

小望遠鏡で探る矮新星の増光と進化

野 上 大 作

〈京都大学飛騨天文台 〒506-1314 岐阜県高山市上宝町蔵柱〉

e-mail: nogami@kwasan.kyoto-u.ac.jp

加 藤 太 一, 今 田 明

〈京都大学理学部宇宙物理学教室 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町〉

e-mail: tkato@kusastro.kyoto-u.ac.jp

e-mail: a_imada@kusastro.kyoto-u.ac.jp

植 村 誠

〈広島大学宇宙科学センター 〒739-8526 広島県東広島鏡山 1-3-1〉

e-mail: uemuram@hiroshima-u.ac.jp

石 岡 涼 子

〈Subaru Telescope, 650 North A'ohoku Place, Hilo, HI 96720, U.S.A.〉

e-mail: ishioka@subaru.nao.org

山 岡 均

〈九州大学大学院理学研究院物理学部門 〒810-8560 福岡県福岡市中央区六本松 4-2-1〉

e-mail: yamaoka@rc.kyushu-u.ac.jp

馬 場 肇

〈茨城大学大学教育研究開発センター 〒310-8512 茨城県水戸市文京 2-1-1〉

e-mail: babahj@mx.ibaraki.ac.jp

激変星や矮新星の増光や進化に関して、VSNET を通じた機動的な国際共同観測により、この 10 年で理解が急激に進みました。それに含まれるさまざまな項目の中で、本稿では小型の望遠鏡が大活躍した、巨大質量輸送率を誇る ER UMa 型矮新星、10 年またはそれ以上に一度特異な大爆発を起こす WZ Sge 型矮新星、軌道周期が非常に短く謎の進化をしている EI Psc に関して概説します。

1. はじめに

現代は観測天文学の黄金時代と言われます。地上望遠鏡ではしばらく前から 8 m クラスの望遠鏡が相次いで稼働し始め、今はさらに大型の 30-100 m の望遠鏡の建設計画が世界中で検討されています。またスペースに目を向けても、さまざまな波長での観測衛星がどんどん打ち上げられては

次々と新しい成果を上げ、その裏でさらに新しい計画が作られていきます。

そういった大型～超大型の計画が進められている一方で、小型の望遠鏡の普及も進み、また CCD カメラの高性能化と低価格化も著しくなっています。その結果、15 等くらいの明るさの天体を楽々観測できる、というアマチュアの方もどんどん増えています。世界中に散らばるこういう方々とう

まく連携を取り、潜在的な観測能力を引き出すことができれば、24時間全く切れ間のない観測だって可能であるわけです。これも観測天文学黄金時代の一つの側面と言えるでしょう。

そしてこの切れ間のない観測が可能となっていることに加えて、インターネットを介して情報を世界中で素早く共有することが可能になっています。共同利用をしていて観測計画のきっちり決まっている大型望遠鏡と違い、小型の望遠鏡の多くは使用者の考え一つで観測スケジュールを調整できます。ガンマ線バーストやX線連星・激変星の爆発現象、超新星爆発などの、いつ何時どうい現象が起こるか予測のつかない突発天体・現象では、これらの特性が非常に有効にはたります。そして小型の望遠鏡での観測が、それらの理解を進める大きなエンジンとなっています。

筆者らは10年ほど前からメイリングリストとwebを媒体とした国際変光星ネットワーク(VSNET)を組織し、ここで述べてきたような突発天体・現象の研究を大勢の人と協力して進めてきました。その成果は多岐にわたりますが、ガンマ線バーストやX線連星に関しては他の記事^{1),2)}に譲り、本稿では激変星・矮新星に関して小型望遠鏡の活躍によってどういうことで理解が進んだかを述べていきます。またVSNETそのものと、これがもたらした成果全般に関してもっと詳しく知りたい方は、加藤太一らのレビュー³⁾をご覧ください。

矮新星は激変星の一種で、降着円盤によって大きな増光・爆発現象を見せる天体です。白色矮星(主星)と晩期型主系列星(伴星)からなる半分離型の連星で、ロッシュローブオーバーフローにより伴星の表面のガスがはぎ取られて主星の方に流れ込み、主星の周りに降着円盤を形成しています(図1)。

この矮新星の爆発現象、および進化に関する理解は、VSNET出現以後大きく進むこととなりました。次の章ではVSNETが現れるまでの矮新星

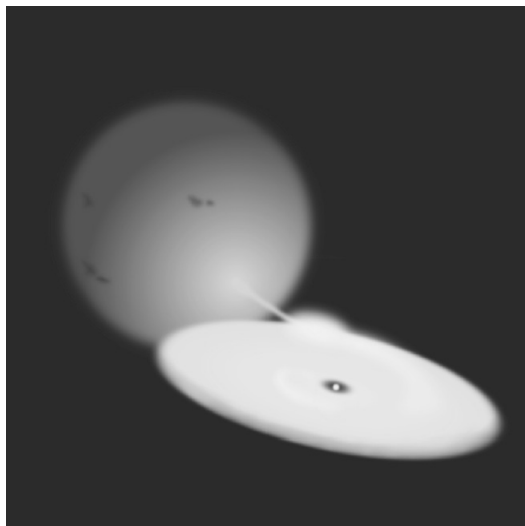


図1 矮新星の概念図。ロッシュローブを満たした晩期型主系列星から表面のガスが白色矮星のほうに流れ込み、その周りで降着円盤を形成している。

の描像を概観し、3章でVSNET出現以後に得られた知見のうちインパクトの大きいものをいくつか紹介し、最後に4章でまとめとこれからの展望を少し述べます。

2. 1990年代前半くらいまでの矮新星の描像

2.1 観測的な分類

矮新星は大きく白鳥座SS型(SS Cyg型; ふたご座U型とも言われます)、きりん座Z型(Z Cam型)、おおぐま座SU型(SU UMa型)に分類され、大まかには図2のような光度曲線を示します。SS Cyg型では、通常の光度よりも2-4等ほど数日間明るくなる、ノーマルアウトバーストと呼ばれる現象を数週間おきに繰り返します。

Z Cam型ではノーマルアウトバーストに加えて、アウトバーストの状態と静穏期の状態の中間の明るさを10日ほどから、長いときには数百日継続する、スタンドスティルと呼ばれる状態を時おり見せます。SU UMa型ではアウトバーストの

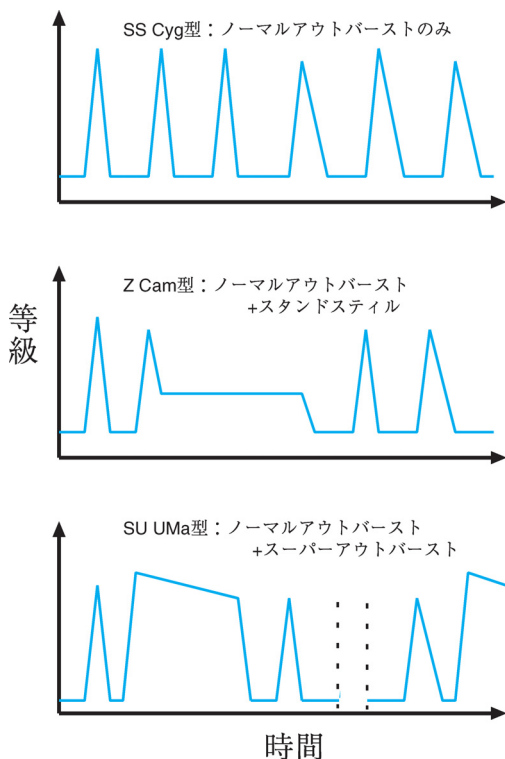


図2 各型の矮新星の大まかな増光パターン。はくちょう座 SS (SS Cyg) 型は数日続く 2-4 等程のノーマルアウトバーストのみを数週間おきに繰り返す、きりん座 Z (Z Cam) 型はノーマルアウトバーストと中間的な明るさを保つスタンドスタイルという状態を示します。SU UMa 型はノーマルアウトバーストよりもさらに明るくなり 2 週間ほど続くスーパーアウトバーストと呼ばれる現象を 1 年くらいおきに起こします。

振幅が 3.5-6 等程度と大きく、ノーマルアウトバーストよりも 0.5-1 等程度明るく、2 週間ほど継続するスーパーアウトバーストと呼ばれる爆発を起こします。またスーパーアウトバースト中には、ノーマルアウトバースト中には観測されない、軌道周期よりも数%周期の長い 0.3 等程度の周期的微小変動も見られます。これはスーパーハンプと呼ばれ、長いアウトバースト中にこのスーパーハンプ現象が見られることが、SU UMa 型矮新星の定義とも言えます。スーパーアウトバース

トの繰り返される周期 (スーパーサイクル) は、典型的には 1 年ほどです。

また、や座 WZ (WZ Sge) という星は 1913 年、1946 年、1978 年に振幅が 8 等近くになる大増光が起こっていたことが記録されていて、この 1978 年の増光時にスーパーハンプ現象が捕らえられ、非常に増光間隔の長く、増光振幅の大きな SU UMa 型矮新星であることが判明しました。ノーマルアウトバーストが全く観測されないことも WZ Sge の特徴です。この星ほど極端ではありませんが、通常の SU UMa 型矮新星よりは増光振幅が大きく、アウトバーストサイクルの長い系はいくつかあり、それらの候補星を含めて、WZ Sge 型という SU UMa 型矮新星の中の小グループも提唱されていました。

それぞれの星の軌道周期を調べてみると、SS Cyg 型と Z Cam 型は 3 時間よりも長い軌道周期をもち、SU UMa 型と判明しているものは軌道周期がほとんど約 2 時間以下という結果でした。ただし約 2 時間と約 3 時間の間の軌道周期をもつものは非常に少なく、ペリオドギャップと呼ばれます。また WZ Sge 型は SU UMa 型矮新星の中で最短の部類で、軌道周期が 80 分前後に集中していました。

2.2 矮新星増光と進化に関する理論的解釈

矮新星の増光に関する機構の大枠を考えるうえでは、降着円盤の熱不安定性と潮汐不安定性を組み合わせて 1989 年に提唱された、降着円盤不安定性モデル⁴⁾が現在でも有効です。おおざっぱに説明すると以下ようになります。粘性による加熱 (摩擦熱のようなものと考えて下さい) と放射による冷却の、降着円盤内での局所的な熱収支を考えた場合に、釣り合いが取れるのには二つの状態があります。すなわち温度が低くて水素が電離しておらず、粘性が低くてあまりものが落ち込まない状態と、温度が高くて水素が電離し、粘性が高くてものがどんどん落ち込んでいく状態です。伴星から物質が降着円盤に輸送されてくる割合は

一定でも、温度の低い状態では降着円盤内にもものがどんどんたまり、密度がある臨界点を超えると熱不安定性により高温状態にジャンプし、ものがどんどん落ち込んでいくようになり、その際開放される重力ポテンシャルを熱エネルギーとして放射して明るく光ります。やがてものが少なくなってきて密度がある臨界点を下回ると、今度は逆の熱不安定性により低温状態にジャンプして、新たにものをため込み始めます。この繰り返しがノーマルアウトバーストのサイクルを表すというものです*1。

質量輸送率がある程度以上大きいと、今度は降着円盤がいつも高温状態で安定してしまうこととなります。これではいつも増光状態となってしまう、大きな明るさの変化は観測されないこととなります。こういう系も実際に存在し、新星状変光星 (novalike variables) と呼ばれています。Z Cam 型のスタンドスタイルはこの状態と深い関係があると思われており、伴星からの質量輸送率の微妙な変動で、少し質量輸送率が小さいときにはノーマルアウトバーストを繰り返し、質量輸送率が大きくなるときにはスタンドスタイルになるのではないかと考えられています。図3がその説明図で、SS Cyg 型 (SS) と Z Cam 型 (ZC) と新星状変光星 (NL) の関係は、質量輸送率の違いで降着円盤が熱的に不安定かどうかによるというわけです。

さて、ノーマルアウトバースト時には降着円盤内の物質が中心星に向かって落ち込んでいきますが、落ち込んでいく物質分の角運動量を担った一部の物質は、逆に外側に運ばれていくこととなります。そのため降着円盤全体としては広がっています。軌道周期と降着円盤内で物質の回転する周期が 3:1 となるところでは共鳴現象が起こることが知られており、アウトバースト中に 3:1 共鳴を起こす半径を超えると、伴星による潮汐力の影響で、その半径のところを回っている物質の軌

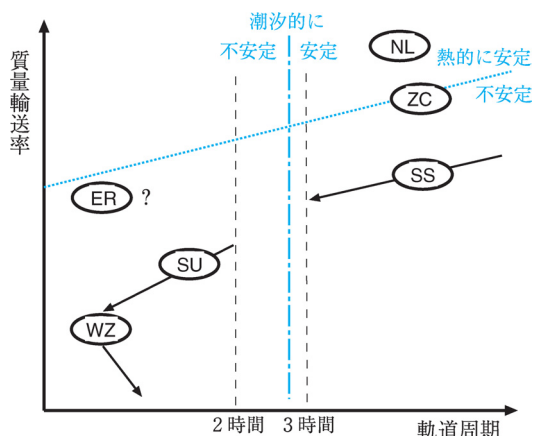


図3 軌道周期と質量輸送率の関係図。約2-3時間の激変星がほとんど存在しないピリオドギャップと呼ばれる領域を挟み、SS Cyg 型 (SS)、Z Cam 型 (ZC) と SU UMa 型 (SU) の各矮新星で分布がきれいに分かれます。新星状変光星 (NL) は矮新星よりも質量輸送率が大きく、降着円盤が高温状態で熱的に安定となり、増光現象を起こしません。黒の矢印は進化の方向を表しています。詳しくは本文を参照して下さい。

道が楕円形に歪められていくという効果が生じます⁵⁾。その結果、降着円盤全体が数日かけてゆっくりと歳差運動をする離心楕円形円盤となります。このとき、楕円円盤の長軸の向きと伴星の位置関係によって、潮汐力による降着円盤からの角運動量の引き抜きの効率が変わり、物質の降着率が少し変化します。このことから、楕円円盤の歳差運動の周期と軌道周期の間の「うなり」の周期で明るさの変動が見えることとなります。これがスーパーハンプの原因だと解釈されています。そして潮汐力による効率的な角運動量の引き抜きで降着円盤が高温状態を保ち続け、ノーマルアウトバーストとして始まった増光が、結果的に明るく長く続くスーパーアウトバーストとなっていくと考えられています。スーパーハンプもスーパーアウトバーストも、同じ機構が元になっているた

*1 ただし、ここで述べたことは局所的な話であり、それを矮新星増光という全体的なことにつなげるのにはもう少し複雑な説明が必要ですが、ここでは深入りは避けます。

め、必ず一緒に観測されるというわけです。

ただし、3:1 共鳴が起こる半径が白色矮星のロッシュローブ内になければ、いくら降着円盤が広がってもこの機構ははたらきようがありません。その条件は伴星の主星に対する質量の比が 0.25 以下 (0.33 以下とする説もあります) というもので、主星が白色矮星である以上、その質量に大きなばらつきのない矮新星では、それが軌道周期が約 3 時間以下という条件につながります。これが SU UMa 型矮新星の軌道周期がピリオドギャップ以下に固まっていることの説明です。

次に矮新星の進化に関してですが、基本的には連星系全体から角運動量が引き抜かれることによって系全体が小さくなっていき、伴星のロッシュローブも小さくなって、そのロッシュローブからあふれた質量が主星に輸送されるということで進化が進んでいきます⁹⁾。その角運動量の引き抜きは軌道周期が長いときは、伴星から放出された質量が伴星の磁場に引きずられていくことによって行われます。しかし伴星が質量を失っていくとやがて恒星内部がすべて対流層となり、強い表面磁場は作られにくくなって角運動量の引き抜き効率が落ちます。これが軌道周期が 3 時間の辺りで起こり、そこでいったん激変星としての活動は止まります。以後効率が悪いながらも重力波放出によって角運動量の放出と進化が進み、軌道周期が 2 時間くらいとなったときにもう一度伴星がロッシュローブを満たして、質量輸送が再開されます。これがピリオドギャップに対する理解です。

さらに進化が進んでいくにつれてだんだん質量輸送率が低くなっていきますが、ある時点で伴星が縮退してしまいます。これ以後伴星は軽いほど半径が大きくなるようになり、質量の輸送に伴って伴星が系から離れていき、軌道周期が長くなるようになります。よって矮新星には最短周期というものが存在し、WZ Sge 型はちょうどその辺りに位置していると考えられます。WZ Sge 型の活

動性の低さ (スーパーサイクルの長さ) は質量輸送率の低さによると思われる⁷⁾、この進化モデルとよく合います。

3. この 10 年での研究の進展

前章では 1990 年代前半までの矮新星の増光と進化に関する知見を観測・理論の両面でレビューしました。しかしこれらの知見はそれまでに発見されていた少ないサンプル (SU UMa 型矮新星では 20 個程度) の、しかも偶然にアウトバーストを捕らえたときの乏しい観測によるものでした。VSNET の誕生と発展によって、矮新星の増光情報を世界中で即座に共有し、その現象の重要さや状況に応じて臨機応変に観測形態や手法を変えつつ共同観測を進められるようになりました。この VSNET での国際共同観測はほとんどが小型望遠鏡でなされたものです。口径 20 cm から 40 cm の、あるいは京都大学大宇陀観測所や飛騨天文台の 60 cm 望遠鏡が大活躍してきました。そして筆者らは SU UMa 型を中心として 100 個程度の矮新星を見つけ、また既知の矮新星の詳しい観測して、矮新星の理解を格段に進めてきました。この章では重要なトピックスのうちいくつかを紹介します。

3.1 ER UMa 型矮新星の発見

ER UMa (当時は PG 0943+521 と呼ばれていました) は 1982 年に激変星として発見されたものの、それまでの分類にはうまく当てはまらない光度変化を起こす星とされていました。1994 年 1 月の長いアウトバースト時に京都大学大宇陀観測所の 60 cm 望遠鏡を用いて観測され、スーパーランプが発見されたことにより、この星が SU UMa 型の一員であることがわかりました⁸⁾。この星で驚きだったのは、スーパーサイクルが 43 日と飛び抜けて短かったことです。これはそれまで知られていた最短のもの 5 分の 1 程度しかありませんでした。その短いスーパーサイクルの半分はスーパーアウトバースト中で、それが終わっても

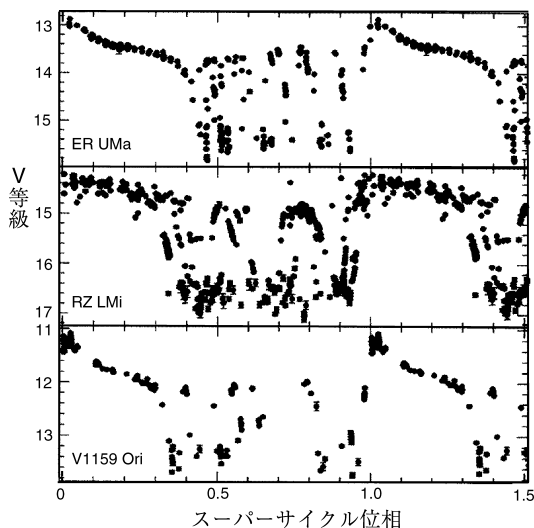


図4 ER UMa 型矮新星のスーパーサイクルで折りたたんだ光度曲線。ほとんどの時期で増光状態にあり、アウトバーストの振幅も小さい。Robertson ら¹⁰⁾の図4をもとに作成した。

4日ごとにノーマルアウトバーストを起こしています(図4)。つまりほとんどの期間は増光している状態にあるわけです。そしてスーパーアウトバーストの振幅が3.0等しかなく、これも当時知られていたSU UMa型矮新星で最も小さいものでした。これらのことは質量輸送率が非常に大きいことを示唆します。その後実際に、降着円盤不安定性理論をもとに質量輸送率を熱的に安定になるぎりぎりのところまで上げることで、ER UMaの光度曲線が大体再現できることが示されました⁹⁾。

また面白いことにER UMaのスーパーハンプ周期は94分程で、後に測られた軌道周期は約92分¹¹⁾と、SU UMa型矮新星の中でもやや短いものでした。標準的な進化理論に基づいてこの軌道周期から予想される質量輸送率の、10倍以上の質量輸送率をもっていることになります。

さらにその後、V1159 Ori¹²⁾、RZ LMi¹³⁾、DI UMa¹⁴⁾、IX Dra¹⁵⁾と次々と同じような系が見つかってきました。これによりER UMaのみが特

殊な系なのではなく、ER UMa型という小グループが存在することが確立しました。これらの系のいずれもER UMaとはほぼ同じかより短い軌道周期をもっています。段々とER UMa型と通常のSU UMa型の間を埋めるSU UMa型矮新星が見つかってきてはいます(例えばBF Ara¹⁶⁾)ですが、依然としてER UMa型のメンバーが飛び抜けて大きな質量輸送率をもっているという認識は変わっていません。この巨大な質量輸送率をもつのはなぜなのでしょう? またなぜ軌道周期の短いところに固まっているのでしょうか? ER UMa型矮新星の進化上の位置づけに関して、新星爆発に関連した冬眠¹⁷⁾や伴星の周期的な活動性の変化¹⁸⁾を利用して説明しようとする考え方や、通常の矮新星ではなく強磁場激変星(ポラー)が進化したときの姿¹⁹⁾だとする考え方などありますが、どれもまだ説得力のあるものとは言いがたい状態で、もっと新しいアイデアが必要なのかもしれません。

3.2 WZ Sge 型矮新星のスーパーアウトバースト

WZ Sge型の矮新星は増光頻度が極端に低いため(10年に一度とかそれ以下)、1990年代半ばまでで増光中にある程度詳しい観測が行われたのは、ほぼ1978年のWZ Sgeのスーパーアウトバーストのみという状況でした。そして1995年4月、長い間待ち望まれていたAL Comの増光が報告され、世界中で多くの観測者が望遠鏡を向けました²⁰⁾⁻²³⁾。このときの観測結果はいろいろな面でそれまでの「常識」を覆すもので、WZ Sge型への関心が一気に高まり監視が強められ、その後はWZ Sge型と考えられる矮新星の増光が1-2年に1個程度見つかるようになりました。そしてちょうど観測に適した時期に増光を起こしたEG Cnc(1996-1997年)²⁴⁾⁻²⁶⁾とWZ Sge(2001年)^{27), 28)}では特に詳しい観測がなされました。WZ Sgeの2001年の増光は日本の大島誠人さん(当時高校生)が発見し、その功績で2002年の天文功労賞を

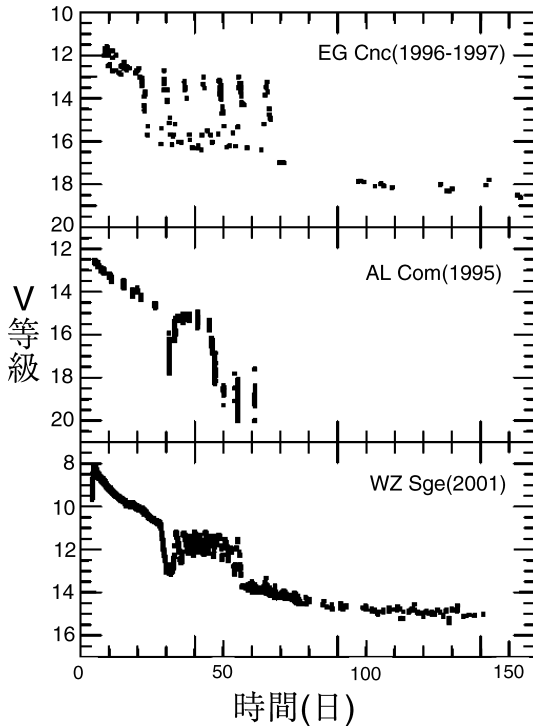


図5 WZ Sge 型矮新星 WZ Sge, EG Cnc, AL Com のスーパーアウトバーストの光度曲線。括弧の中の数値はそのアウトバーストが観測された年を表しています。メインとなるアウトバーストに続く再増光現象がバラエティーに富んでいるのがわかります。この図は Kato ら²⁶⁾の図2をもとに作成しました。

受賞されたということで、ご記憶の方も多と思います。この三つの星の観測で WZ Sge 型矮新星の理解は大きく進み、また新たな謎も多く提起されました。

この三つのスーパーアウトバーストの光度曲線を図5に示します。通常の SU UMa 型矮新星のスーパーアウトバーストと違い、どのスーパーアウトバーストでもメインとなるスーパーアウトバーストの後に、再増光が起こっているのが見取れます。10年以上もアウトバーストを起こさなかったはずなのに、スーパーアウトバーストの直後にはすぐにまたアウトバーストを起こすのはなぜでしょうか？ また AL Com では再増光時は普

通の SU UMa 型矮新星のスーパーアウトバースト時のような、なめらかなゆっくりした減光の後に急にアウトバーストが終わるといった光度曲線ですが、WZ Sge の再増光では3日周期くらいで1等強くなるくらいの増減光を12回も繰り返しました。EG Cnc では1週間おきに3等にもなる再増光を6回も繰り返しています。この再増光時の光度曲線の違いは何に起因しているのでしょうか？ メインのスーパーアウトバーストが終わっても3:1共鳴の起こる半径より外側にある程度の質量が残っている^{20), 23)}とか、メインのスーパーアウトバースト後で粘性が高く増光が起こりやすい状態になっている²⁹⁾とかの説はありますが、これらの新しい疑問が解明されるのは今後の研究を待つことになります。

スーパーアウトバースト中の光度曲線を詳しく見ていくと、どの星でも増光の極大を過ぎてすぐに、二こぶの明るさの変化が0.1等程度の振幅で見られます(図6)。数日から1週間ほどで、これが通常の一こぶのスーパーハンプに取って代わります。この通常のスーパーハンプが現れる前に見られる微小変光現象の存在を筆者ら²⁰⁾は AL Com の1995年のスーパーアウトバーストで初めて確立し、初期スーパーハンプと名づけました。この初期スーパーハンプは通常のスーパーハンプと形状も異なっていますが、周期も明らかに異なっており、別の物理現象を見ていると考えられます。また先に述べたとおりスーパーハンプが観測されるときには降着円盤は楕円状に歪んでいるはずですが、この歪みが成長するには時間がかかり、特に軌道周期が短く質量比が小さい系では長い時間がかかるとされています³⁰⁾。そのため初期スーパーハンプは降着円盤の歪みが成長する過程で生じる現象とする説もあります²⁰⁾。しかしそれとは別に2:1共鳴で降着円盤に2本の渦状構造ができてその見え方の変化による説^{31), 32)}や、伴星からの潮汐力による降着円盤内の速度場の歪みによる説³³⁾などが出されてい

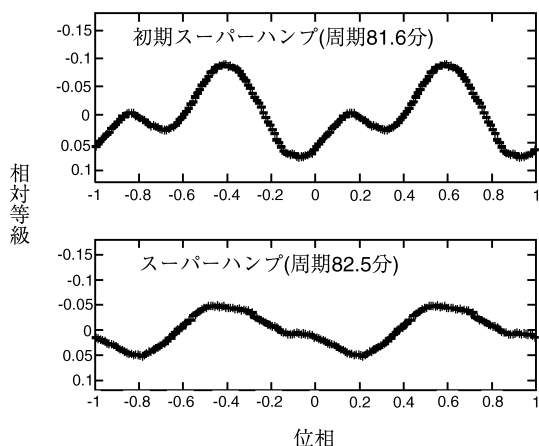


図6 WZ Sge の2001年のスーパーアウトバースト中に観測された初期スーパーハンプと通常のスーパーハンプ。初期スーパーハンプは二こぶで、スーパーハンプは一こぶと形状が異なる。また周期も異なっている。この図は Iishioka ら²⁷⁾の図4をもとに作成しました。

ます。初期スーパーハンプとスーパーハンプはかなり短いタイムスケール（1日かそれ以下）で切り替わっているらしいことや、初期スーパーハンプの周期はごくわずかながら軌道周期よりも短いこと²⁷⁾などが、初期スーパーハンプの解釈の鍵を握っていると思われます。

また AL Com の1995年のスーパーアウトバーストでは、スーパーハンプ周期が長くなっていく現象が初めて観測されました²³⁾。それまではスーパーハンプ周期はスーパーアウトバーストが進むにつれて短くなっていくか、ほとんど変化しないと思われていました。そしてこれはスーパーアウトバーストが進むにつれて質量が降着していき、円盤の半径が小さくなっていくことを表していると考えられていました³⁴⁾。このスーパーハンプ周期が長くなっていく現象の発見以後、スーパーハンプ周期の変化は詳しく調べられるようになり、

WZ Sge 型を含むある程度より軌道周期の短い系はほとんどこの現象を示すらしいことが、だんだんとわかってきました³⁵⁾。この現象はアウトバーストが始まったときにどのくらいまで降着円盤が広がるかにより、3:1共鳴を起こす半径よりも大きく広がる場合には、物質が周回している軌道が楕円になっていく歪みが外側に伝わっていくから、という解釈が最近提出されました³⁶⁾、*2。

3.3 EI Psc と V485 Cen の進化経路の謎

2001年の9月に 1RXS J232953.9+062814（後に EI Psc という変光星名が付けられました）という星が増光したという情報が VSNET に流れ、直ちに国際共同観測を開始しました。この観測でスーパーハンプが確認され、この星が SU UMa 型矮新星であることが確定しました。そこで一つの衝撃的なことが判明しました。

スーパーハンプ周期が 66.8 分で軌道周期が 64.2 分と、非常に短いものだったのです⁴⁰⁾、⁴¹⁾。

この周期は WZ Sge や他の SU UMa 型矮新星に比較して飛び抜けて短いもので、通常の zero-age main sequence（零歳主系列星）を仮定する激変星の進化理論では、到達できないと予想されている領域の軌道周期です。またもし通常の進化系列の延長上にあるとするならば、伴星は非常に軽くて自分で核融合できない、いわゆる褐色矮星であるはずですが。しかし静穏期のスペクトルに M 型星によく見られる酸化チタンの吸収線が見えたり、同じく静穏期で伴星の見え方の変化によるものと思われる変光が観測され、可視光で伴星の寄与がある程度大きな割合であったり、また数十日周期でアウトバーストを繰り返して、通常の SU UMa 型矮新星とほぼ変わらない質量輸送率をもつようであったりと、とても通常の進化経路の上にある星とは思われません。

*2 これと同様な示唆は少し前になされてきました³⁷⁾、³⁸⁾。この解釈では、降着円盤がそこまで大きく広がらない場合にはノーマルアウトバーストからスーパーアウトバーストへ移行するときいったん減光が起こるが、円盤が非常に大きくなる場合には減光は観測されない、ということも示唆します。この関係を支持する観測結果はごく最近報告されました³⁹⁾。

ではこの星はどのような進化をしているのでしょうか? 一つの説として考えられるのは、伴星が zero-age main sequence の星ではなく、水素を燃焼させた後の核をもつやや進化した星なのではないか、という説です⁴²⁾。この場合は、さらに進化していくともっと軌道周期が短くなっていき、最短軌道周期が 10 分程度の白色矮星同士の連星系、いわゆる AM CVn 型星となっていくと予想されます。しかしほかに AM CVn 型星に進化していくような候補星としては、EI Psc と非常によく似た特質をもつ V485 Cen しか知られておらず、これらは現時点では AM CVn 型とは大きく違う性質をもっており、この進化経路はあくまで一つの説としての域を出ません。EI Psc と V485 Cen はどのような進化をたどってきて、どのようなふうに進化していくのか、観測的にも理論的にも進展の待たれるところです。

4. まとめ

本稿では 1990 年代前半までの穏やかな激変星の増光と進化に関する理解の進みと、この 10 年の観測面・理論面での急速な進展におけるいくつかのトピックスを概説してきました。この急速な進展には、VSNET を通じてプロ・アマチュアを含めて多くの小型望遠鏡で行った国際共同観測がこれまでにない観測結果を生み、非常に大きな貢献をしてきました。これは明白な事実です。ただしこれまでに知られている矮新星は、本質的に明るいものや増光頻度の高いもの、すなわちある程度軌道周期の長いものにバイアスがかかっている可能性が高いと思われます。現に Sloan Digital Sky Survey や Hamburg Quasar Survey, All Sky Automated Survey など、より選択効果の少ないサーベイで最近続々と新しい激変星が見つかってきており、それらは多くの面で激変星の新しい姿を教えてくださいそうです。きっと 5 年、10 年経った後に本稿のような記事を書けば、またいろいろと新たなトピックスをお届けできることでしょう。

そしてその記事には、小型望遠鏡で得られた成果がやはりたくさん盛り込まれていることでしょう。

謝辞

本稿は VSNET を通じて世界中の方と行っている、激変星・矮新星の国際共同観測がもとになっています。ここで名前を挙げていくにはあまりに多過ぎますので割愛させていただきますが、すべての方に感謝の意を述べたいと思います。

参考文献

- 1) 植村 誠ほか, 2004, 天文月報, 169
- 2) 植村 誠, 2005, 天文月報, 576
- 3) Kato T., et al., 2004, PASJ 56, S1
- 4) Osaki Y., 1989, PASJ 41, 1005
- 5) Whitehurst R., 1988, MNRAS 232, 35
- 6) レビューとしては、例えば King A. R., 1988, QJRAS 29, 1
- 7) Osaki Y., 1995, PASJ 47, 47
- 8) Kato T., Kunjaya C., 1995, PASJ 47, 163
- 9) Osaki Y., 1995, PASJ 47, L110
- 10) Robertson J. W., Heneycutt R. K., Turner G. W., 1995, PASP 107, 443
- 11) Thorstensen J. R., et al., 1997, PASP 109, 477
- 12) Nogami D., et al., 1995, IBVS 4155
- 13) Nogami D., et al., 1995, PASJ 47, 897
- 14) Kato T., et al., 1996, PASJ 48, L93
- 15) Ishioka R., et al., 2001, PASJ 53, L51
- 16) Kato T., et al., 2003, MNRAS 341, 901
- 17) Mukai K., Naylor T., 1995, in Cataclysmic Variables, eds. Bianchini A., Della Valle M., Orio M. (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers), p. 517 およびその参考文献参照
- 18) Ak T., Ozkan M. T., Mattei J. A., 2001, A&A 369, 882
- 19) Meyer F., Meyer-Hofmeister E., 2000, New Astronomy 44, 161
- 20) Kato T., et al., 1996, PASJ 48, L21
- 21) Howell S. B., et al., 1996, AJ 111, 2367
- 22) Patterson J., et al., 1996, PASP 108, 748
- 23) Nogami D., et al., 1997, ApJ 490, 840
- 24) Matsumoto K., et al., 1998, PASJ 50, 405
- 25) Patterson J., et al., 1998, PASP 110, 1290
- 26) Kato T., et al., 2004, PASJ 56, S109
- 27) Ishioka R., et al., 2002, A&A 381, L41

- 28) Patterson J., et al., 2002, PASP 114, 721
- 29) Osaki Y., Meyer, F., Meyer-Hofmeister, E., 2001, A&A 370, 488
- 30) Lubow S. H., 1991, ApJ 381, 268
- 31) Osaki Y., Meyer, F., 2002, A&A 383, 574
- 32) Maehara H., 2003, 日本天文学会秋季年会, H34a
- 33) Kato T., 2002, PASJ 54, L11
- 34) Osaki Y., 1985, A&A 144, 369
- 35) 例えば Kato T., et al., MNRAS 339, 861
- 36) Osaki Y., Meyer, F., 2003, A&A 401, 325
- 37) Kato T., Nogami D., Baba H., Matsumoto K., 1998, "WILD STARS IN THE OLD WEST: PROCEEDINGS OF THE 13TH NORTH AMERICAN WORKSHOP ON CATAclysmic VARIABLES AND RELATED OBJECTS," ed. S. Howell, E. Kuulkers, and C. Woodward (Astronomical Society of the Pacific; California), p. 9
- 38) Baba H., et al., 2000, PASJ 52, 429
- 39) Uemura M., et al., 2005, A&A, 432, 261
- 40) Uemura M., et al., 2002, PASJ 54, L15
- 41) Uemura M., et al., 2002, PASJ 54, 599
- 42) Podsiadlowski P., Han Z., Rappaport S., 2003, MNRAS 340, 1214

Investigations of Outbursts and Evolutions of Dwarf Novae by Small Telescopes

Daisaku NOGAMI

Hida Observatory, Kyoto University, Kamitakara, Gifu 506-1314, Japan

Taichi KATO and Akira IMADA

Department of Astronomy, Faculty of Science, Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

Makoto UEMURA

Astrophysical Science Center, Hiroshima University, 1-3-1 Kagamiyama, Higashi-Hiroshima, Hiroshima 739-8526, Japan

Ryoko ISHIOKA

Subaru Telescope, 650 North A'ohoku Place, Hilo, HI 96720, U.S.A.

Hitoshi YAMAOKA

Department of Physics, Faculty of Science, Kyushu University, 4-2-1 Ropponmatsu, Chuo-ku, Fukuoka 810-8560, Japan

Hajime BABA

Center for Research and Development in University Education, Ibaraki University, 2-1-1 Bunkyo, Mito 310-8512, Japan

Abstract: Our understandings on the outbursts and evolution of cataclysmic variable stars and dwarf novae have been rapidly improved by international observations coordinated through VSNET in these 10 years. Among those topics where small telescopes have played important roles, we outline three remarkable issues: ER UMa-type dwarf novae having extremely large mass transfer rates, WZ Sge-type dwarf novae showing enigmatic behavior during superoutbursts in each 10 years or more, and EI Psc passing on an unknown evolutionary path.