

輝線星研究の最近の動向

2. 高輝度早期変光星 (LBV)



小 暮 智 一

〈〒614-8322 京都府八幡市橋本狩尾 1-10〉

e-mail: tkogure@pa2.so-net.ne.jp

高輝度早期変光星 (LBV=Luminous Blue Variables) は HR 図上で最も高輝度で F 型より早期型の領域に分布する変光星である。LBV はどれも顕著な輝線と大きな質量放出率を示し、その特徴は大きな増光幅と長い時間スケールをもつ爆発現象である。最近最も注目されているのは η Car の近星点通過に伴う種々の活動的現象である。2003 年 6 月の近星点通過の際は多くの観測網が敷かれたが、近星点付近で何が生じたのかまだ謎は続いている。ここでは η Car のイベントを中心に、P Cyg, AG Car など主な LBV 星の恒星風、連星相互作用および星の進化について最近の動向をまとめてみたい。

1. η Car の観測とモデル

1) η Car の長期的変動と 2003.5 イベント

最近、Frew¹⁾ は古い記録を調べて 16 世紀末から 2000 年に至る竜骨座 η 星 (η Car) の光度変化を丹念に追跡している。この星の最初の記述は 1595 年にイギリスの探検家 Robert Hue の報告に現れる。 η Car は当時、3 等級台で比較的安定していたが、1837 から 1856 年にかけてグレート・エラプションと呼ばれる大爆発 (極大光度 ~ -1.2 等級) を経て急速に減光した。1890 年代にも小爆発を起こしているが、20 世紀初頭には 8 等級まで暗くなっている。その後、現在まで微小変動を繰り返しながら緩やかな増光が続き、全体として 16 世紀の明るさに近づいている。1996 年になって微小変動の中から連星運動が確認され、その後、速度曲線の解析などから周期 5.52 年、離心率 $e = 0.75$, $a \sin i = 16.6$ AU の連星系であることが導かれた。主星 η Car A の質量は $70 M_{\odot}$ と推定され、銀河系では最大質量をもつ星の仲間である。伴星 η Car B も質量 $30 M_{\odot}$ の早期型巨星である。この

連星系は近星点近くで種々のイベントを引き起こすが、イベントは周期ごとに増光、輝線消失、X 線、電波強度極小など種々の現象がそれぞれに異なった形で現れる²⁾。2003 年中頃のイベントも予報されていたので、世界各地で数多くの観測プロジェクトが立ち上がり、同年 6 月 27 日の X 線の急激な消滅を中心に 5 月ごろから 8 月にかけて種々の変動現象が観測された。

2003.5 イベント前後の光度変化は Fernández Lajús ら³⁾によると BVRI のどのバンドでも数カ月前から緩やかな増光が始まりほぼ近星点通過時に極大になってから 10 日ほど急激な減光のあと再び増光に転じている。V バンドでは 0.25 等級増光、0.15 等級の減光の後、再び増光に移っている。全体としては 19 世紀以来の緩やかな増光が続いている。このイベントの特徴をよく表すのは Martin ら⁴⁾によってまとめられた変動図である。それを図 1 に示そう。観測された期間は 2003 年 2 月から 12 月までである。

図の縦破線 (6 月 22 日) は伴星の近星点通過日を示す。図 1(a) は H バンドの光度変化である。

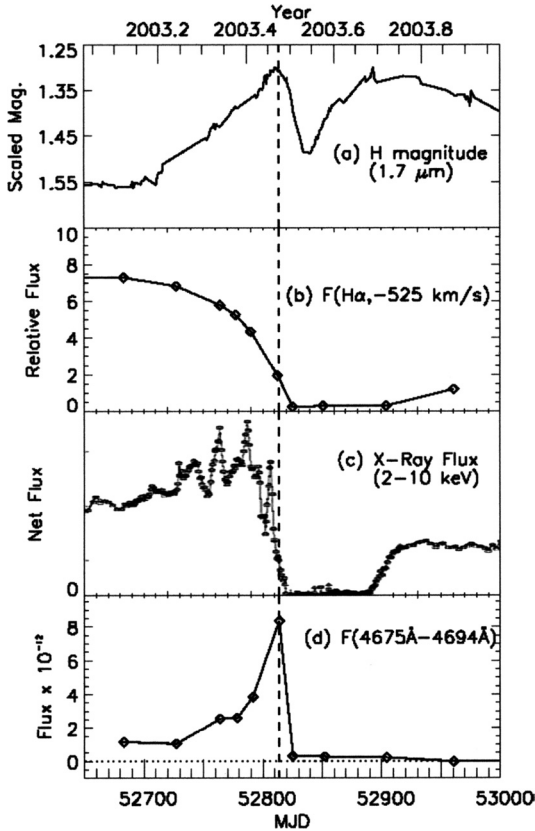


図1 η Car 近星点近傍 (2003.1-2003.9) における変動図. (a) 赤外 H バンド (1.7 μm) 光度変化, (b) Hα 線 P Cyg 型吸収線強度, (c) X 線 (2-10 keV) の強度, (d) 波長 λ4675-4694 Å (幅広い HeII 4686 Å 輝線) の強度変化. (Martin ら⁴⁾より転載.)

BVR バンドもほぼ同様の变化を示すが極大点は H バンドより数日遅れている. I バンドは H バンドと似た変化を示す. 図 1(b) は Hα 線の P Cyg 吸収成分の強度変化で吸収成分がしだいに弱まり 7 月 5 日に消滅したこと (膨張運動の消失) を示している. 図 1(c) は X 線強度変化で 4-5 月ごろに極大になった後, 近星点後の 7 月 5 日に消滅し, 2 カ月後の 9 月中旬に再び現れている. 図 1(d) は波長域 λ4675-4694 Å に広がる HeII λ4686 輝線の強度変化を表している. 図 1 以外にも撮像や電波など多くの観測があるが, どれも近星点付

近で大きな変動を示している. 顕著な X 線の消失からこのイベントを X 線極小期と呼ぶこともある⁵⁾.

この時期に Iping ら⁶⁾は紫外衛星 FUSE による高分解能分光によって伴星を直接に検出し, それが高輝度高温星 (WR 星の可能性もある) であると推定した. この観測によって 2003.5 イベントは近星点近傍で生じた恒星風衝突によることが明らかになった. しかし, 図 1 に見られるような多彩な現象は近星点通過とどのように関連しているのだろうか. それについて主に三つの説がある. 主星による食によるとするもの, 恒星風衝突域の変動によるとするもの, および主星から伴星への降着流によるとするものである. イベントの論争で最大の争点になったのは X 線強度と HeII λ4686 輝線の変動の説明である. それぞれについて次項で考察しよう.

2) 2003.5 イベントの解釈

(a) 食モデル η Car が近星点に近づくと恒星風衝突域 (CWR) の活動が活発になり, 高温領域や高密度領域が形成される. 食モデルは伴星とともに CWR が主星恒星風の後ろに回りこむことで, X 線源も食によって減光を受けるというシナリオである. この時期に X 線に対する吸収量が増大することも食モデルに都合がよい. Hamaguchi ら⁷⁾は XMM-Newton, RXTE 衛星によるハード X 線の高空間分解能の観測から, X 線源がプラズマ温度一定のまま急激に減光したことに基づいて X 線極小期は食現象であると見なした.

HeII λ4686 輝線が近星点の付近でのみ現れることを最初に指摘したのは Steiner and Daminieli⁸⁾である. 2003.5 イベントの付近における輝線強度の変化は図 1(d) に見るように X 線に似ているが, X 線に比べて極大期の幅が狭く, また, 輝線ピークの視線速度は出現当初から紫方変位を増加し, 近日点直前には ~400 km s⁻¹ に達するが, 近星点で 0 km s⁻¹ へと突然ジャンプする. 輝線はその後, すぐに消失する. 伴星 B は主星 A に対し高

温高速の星風をもつと予想されるので、Steiner らは HeII 輝線が伴星の星風内で CWR からの強い紫外光を受けて形成されると考えた。そのため CWR を伴星側から見る近星点直前に HeII は極大光度を示し、そのあと、主星星風の食によって光度減少し、食後はすでに CWR も両星から離れているため輝線は形成されないというものである。Iping ら⁶⁾は伴星 B に起源をもつ Lyman 連続光や極端紫外域輝線が X 線放射源の潜入日（6月29日）の2日前から消滅し、2004年3月に再出現していることに注目している。これは紫外光源が X 線源とともに主星恒星風の背後に回り込む食の証拠と考えるからである。

Nielsen ら⁹⁾は近星点を挟む 1998.0–2004.3 までの Hubble 望遠鏡 (HST) 可視域撮像分光観測を行い、LBV 輝線の特徴である FeII, HeI, HI の時間変化を解析した。彼らも 2003.5 イベントは伴星が主星 A の星風の背後に回り込む大気食であるとの立場を継続し、観測では特に HeI ($\lambda\lambda 6680, 7067$) の線輪郭の変動に注目した。輝線成分は X 線と似て近星点直後に強度減少を示したが、吸収線の視線速度曲線は近日点の直前から急激に赤方に上昇した。この急激な変動は軌道運動を反映するとして Nielsen らはこれまでよりさらに大きい離心率 ($e=0.9$) を推定し、また、軌道面はホムンクルス星雲の軸と直交する面に対し 41° の傾斜角をもつとしている。伴星 B は軌道上大部分の時期を主星 A の手前にあるため、早期型巨星の B 星を取り巻く He⁺ 領域から再結合 HeI 輝線が形成され、また、主星 A に向かう視線上で HeI 吸収線を生じる。このようにして Nielsen らは HeI, HI, FeII などのスペクトル変化も軌道運動と食現象として説明できると主張している。

(b) 恒星風モデル このモデルでは食とは逆に伴星が主星の前面で近星点になるときに一連のイベントが生じる。Abraham, Falceta-Concalves ら¹⁰⁾によると、この連星系は大きな離心率 ($e=0.95$) をもち、近星点に近づいたときの恒星風衝

突は高いガス密度のため衝撃波面後方の放射冷却が急速に進み、数時間という短い時間スケールでダスト粒子を形成する。このダスト域は光学的に十分に厚くなり、X 線、紫外線を吸収して近星点前後の急激な X 線強度減少を引き起こすというシナリオである。HeII も近星点近傍でガス密度が高くなった領域が CWR の衝撃波帯から放射された紫外および軟 X 線によって電離、再結合して形成される。

Martin, Davidson ら¹¹⁾のグループは HST 分光観測による HeII 4686 輝線の解析を中心にして Abraham らとは少し異なった解釈を試み、それを「質量放出モデル」と名づけた。HeII $\lambda 4686$ は近星点の 140 日前から現れ始め、近星点直前に極大になる (図 1) が、極大強度は通常の衝撃波起源では説明できないほど大きく、何らかの質量放出を必要とするので幾何学的な食モデルとは相容れない。Martin らはこの質量放出は伴星の接近によって触発されたと考えている。このモデルでも近星点は伴星が手前を通過しており、X 線の急激な消失は Abraham と同じように放射冷却によって形成されたガス密度の高い領域による吸収とよとしている。Davidson, Martin ら¹²⁾は HST による分光、測光観測を行い、1998.0 イベントおよびそれ以前の光度変化および水素輝線の輪郭変化と比較し、 η Car は近年急速に質量放出率を減少させ、17 世紀の状態に戻りつつあるのではないかと推測している。

(c) 降着流モデル Soker ら¹³⁾は離心率の大きい連星系における主星、伴星からの恒星風に対する重力の効果に注目する。近星点では両星が 1.66 AU (遠星点では 31.6 AU) まで接近するので、両星からの星風と CWR に対する伴星からの重力効果が著しくなる。低速高密度の主星からの星風と高速低密度の伴星からの星風の衝突する CWR では伴星側の衝撃波帯が著しく高温になって X 線を放射する。しかし、近星点通過近くでは伴星の重力によって CWR は伴星に引き寄せられ、伴星

の周辺に一時的に Bondi-Hoyle-Lyttleton タイプと呼ばれる降着流が形成される。これは主星に頭を向けた頭部衝撃波に似た形をとるが、伴星に近い部分のガスは B 星に吸い込まれ、遠い部分は伴星の尾のように流れ去る。近星点付近では伴星からの星風が降着流内に入って消滅するので、この時期に X 線も消失する。したがって Soker らは降着流の存在期間は X 線極小期の約 70 日間と推定している。

HeII の輝線は近星点の約 200 日前から現れ始め、ゆっくりと強度を増し、近星点の 40 日前（位相 ~ 0.02 ）に極大強度に達している。極大での光度 L_{HeII} はこの輝線だけで太陽光度 L_{\odot} の 100 倍に達するという大きいものであった。HeII 輝線強度が X 線強度を追尾するように増加し、X 線の消滅とともに、輝線も消失したことから Soker and Behar¹⁴⁾ は HeII 放射域は X 線によって電離されたと考えている。

これら三つのモデルについて論争はまだ続いている。今後どのように議論が展開するか期待されるところである。

2. η Car とホムンクルス星雲

η Car に付属するホムンクルス星雲 (Homunculus nebula, 以下, Hom 星雲と略称) は 1840 年代の大爆発 (グレート・エラプション) の際に双極的に放出されたガスローブと考えられている。この星雲について最近の話題を取り上げて見よう。

1) ホムンクルス星雲の構造と形成

Hom 星雲は爆発以来膨張を続け、現在、反射星雲として星から北西と東南方向にそれぞれ約 8 秒角 (11,000 AU) まで広がっている。Smith¹⁵⁾ は Gemini S 望遠鏡による近赤外、長スリット分光を行い、Hom 星雲の二つのローブについてダストの 3 次元構造を導いた。それぞれのローブは薄皮饅頭のように、外縁に薄い冷たい H_2 分子ガスの皮をもち、内側に暖かい [FeII] ガスを満たす 2 層に分かれている。 H_2 分子の皮は厚さがローブ

の 2-3% に過ぎないのに、その質量は $10 M_{\odot}$ 以上でローブ質量の大部分を占めている。また、皮の薄さから Smith はグレート・エラプションの主要な持続時間は 5 年程度ではなかったかと推測している。また、Smith and Ferland¹⁶⁾ は Hom 星雲内の電離状態を解析し、 Fe^+ 域から H_2 域への変移が、あたかも HII 領域における電離面のように急速に進行したこと、両域にわたってのガスの密度、温度の分布から、星雲全体の質量が $15-35 M_{\odot}$ に達することなどを示した。

こうした観測とモデルに基づき、Smith and Townsend¹⁷⁾ は Hom 星雲の形成について考察を行った。基本的視点は 1840 年代のグレート・エラプションは恒星風起源ではなく、星表面爆発であったという点である。その理由は、Hom 星雲は全力的エネルギーが全放射エネルギーを上回っていること、極軸方向の大きな放出速度 ($\sim 500 \text{ km s}^{-1}$) は主星の表面脱出速度に近いことなどである。それを説明するために彼らは臨界速度に近い高速自転星表面における爆発的質量放出モデルを提唱した。ガス粒子は赤道方向に扁平化した星表面からそれぞれ垂直方向に弾道軌跡を描いて非等方的に放出される。この表面爆発によって極方向への双極型星雲の形成と赤道方向への円盤の形成が同時に形成され、現在の Hom 星雲を形成したと推測している。

2) リトル・ホムンクルス星雲

Ishibashi らは 2003 年に HST の長スリット分光によって星から 2 秒角以内に 1890 年代のエラプションの名残と見られる星雲成分を発見し、それをリトル・ホムンクルス星雲 (以下 LHom 星雲と略称) と名づけた。Ishibashi¹⁸⁾ は LHom について Hom と同じ方向に放出されたガス雲であること、形成過程は Hom 星雲に類似しており、その違いはエラプションの規模にあることに注目している。

Smith¹⁹⁾ は赤外輝線 [FeII] $\lambda 16435 \text{ \AA}$ の高分解能分光によって LHom 星雲の赤方および紫方変

移す領域の広がりや運動状態を解析した。それによると、LHom は比較的低速で放出された質量およそ $0.1 M_{\odot}$ のガスであるが、エラプションのあとに星からの高速恒星風によってしだいに加速された。加速は1930年頃まで継続したが、その後、恒星風は停止している。

なお、LHom 星雲より星に近い領域にはバタフライ構造や Weigelt プロップなどと呼ばれるダスト団塊も知られており²⁰⁾、星に近い領域からダスト形成が始まっていることを示している。

3) ホムンクルス星雲と 2003.5 イベント

Gull ら²¹⁾ は HST 搭載の高分散撮像分光器によって Hom, LHom 星雲を含む η Car 周辺の近紫外域観測をイベント前後にわたって行い、両星雲の速度構造とイベントによる変動を解析した。恒星風起源の FeII λ 3003, MgII λ 2934 Å などでは P Cyg 型輪郭に多数の狭い吸収線成分が重なっている。そのうちの顕著な視線速度 -513 km s^{-1} , -146 km s^{-1} の成分がそれぞれ Hom, LHom 星雲に対応する。LHom は Hom 星雲に比べて電離度が高いが、それは星雲の星からの距離の差に依存している。したがって、LHom のほうがイベントの影響を強く受けている。1 回電離金属線の現れ方は Lyman 連続光の強度に強く支配されるので、イベントによる吸収線成分の変動は近星点付近での一時的な Lyman 連続光源の光度低下によって説明できると Gull らは示唆している。

Stahl and Weis のグループ²²⁾ は VLT (ESO) の紫外光学域エシエル分光器で星から 3.8 秒角までの範囲を長スリット観測で η Car 周辺の星雲のスペクトル変化を追跡している。H α , HeI λ 6678 Å はともに顕著な P Cyg 輪郭を示し、イベントの時期に大きな等価幅減少を示した。減少は JD2452700 頃に始まり近星点付近で極小、53000 頃に回復している (図 1 参照)。こうした輝線強度と非対称的な輝線輪郭の変化から彼らは、イベントは単なる食現象ではなく、何らかの質量放出を伴ったと示唆している。

3. P Cyg と AG Car

1) P Cyg

白鳥座 P 星 (P Cyg) は η Car と並んで銀河系内で大規模なエラプションの観測された貴重な例である。大量のガスが放出されてその名残が今も星雲として観測されている。P Cyg の爆発は 1600 年と年代が経っているため星雲も広がり、表面輝度も下がっているが、Smith and Hartigan²³⁾ は星から半径 10 秒角の星雲領域の高分散分光を行い、[FeII] 輝線強度比 (λ 12567/ λ 16435 Å) などの解析から星雲の物理量を導いた。それによると星雲は、半径 0.08 pc, 膨張速度 136 km s^{-1} , 平均電子密度は $6,000 \text{ cm}^{-3}$ である。これから星雲の質量は $0.1 M_{\odot}$ 程度と見積もられる。これは LBV の定常的恒星風として放出されたガス量よりずっと大きい。Smith らはその大部分が 1600 年次の爆発の際短期間に放出されたものと推定している。しかし、ガス総量は η Car の星雲に比べてはるかに小さいので、P Cyg の爆発規模は η Car の 1840 年代のグレート・エラプションではなく、1890 年代に生じた 2 次的爆発程度であったろうと推測した。

また、Boumis, Meaburn ら²⁴⁾ は P Cyg 周辺の星雲の撮像、分光観測を行い、十数分角に広がるガス雲を [OIII] 5007 の撮像、分光などからこれらのガス雲が 2400 年前から数万年前までに繰り返し生じたエラプションの名残であることを示した。これによって P Cyg は過去には 1600 年の爆発より大きな爆発があったことを示し、その中には η Car のグレート・エラプションに匹敵するものもあったと推定した。こうして Boumis らは LBV の進化について繰り返される短期間大爆発が主要な質量放出機構であると示唆している。

2) AG Car

LBV は一般に不規則な変光星であるが、静穏期 (または高温期) と呼ばれる光度減少期には星の有効温度は高くなり ($12,000\text{--}30,000 \text{ K}$)、活動期 (または低温期) には有効温度は $7,000\text{--}8,000 \text{ K}$

程度まで低下する。

Groh ら²⁵⁾は ESO (チリ) の 1.52 m 望遠鏡および VLT による竜骨座 AG 星 (AG Car) の分光観測で Si IV 4088–4116 の幅広い吸収線を検出した。これらを光球起源とし、その線幅から星の自転速度 $V \sin i$ を推定しているが、自転速度は観測時期によって次のように異なる: $190 \pm 30 \text{ km s}^{-1}$ (2001 April), $110 \pm 10 \text{ km s}^{-1}$ (2002 March), $85 \pm 10 \text{ km s}^{-1}$ (2003 January). このうち 2002, 2003 年は星の低温期にあたり、 $V \sin i$ が星半径 R に逆比例すると仮定するとこの時期に星は膨張する。これらの観測によると星の自転は限界速度に近く、AG Car は LBV として高速自転速度をもつことが見いだされた初めての例となる。

また、AG Car は周囲に楕円形のダスト雲を伴っており、ダスト量から推定される星雲の質量も $25 M_{\odot}$ と大きく、 η Car に匹敵している²⁶⁾。このダスト雲も η Car と同様の大型エラプションによって形成されたものと考えられ、爆発の時期は約 1 万年前と推定されている²⁷⁾。

4. LBV と大質量星の進化

O 型の大質量星は顕著な恒星風をもち、主系列から離れて LBV に向かう間、従来は線放射圧による標準型 (定常的, 球対称, 均質) と呼ばれる恒星風によって質量放出を行い、LBV 期を経て WR 星に達すると考えられてきた。しかし、2000 年代に入ると標準型による質量放出率は過大評価であり、恒星風中の不均質性 (クランプ構造) を考慮すると放出率は 3–10 倍も減少し、WR 星への進化を説明することが困難であることが明らかになってきた。それから派生して二つの点が注目されている。第 1 は、星は Eddington 限界付近に達すると特別な質量放出機構が働くのかという問題、第 2 は LBV 段階における大量の質量放出現象の効果である。第 1 の点について Owocki ら²⁸⁾ は Eddington 限界付近にある星の恒星風の振舞いを検討し、「超 Eddington 恒星風」モデルを提唱し

た。それは線放射圧に代わる連続光放射圧と、星風内の不均質性を基礎とした理論で、著しく大きな質量放出率を示す可能性をもっている。第 2 の点について Smith²⁹⁾ は η Car, AG Car に限らず多くの LBV および LBV 候補星が大質量の反射星雲を伴うことを示した。これらの星雲は LBV エラプションの結果生成されたもので、 10^3 – 10^4 年間に数回以上の大型エラプションを繰り返したと見られている。Smith はこうした観点に立って初期質量 60, 120 M_{\odot} の星の進化経路を計算した。120 M_{\odot} 星の例では誕生後約 100 年で晩期型 WN 星 (WNL) となり、質量放出率を数倍に増加させながら LBV 段階に達する。この時期に 10 M_{\odot} 以上の質量を放出する数回の大型エラプションを経て、再び WR (WC) 期に入り、数千年後に超新星としてその最後を迎える。

Smith and Owocki³⁰⁾ は LBV 光度が $\log L/L_{\odot} = 5.8$ を境に、質量放出経過に差のある点を指摘している。光度がこの値より低い LBV はいったん赤色超巨星域に入り、そこで恒星風による十分な質量を放出してから WR 星に戻るのに対し、光度の高い星は青色超巨星域から WR 星に戻ってしまうので、どうしても LBV 段階で爆発的質量放出 (エラプション) を繰り返す必要がある。質量 10 M_{\odot} 以上の大型星雲を伴う LBV がこの境界光度以上の高輝度星に限って観測されるのもこの考え方を支持している。しかし、エラプションを引き起こす機構については現在では不明である。Owocki²⁸⁾ の提唱した超 Eddington 恒星風 (光学的に厚い連続光放射圧起源の恒星風) によるのか、あるいは核反応を伴わない流体力学的爆発 (Arnett ら, 2005) によるのか、どちらにしても大規模なエラプションが大質量星の進化に基本的な役割を担っていることは明らかである。また、どちらの機構も金属存在量には関係しないので、宇宙初期の金属欠乏期の大質量星の進化に大きな役割をもっていたと彼らは示唆している。

系外銀河においてもこれまで超新星と分類され

ていた星の中に LBV エラプションと見られるものが見つかり、それらは η Car 類似星 (η Car analog) あるいは擬似的超新星 (supernova impostor) と呼ばれ^{31), 32)}, 多くの分光観測によって LBV との類似性が指摘されている。

文 献

- 1) Frew D. J., 2005, ASP Conf. Ser. 332, 160; Frew D. J., 2004, *Ast. Data* 10, 6
- 2) van Genderen A. M., Sterken C., et al., 2006, *J. Ast. Data* 12, 3
- 3) Fernández Lajús E., et al., 2005, *Bol. Asoc. Argentina Ast* 48, 158; Fernández Lajús E., et al., 2003, *Inf. Bull. Var. Stars* No. 5477
- 4) Martin J. C., et al., 2006, *ApJ* 640, 474
- 5) Gull T. R., et al., 2006, *ApJS* 163, 173
- 6) Iping R. C., Sonneborn G., et al., 2005, *ApJ* 633, L37
- 7) Hamaguchi K., Corcoran M. F., et al., 2007, *ApJ* 663, 522
- 8) Steiner J. E., Daminieli A., 2004, *ApJ* 612, L133
- 9) Nielsen K. E., Corcoran M. F., Hamaguchi K., et al., 2007, *ApJ* 660, 669
- 10) Falceta-Goncalves D., Jatenco-Pereira V., Anraham Z., 2005, *MNRAS* 357, 895(I); Abraham Z., et al., 2005, *MNRAS* 364, 922 (II); Abraham Z., Falceta-Goncalves D., 2007, *MNRAS* 378, 309 (III)
- 11) Martin J. C., Davidson K., et al., 2006, *ApJ* 640, 474.
- 12) Davidson K., Martin J. C., Humphreys R. M., Ishibashi K., et al., 2005, *AJ* 129, 900
- 13) Soker N., 2005, *ApJ* 635, 540 (I); Akashi M., Soker N., Behar E., 2006, *ApJ* 644, 451 (II); Soker N., Behar E., 2006, *ApJ* 652, 1563 (III)
- 14) Soker N., Behar E., 2006, *ApJ* 652, 1563
- 15) Smith N., 2006, *ApJ* 644, 1151 (Paper I)
- 16) Smith N., Ferland G. J., 2007, *ApJ* 655, 911 (Paper II);
- 17) Smith N., Townsend R. H. D., 2007, *ApJ* 666, 967 (Paper III)
- 18) Ishibashi K., 2005, ASP Conf. Ser. 332, 131
- 19) Smith N., 2005, *MNRAS* 357, 1330
- 20) Chesneau O., Min M., et al., 2005, *A&A* 435, 1043
- 21) Gull T. R., Kober G. V., Nielsen K. E., 2006, *ApJS* 163, 173
- 22) Stahl O., Weis K., et al., 2005, *A&A*, 435, 303; Weis K., Stahl O., et al., 2005, *AJ* 129, 1694
- 23) Smith N., Hartigan P., 2006, *ApJ* 638, 1045
- 24) Boumis P., Meaburn J., et al., 2006, *A&A* 457, L13; Meaburn J., Boumis P., et al., 2004, *A&A* 422, 603
- 25) Groh J. H., Hillier D. J., Daminieli A., 2006, *ApJ* 638, L33
- 26) Voors R. H. M., Waters L. B. F. M., et al., 2000, *A&A* 356, 501
- 27) Groh J. H., Daminieli A., Jablonski F., 2007, *A&A* 465, 993
- 28) Owocki S. P., Gayley K. G., Shaviv N. J., 2004, *ApJ* 616, 525
- 29) Smith N., 2006, in *Mass Loss from Massive Stars and Stellar Clusters* (in press)
- 30) Smith N., Owocki S. P., 2006, *ApJ* 645, L45
- 31) Humphreys R., Stanek K. (eds.), 2005, *Proc. The Fate of Most Massive Stars*, ASP Conf. Ser. 332
- 32) Van Dyk S. D., 2005, ASP Conf. Ser. 332, 47.

Recent Developments in the Studies of Emission-Line Stars.

2. Luminous Blue Variables

Tomokazu KOGURE

1-10 Togano, Hashimoto, Yawata, Kyoto 614-8322, Japan

Abstract: Luminous blue variables (LBV) are the stars distributing in the highest part of the HR diagram, and characterized by their large mass loss through eruptive events. Recent studies of three prototype LBV, η Car, P Cyg, and AG Car, are reviewed, along with their associated nebulosities. In particular, spectral changes in and around the periastron passage of η Car in 2003 have been extensively observed, and opened a new debate on its physical nature.