

論文内容の要旨

論文題目： On the origin of early superhumps in
SU UMa type dwarf novae
(SU UMa型矮新星の早期スーパーハンプの起
源について)

氏名：前原裕之

矮新星は激変星と呼ばれる白色矮星の主星と晩期型星の伴星から成る近接連星の一種である。伴星は自身のロッシュローブを満たして、L1点を通して主星側に質量移動が起きており、伴星からの物質は主星の周りに降着円盤を形成している。矮新星は典型的には数十～数百日間隔で4～5等ほど増光する。

矮新星の中でも、SU UMa型矮新星と呼ばれる天体は2種類の増光を示す。1つはノーマルアウトバーストと呼ばれる増光の継続時間が数日の増光で、もう1つはスーパーアウトバーストと呼ばれる増光の継続時間が10～20日程度の増光である。極大光度はスーパーアウトバースト時のほうが0.5等～1等ほど明るい。

SUUMa型矮新星のうち、質量比が特に小さく、増光間隔の長い天体は、増光の初期段階にearly superhumpと呼ばれる、変光周期が軌道周期にほぼ等しく、光度曲線の形状がふたやまになっている変光がみられる。

early superhumpのメカニズムとして、Osaki & Meyer (2002)は、降着円盤上の2:1共鳴による2本腕の明るい領域の見え方が公転によって変化する、というモデルを提案した。質量比が0.08よりも小さい場合においては、降着円盤半径は2:1共鳴が起きる半径よりも大きくなることができる。2:1共鳴によって、降着円盤上に2本腕の渦状の高温の領域ができることがLin & Papaloizou (1979)の数値シミュレーションによって示唆されており、2本腕の明るい領域の見え方が公転によって変化することでearly superhumpを説明できる、とした。しかし、質量比が0.08よりも大きな矮新星においてもearly superhumpが観測されている等、2:1共鳴では説明できないことが明らかになってきた。

Kato (2002)では2:1共鳴ではないメカニズムとして、ドップラーマッ

プ上の2本腕構造を説明するために、Smak (2001) の提案した潮汐変形で非軸対称に降着円盤の外側の厚みが増す部分ができ、その部分が白色矮星からの紫外線を受けて輝線を出す、というモデルを応用し、厚みの増した部分が白色矮星からの照射を受けて明るくなり、公転によって明るい部分の見え方が変化して、early superhumpとして観測される、という説を提案した。しかし、Osaki & Meyer (2003) は、増光のごく初期では白色矮星からの紫外線の照射が強くない (Cannizzo et al. 1986 など) ため、Kato (2002) の提案した説明では WZ Sge では early superhump がアウトバーストの極大前から観測されている (Ishioka et al. 2002) ことを説明できないことを指摘した。

Maehara et al. (2006) では降着円盤の数値シミュレーションで示唆されている降着円盤上の螺旋状の衝撃波 (例えば Makita et al. 2000 など) の部分で降着円盤の厚さが増し、降着円盤の幾何学的な面積が公転で変動することで early superhump として観測される、という説を提案した。また、降着円盤上に螺旋状の厚みが増した部分が存在した場合の光度曲線を数値計算し、質量比が 0.13 の矮新星 BC UMa で観測された early superhump を再現できることを示した。Maehara et al. (2006) の BC UMa で観測された early superhump や、数値計算に用いた early superhump の現象論的なモデルと計算された光度曲線については第2章で議論している。

2本腕の構造の形成メカニズムなど、early superhump の起源についてはまだよく分っていないため、この研究では early superhump の起源について観測面から制限をつけるため、early superhump の観測される天体に共通する観測的特徴は何か？を明らかにすることを目的にした。

第3章では、ASAS 102522–1542.4 と ASAS 023322–1047.0 で観測された early superhump についてや、それぞれの天体の観測的性質について説明している。

ASAS 102522–1542.4 の観測結果について簡単に要約すると、下記のようなようになる。

1. 増光発見から2日後までの増光初期には、振幅0.04等、周期 0.061574 ± 0.000061 日の early superhump が観測された。
2. 増光発見の3日後からは通常の superhump 観測され、その周期は 0.063329 ± 0.000011 日であった。
3. 増光の plateau 期の前半において、superhump 周期に変化率 \dot{P}_{sh}/P_{sh} は正であり、superhump 周期は伸びていた。
4. 質量比は $q = 0.131 \pm 0.005$ であった。

また、ASAS 023322–1047.0 の観測結果は下記のようなになった。

1. 増光発見から6日目までの増光初期において、周期 $0.055018(47)$ 日、振幅 0.04 等の early superhump が観測された。また、early superhump の周期は観測された間に有為な変化は見られなかった。
2. superhump 周期の変化率は増光の plateau 期を通して $\dot{P}_{sh}/P_{sh} > 0$ であり、superhump 周期は plateau 期の期間中増加していた。
3. 質量比は $q = 0.092 \pm 0.005$ であった。

両者とも質量比は Osaki & Meyer (2002) のモデルから予想される質量比の上限よりも大きい。

第4章では early superhump の観測される矮新星の条件を明らかにするため、3章で説明した新しい矮新星2つの他、過去のたくさんの文献で得られた矮新星の観測結果から、early superhump の有無と、質量比、superhump 周期の変化率、軌道傾斜角の3点の関係について議論している。

1. 質量比

$q < 0.08$ では数は少ないものの、これまで発見された矮新星の多くで early superhump が観測されている。一方、 $0.1 < q < 0.16$ では early superhump が観測された天体の割合は急に少なくなり、5-25%ほどになっている。このことは、Osaki & Meyer (2002) のモデルから予想される質量比の上限と良く合っている。しかし、質量比が $0.1-0.16$ でも early superhump が観測されたことがある矮新星は複数あり、これらの天体での early superhump の起源を 2:1 共鳴モデルで説明することは困難である。また、同じ質量比であっても、early superhump が観測される系とそうでない系があることは、early superhump の形成要因が単純に質量比だけで決まるわけではないことを示唆している。

2. \dot{P}_{sh}/P_{sh}

early superhump の観測された天体では全ての天体で plateau 前半の $\dot{P}_{sh}/P_{sh} > 0$ であり、plateau 前半で $\dot{P}_{sh}/P_{sh} > 0$ であった矮新星の 70% で early superhump が観測されていた。一方で \dot{P}_{sh}/P_{sh} が負の矮新星では軌道傾斜角が大きい食のある矮新星でも early superhump が観測されていない。これらことは、plateau 前半の \dot{P}_{sh} の正負と early superhump の有無には強い関連があることを示している。 $\dot{P}_{sh}/P_{sh} > 0$ の天体は増光時の降着円盤が大きいことが Uemura et al. (2005) で推論されており、2:1 共鳴や潮汐力の影響などを受けやすいため、2本腕の非軸対称な構造が形成され、early superhump が観測されているのではないかと予想される。

3. 軌道傾斜角

early superhump の起源として提案されている、2:1 共鳴による高温領域によって説明するモデルや、渦状衝撃波の部分で降着円盤の厚みが増して降着円盤のみかけの面積が公転で変化することで説明するモデルのいずれであっても、early superhump の振幅は軌道傾斜角への依存性があり、軌道傾斜角が小さい場合には降着円盤上の非軸対称構造の影響が少ないため、early superhump の振幅も小さくなり、降着円盤を真上から見るような系においては観測されないと予想されている。 \dot{P}_{sh}/P_{sh} が正にもかかわらず、early superhump の観測されていない系では、静穏時の分光観測で得られている輝線の形状から、軌道傾斜角が小さいことが予想される。early superhump が観測されている、増光周期の長い SU UMa 型矮新星では伴星からの質量降着率が小さいため、降着円盤が熱不安定を起こしにくく、増光するまでに降着円盤に蓄積される物質の量が多いとする先行研究 (Osaki 1995a) があり、本研究の降着円盤が大きいという予想と矛盾しない。

early superhump の観測される矮新星の観測的条件としては、質量比がある程度小さく ($q < 0.16$)、 $\dot{P}_{sh}/P_{sh} > 0$ でかつ軌道傾斜角が大きいことが必要にである、ということが観測的な傾向として本研究で明らかになった。これらの条件は、降着円盤が潮汐半径いっぱいまで大きくなり 2:1 共鳴や伴星の潮汐力の影響が大きくなることで、2 本腕の渦状構造が降着円盤上に形成され、さらに観測者が降着円盤を横方向から見る条件では、連星の公転によって降着円盤の渦状構造の見え方が変化して early superhump が観測される、ということに対応していると考えられる。

本研究では、early superhump の観測される系についての観測的な条件を明らかにすることができたが、early superhump の起源となる物理的なメカニズムについてはまだ分っていない。最近になって、深い食があり、質量比が非常に小さい激変星が発見された。この系では伴星からの質量移動の観測的な証拠が見つかっており、質量移動率からは矮新星増光を起すと予測されている。もしこの系で増光が起き、early superhump が観測された場合、eclipse mapping 法を用いることで、降着円盤上の輝度温度の分布についての情報が得られる。これは early superhump の起源についての決定的な情報が得られると期待される。