

矮新星でみられる negative superhump の研究

中田 智香子 (京都大学大学院 理学研究科)

Abstract

白色矮星を含む近接連星系である激変星では、negative superhump という現象が観測されている。negative superhump とは、軌道周期よりも少し長い周期をもつ光度変動である (positive) superhump に対して、軌道周期よりも少し短い周期をもつ変動のことをいう。negative superhump の起源には謎が多いが、軌道面に対して傾いた降着円盤によりこのような現象が起こるとい説が有力になっている。一方で、円盤が傾いているという観測的証拠は今のところはっきりとした形では得られておらず、円盤が傾く機構についても推論の段階である。この研究発表では、negative superhump についてのこれまでの研究をレビューすると共に、Kepler 衛星のデータと食のある激変星を用いて降着円盤の傾きを検証する私たちの試みを紹介する。

1 Introduction

激変星 (cataclysmic variables) とは主星に白色矮星をもつ近接連星系で、伴星は Roche lobe を満たし主星に質量輸送し、降着円盤を形成している。この質量輸送の流れが降着円盤にぶつかる場所は明るく輝き、hot spot とよばれている (図 1)。

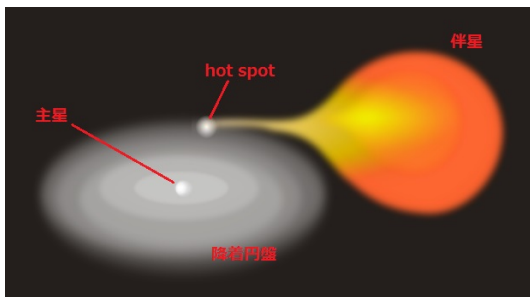


図 1: 激変星のイメージ。

激変星はいくつかの種類に分類される (図 2)。激変星の一種である nova-likes では、伴星からの質量輸送率が高く、常に増光状態になっている系である。

矮新星 (dwarf novae) も激変星の一種であり、outburst という 3~5 等程度の振幅での数日間の増光がみられるものである。さらに矮新星の中にもいくつかのサブクラスがあり、SU UMa 型と言われる矮新星では、outburst に加えて、outburst よりも明るくて持続時間の長い増光である superoutburst という現象を示す (図 3)。superoutburst 中には連星の軌

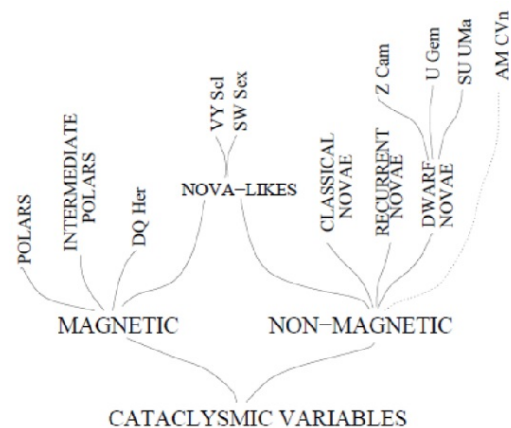


図 2: 激変星 (cataclysmic variables) の分類図 (Montgomery 1999)。

道周期よりも少し長い周期の光度変動である (positive) superhump がみられる (図 6)。この superhump は降着円盤の半径が 3:1 共鳴半径を越えるほどに広がったときに起こる潮汐不安定によって起こるとする tidal instability model によって説明されている (Osaki 1989)。

これに対し、negative superhump は軌道周期よりも少し短い周期の光度変動のことをいう。negative superhump の起源については、軌道面から傾いた降着円盤が歳差運動を起こすことによって hot spot の場所の変化し、それが軌道周期より短い光度の変動をもたらすという見方が有力である。

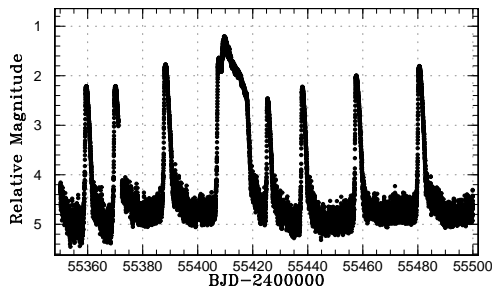


図 3: outburst と superoutburst。Kepler 衛星の V1504Cyg のデータより。

降着円盤が傾いていて、それがゆっくり歳差運動を起こしていることを仮定すると、hot spot は、必ずしも降着円盤の外縁にあたるわけではなく、その場所は降着円盤の向きと伴星の位置によって変化していく。hot spot が内側にくればくるほど、そこで開放される重力エネルギーは大きくなるので、hot spot は明るくなると考えられる。この hot spot の位置の変化による周期的な明るさの変化が、negative superhump として観測されたと考えられる。

歳差運動とは、自転している物体の回転軸が外力の影響などで円を描くように振れる現象で、地球の歳差運動をはじめとし、宇宙のさまざまな系で見ることができる。例えば、SS433 をはじめとする X 線連星 (Katz et al. 1982) や YSO (young stellar object) (Terquem et al. 1999) では歳差運動しているジェットが観測されている。このような歳差運動は、降着円盤が傾いていれば起こるとされており (Roberts 1974, Barrett et al. 1988)、実際に傾いた disk をもつモデルでうまく説明されるものもあるのだが (HZ Her, Petterson 1975)、なぜ disk が傾くのかに関しては、いまだ推論の段階である。これまでに提唱されてきた降着円盤が傾く原因としては、主星や伴星の輻射、主星の磁場、相対論的效果などが挙げられる。しかしながら、これらの効果は激変星では効きにくいものである。激変星の negative superhump で降着円盤が傾いているとすれば、それはこれらの効果とは別の機構によって起こっている可能性が高く、そこにはこの様々な系全てに共通するようなメカニズムが存在するかもしれない。激変星は変動のタイムスケールが短いので、降着円盤の傾きがどのように生じる

のかを調べることができる。このように、negative superhump は宇宙に多く存在すると思われる傾いた降着円盤の研究において絶好のツールになるであろうと思われる。

2 History

negative superhump (軌道周期よりも短い光度変動) は、nova-like である TV Col においてはじめて報告された (Bonnet-Bidaud et al. 1985)。ここで既に、この光度変動は降着円盤が傾くことによって起こるという可能性が示唆されている。その後も TT Ari などでのこのような現象が報告された。

その後、classical nova である V603 Aql において positive superhump と negative superhump の両方が観測され、それらの周期に相関があることが分かった (Patterson et al. 1997) (図 4)。当時、superhump excess (superhump 周期が軌道周期に対してどれほど長いかという割合) が positive superhump においては降着円盤の半径の関数であることは既に知られていたため、この結果により negative superhump の superhump excess も降着円盤の半径に関するものであることが示唆され、negative superhump が降着円盤の傾きによって起こるという見方が支持されるようになった。

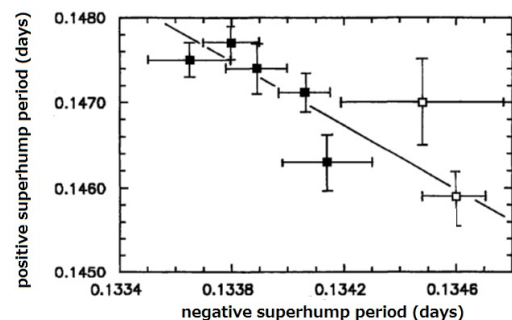


図 4: negative superhump と positive superhump の関係 (Patterson et al. 1997)。周期に相関があることが分かる。

V503 Cyg (Harvey et al. 1995)、BF Ara (Olech et al. 2007)、ER UMa (Ohshima et al. 2012) などの SU UMa 型矮新星でも negative superhump が報

告されるようになってきた。SU UMa 型矮新星での negative superhump の特徴として、光度変動の振幅が大きいことが挙げられる。矮新星は激変星の中でも特に変動のタイムスケールが短いので、矮新星の negative superhump は、その物理を解明する上で良いターゲットであると言える。

一方、SPH シミュレーション (smoothed particle hydrodynamics) で negative superhump を再現しようという試みもされてきた。Wood et al. (2000) は光学的に厚い傾いた降着円盤を仮定することにより negative superhump を再現することができた。

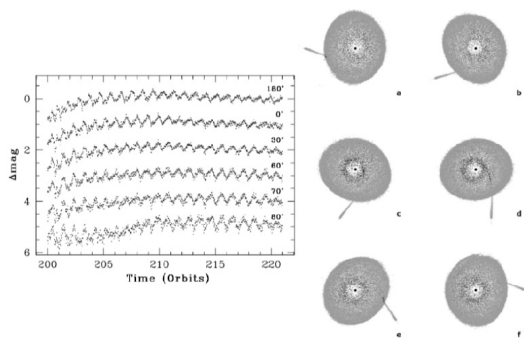


図 5: SPH シミュレーションにより再現された negative superhump (Wood 2007)。

系外惑星探査で活躍している Kepler 衛星も、その切れ目のないデータが negative superhump の研究に活かされている。Osaki and Kato (2013) では negative superhump が傾いた降着円盤によって起こるということを仮定した上で、thermal-tidal instability model に基づいて光度曲線や disk 半径を理論計算し、その結果が Kepler データとよくあっているということが確認された。

このように、negative superhump が傾いた降着円盤で起こることは間接的には示されているが、直接的な証拠はみつかっておらず、降着円盤が傾く理由についてもまだ分かっていない。

3 Our Study

私たちは negative superhump が本当に傾いた降着円盤で起こるのかを明らかにするため、2つのアプローチを考えている。

SU UMa 型矮新星では、superoutburst と superoutburst との間いくつかの normal outburst が見られる。この superhump 間の normal outburst の回数は negative superhump が見えているときは、negative superhump がみえていないときよりも少なくなることが分かっている (Ohshima et al. 2012)。矮新星でみられる outburst は降着円盤の外縁に質量がたまってくと起きると考えられているので、この結果より、negative superhump 中には降着円盤の外縁に質量がたまりにくくなっている状態にあるということが出来る。これは、この時に降着円盤が傾いているとすると、質量輸送の流れが必ずしも降着円盤の外縁にあたらなくなるということで、上手く説明することができる。現在このように考えられている negative superhump と normal outburst の頻度の関係を、傾いた降着円盤のモデルで再現できないかというのが、私たちの試みのひとつである。

もうひとつの試みは、negative superhump をおこす系の Kepler 衛星の light curve と食のある激変星での light curve の形を、同じく傾いた降着円盤のモデルで再現しようというものである。図 6 は Kepler 衛星で得られた V1504Cyg の light curve である。1つの negative superhump をみたときに、light curve が非対称になっているものがある。これは降着円盤が傾いていることにより、伴星からの質量の流れが降着円盤に到達するまでの時間が変化するためではないかと考えている。このようなことを考慮してプロファイルの変化を系統的に調べ、さらに前述のモデルを用いた光度曲線の再現を試みる。

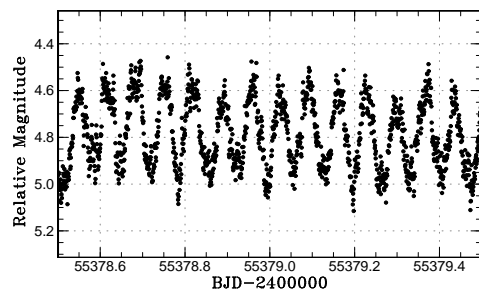


図 6: negative superhump. Kepler 衛星の V1504Cyg のデータより。

Reference

- Barrett, P., O'Donoghue, D., & Warner, B. 1988, MNRAS, 233, 759
- Bonnet-Bidaud, J. M., Motch, C., & Mouchet, M. 1985, A&A, 143, 313
- Harvey, D. A., & Patterson, J. 1995, PASP, 107, 1055
- Katz, J. I., Anderson, S. F., Grandi, S. A., & Margon, B. 1982, ApJ, 260, 780
- Montgomery, M M. 2009, ApJ, 705, 603
- Ohshima, T., Kato, T., Pavlenko, E. P., et al. 2012, PASJ, 64, L3
- Olech, A., Rutkowski, A., & Schwarzenberg-Czerny, A. 2007, , 57, 331
- Osaki, Y. 1989, NATO ASIC Proc. 290: Theory of Accretion Disks, 183
- Osaki, Y., & Kato, T. 2012, arXiv:1212.1516
- Patterson, J., Kemp, J., Saad, J., et al. 1997, PASP, 109, 468
- Petterson, J. A. 1975, ApJL, 201, L61
- Roberts, W. J. 1974, ApJ, 187, 575
- Terquem, C., Eisloffel, J., Papaloizou, J. C. B., & Nelson, R. P. 1999, ApJL, 512, L131]
- Wood, M. A., Montgomery, M. M., & Simpson, J. C. 2000, ApJL, 535, L39
- Wood, M. A., & Burke, C. J. 2007, ApJ, 661,1042