示した。

1 Introduction

高輝度青色変光星 (LBV 星) は、大質量星が主系列星から進化した姿であり、質量放出の形で表層の水素ガスなどを失った後、Wolf-Rayet 星を経て超新星爆発を起こすと考えられている天体である。質量放出の規模や形は様々であるが、定常的な質量放出ではなく短時間で急激に起こる突発的な質量放出によって進化のプロセスが進んでいくとの認識が広まっている (Smith 2008a)。

LBV 星は短い大質量星の一生の中でもごく一期間の姿であるため、知られる天体は非常に少ない。その中で、P Cygni は我々から 1.7 kpc の距離にある最も近い LBV 星であり (Najarro et al. 1997)、加えて 1600 年に爆発的な質量放出を起こしていることが知られている (Lamers 1986) ため、同じく爆発的な質量放出の存在が知られている η Carinae (Humphreys et al. 1999) とともに、集中的に観測がされてきた。

突発的質量放出は瞬時に起こるため、観測的に直接とらえるのは困難である。そのため、従来は主に質量放出から数百年程度時間が経ち、撮像できるほど

大きく広がった放出物質を観測する手法が取られていた (Barlow et al. 1994; Smith & Hartigan 2006)。だが、この方法では質量放出直後の物質の運動の様子を見ることはできない。一方で、分光観測により放出された物質の分布や速度を調べることで、撮像できるほど大きく広がる前の突発的質量放出に関しても、その情報を得ることが出来ると考えられる。この方法を使えば、質量放出直後の物質の運動の様子を見るのが可能である。

そこで我々は、新たに開発された WINERED 分光器 (Ikeda et al. 2006; Yasui et al. 2006) を用いて、近赤外域で P Cygni の高分散分光観測を行った。WINERED は 9100 Å から 13500 Å の、可視と赤外の狭間となる波長域をカバーしているが、この領域は各種輝線に富んでいる一方で、可視域と比べ他の輝線の影響が少ないため、放出された物質の運動の情報を持つ輝線の観測に適している。

2 Observations

我々は、2012 年 9 月 14 日に京都産業大学の荒木 1.3m 望遠鏡で P Cygni の分光観測を行った。分光器には WINERED を用い、9100–13500 Å の波長域でスペクトルを得た。WINERED は 2048×2048 の InSb アレイを用いており、spatial scale は 0.82" である。スリット幅が 1.65" のスリットをあて (図 1)、波長分解能 $R = 28,300$ 、速度分解能 11km s^{-1} を得た。積分時間は 30 秒で、観測時のシーイングは 3–5" である。本観測は、WINERED のエンジニアリング観測の一環として行われ、故に今回の解析は WINERED 初のサイエンスデータ解析という役割も担っている。

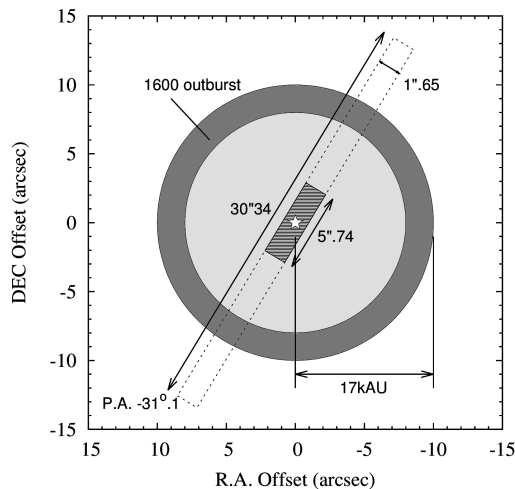


図 1: 今回の観測におけるスリットの位置。横軸と縦軸は、P Cygni の位置を原点にとった赤経と赤緯を表している。点線で囲まれた長方形がスリットの位置を示しており、その中の斜線で塗られている 5.74" の領域を足しあわせてスペクトルを得た。半径 8–10" のところに示した濃い灰色の円環は、1600 年の爆発的質量放出によって形成された殻構造を示している (Smith & Hartigan 2006)。

3 Results

図 2 に今回の観測で得られたスペクトルを示す。今回、このスペクトルの中に 3 種類のラインプロファイルが見られた。1 つ目は、HI や HeI の “P Cygni profile” であり、これは恒星風が光学的に厚い天体に典型的に見られる。HI $\lambda 10830$ では -300km s^{-1} の

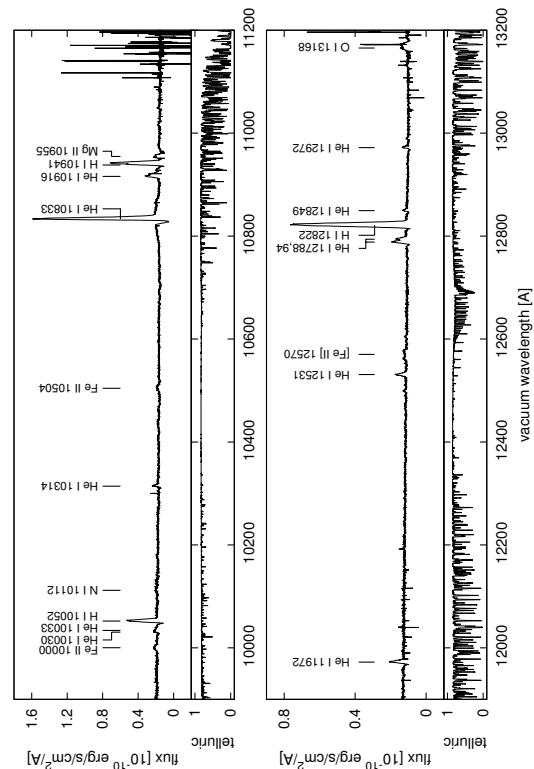


図 2: WINERED によって取得された P Cygni とその星雲の近赤外域のスペクトル。横軸は真空中の波長を示している。スペクトル自体は全観測波長域で取得したが、大気吸収が強い領域はこの図では示していない。A0 型標準星のスペクトルから求めた大気吸収率も下に示している。

成分が見られる。2 つ目は、OI や FeII などの金属の許容線のラインであり、これらは台形のようなプロファイルをしている。3 つ目は、[FeII] の禁制線のラインであり、これは “double-peak” のプロファイルをしている。この “double-peak” のプロファイルは過去の観測では見受けられなかったものである。OI $\lambda 13168$ と [FeII] $\lambda 12570$ のラインプロファイルを図 3 に示した。

4 Discussion

今回我々は、[FeII] のラインプロファイルに着目した。200km s⁻¹ の速度幅を持つ [FeII] の輝線は過去の可視域の観測でも見受けられていたが、そのプロファイルは低分解能故に “flat-topped” 型だと見なさ

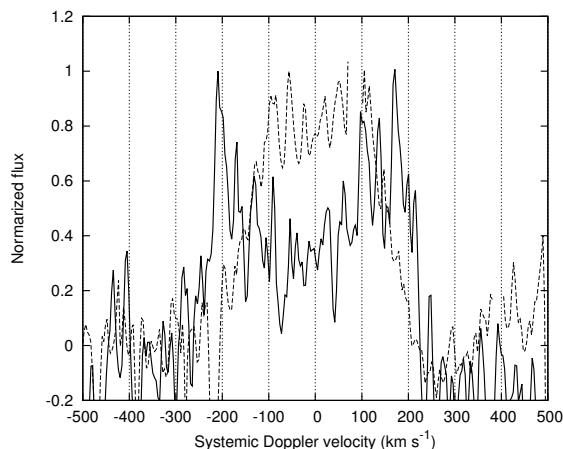


図 3: 衝突励起された [FeII] の輝線と蛍光 OI の輝線の速度プロファイル。実線は [FeII] $\lambda 12570$ の “double-peak” のプロファイルを示している。破線は OI $\lambda 13168$ の台形のようなプロファイルを示している。これらのプロファイルは形状が大きく異なっており、これら 2 つの輝線が異なる領域及び機構で生じていることを示している。

れており、速度一定の一様な領域から放射されていると考えられていた (Stahl et al. 1991)。だが、その説では今回取得された “double-peak” の形状を説明することは出来ない。故に、どのような機構によってこのラインプロファイルが生成されているのかを再考する必要がある。

まず真っ先に疑うべきは、1600 年に起こった爆発的質量放出によって作られた殻構造を見ているのではないか、ということである。この殻構造は近赤外で強い鉄の禁制線を放射することが知られている (Smith 2001)。だが、今回得られたスペクトルから、[FeII] には 140 km s^{-1} と 200 km s^{-1} の 2 つの速度成分があることが分かった。前者は 1600 年の爆発的質量放出に相当 (Barlow et al. 1994; Smith & Hartigan 2006) し、後者は本観測で初めて分離された。

また、過去の観測において、中心星から $2''$ の領域の外に [FeII] の 200 km s^{-1} の成分は受かっていない (Barlow et al. 1994; Meaburn 2001; Smith & Hartigan 2006)。これは、[FeII] の 200 km s^{-1} の成分は中心星の近く (3.5 kAU 以内) で放射されていることを示している。このことから、大きく広がった領域からの一様な放射がスリットによって切り取られているために “double-peak” が生じているという可能性は消える。故に、我々は、[FeII] は速

度一定の一様な領域から放射されているという従来の説を捨て、[FeII] の放射領域は非球対称な形状をしていると結論付けた。

加えて、物理的特性から、この輝線は衝撃波によって生じるものであることが分かっており (Hartigan et al. 2001)、実際に、定常的な質量放出を示す金属の許容線のラインとは形状が大きく異なっている (図 3 参照)。このことから、この [FeII] の輝線は突発的質量放出に伴う衝撃波によって生成されたと考えられる。ここで、この衝撃波の速度が 200 km s^{-1} で一定であったと仮定すると、放射領域が中心星から 3.5 kAU 以内ということより、この質量放出は 1930 年以降に起こったものであると計算できる。1900 年代の突発的質量放出は本観測によって初めて観測された。

さて、本解析のみからは、P Cygni の突発的質量放出の非球対称性が実際にどのような形をしているのかを決定することは出来ない。だが我々は、P Cygni の突発的質量放出の形状は、同じ LBV 星である η Carinae と同様に双極型をしていると予想している。 η Carinae では 1840 年代と 1890 年代に 2 回の突発的質量放出を起こしているが (Morris et al, 1999; Ishibashi 2003)、そのどちらも質量放出時に特定の軸方向に物質を放出しているということが明らかになっている (Smith 2005, 2006)。もし軸方向への質量放出が LBV 星一般で見られるものだとするならば、我々の観測した P Cygni の非球対称な突発的質量放出の構造が双極型である可能性が高く、LBV 星の突発的質量放出が同じメカニズムによって生じている可能性が示唆される。

5 Conclusion

P Cygni の近赤外領域での高分散分光観測の結果、以下の結論を得た。

1. [FeII] のラインプロファイルは “double-peak” の形をしている。
2. [FeII] は中心星から 3.5 kAU 以内の領域から放射されており、また、突発的質量放出によって生じていると考えられる。
3. 1900 年代に発生した P Cygni の突発的質量放出を初めて検出した。

4. P Cygni の突発的質量放出直後の形状が非球対称であることを示した。
5. この結果は、LBV 星の爆発現象の構造解明につながると思われる。
6. WINERED の初のサイエンスデータ解析を行い、その性能を実証した。

Acknowledgement

本解析で用いたデータは京都産業大学神山天文台で取得されました。また、本解析を行うにあたり、東京大学および京都産業大学の WINERED チームの方々から多大なるご助言、ご指導を受けました。

Reference

- Barlow, J., Drew, J. E., Meaburn, J., & Massey, R. M. 1994, MNRAS, 268, L29
- Hartigan, P., Raymond, J., & Pierson, R. 2004, ApJ, 614, L69
- Humphreys, R. M., Davidson, K., & Smith, N. 1999, PASP, 111, 1124
- Ikeda, Y., Kobayashi, N., Kondo, S., Yasui, C., Motohara K., & Minami A. 2006 Proc. SPIE, 6269, 121
- Ishibashi, K. et al., 2003, AJ, 125, 3222
- Lamers, H. J. G. L. M. 1986, IAUS, 116, 157
- Markova, N., & de Groot, M. 1997, A&A, 326, 1111
- Meaburn, J., 2001, ASPC, 233, 253
- Morris, P. W., et al. 1999, Nature, 402, 502
- Najarro, F., Hillier. D. J., & Stahl, O. 1997, A&A, 326, 1117
- Smith, N. 2001, ASPC, 233, 125
- Smith, N. 2005, MNRAS, 357, 1330
- Smith, N. 2006, ApJ, 664, 1151
- Smith, N. 2008, ASPC, 388, 129
- Smith, N., & Hartigan, P. 2006, ApJ, 638, 1045
- Stahl, O., Mandel, H., Szeifert, Th., Wolf, B., & Zhao, F. 1991, A&A, 244,467
- Yasui, C., Ikeda. Y., Kondo S., Minami, A., & Motohara, K. 2006 Proc. SPIE, 6269, 150