

U Gem型矮新星BD Pavの増光時における光度曲線の解析

鹿児島大学理学部物理科学宇宙コース 面高研究室 4年 佐藤詔子

Abstract

BD Pavの増光時の光度曲線において過去に観測例のない楕円体変動の成分が見つかった。これは伴星の寄与が大きいためだと思われる。そこで今回の光度曲線や先行論文を基に観測的推測を行った。その結果、伴星の半径は太陽半径の約1.2倍で、温度は5000K以上であると推測される。これは矮新星の伴星の温度としては非常に高く、現在の矮新星標準進化モデルではこのような高温の伴星を説明することができない。

Introduction

・矮新星について

矮新星とは主星が白色矮星、伴星が晩期型星からなる近接連星系である。大半の軌道周期は9時間以下で、伴星から主星側へ質量輸送されることによって降着円盤が形成され、この円盤が不安定になることでoutburstを起こす。矮新星は3つのタイプに分類され、以下にそれを示す。

U Gem型(SS Cyg型)	軌道周期は数時間で、2-6等ほどの急激な増光後、数日から数週間かけて減光する。
Z Cam型	軌道周期は数時間で、極大光度から約0.7等くらい段階で減光をいったん停止するstandstillという現象がある。
SU UMa型	軌道周期は大半が2時間以下で、normal outburstとそれより約0.5等明るいsuperoutburstの2種類のoutburstを起こす。

・矮新星の進化について

矮新星は伴星が質量放出することによって角運動量を失い、軌道周期を縮めていく。そして同時に伴星の温度も低くなっていく。(図6参照)

・BD Pavについて

Pavはくじやく座で、南半球で見ることが出来る星座である。1939年、Boydが1934年のHarvard plateから発見した。Ritter&Kolbカタログによると静穏時、増光時の等級はそれぞれ15.4等、12.4等である。

Observations

BD Pavの観測は南アフリカのアマチュア天文家Berto Monardさんによって、2006年8月30日、9月1~4日(2日を除く)の4日間、nonfilterで可視観測された。

Result

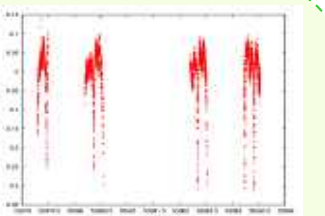


図1:増光中の光度曲線

HUD...日心ユリウス日と言う、太陽中心におけるユリウス日のこと
ユリウス日...紀元前4713年1月1日正午(世界標準時による)からの日数

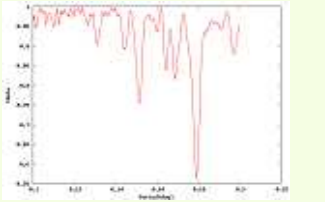


図2:PDM法による周期解析

軌道周期 $P_{orb}=0.179162$ 日(約4.3時間)

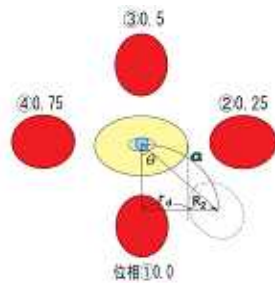


図3:楕円体変動の模式図

楕円体変動について

伴星が自分自身の重力圏であるロッシュローブを満たしているため、楕円体になっている。楕円体になっているために、私達から見た時の伴星の面積が位相によって変わるので、明るさもそれに対応して変わる(図4と対応)。

また、この図で簡単のために伴星を円と仮定すると、伴星が円盤から完全に抜けた状態から下記のような式が立てられる。は一周期に対して円盤がどれ程隠れているかで見積もることが出来る(図4の青枠)。

$$a \sin \theta = r_d + R_2 \quad \text{より}$$

$$r_d = a \sin \theta - R_2$$

伴星と円盤の半径

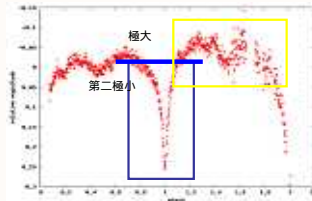


図4:2006年9月1日の光度曲線

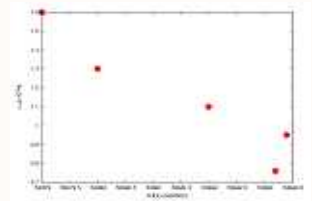


図5:降着円盤半径の変化(上限値)

・先行論文から $q=M_{伴星}/M_{主星}=0.44$ 、傾斜角 $i=75$ 度と仮定して、伴星の半径 R_2 を求めた(式1,2より)。そして図3のように極大と第2極小の真ん中から下の青枠部分を円盤が伴星によって隠される成分として見積もり、4日間の降着円盤の半径 r_d の変化を調べた。
1: r_d については楕円体変動を参照

ケプラー第三法則

$$P_{orb}^2 = \frac{4\pi a^3}{GM_1(1+q)} \quad \dots (1)$$

a :軌道間隔
 G :万有引力
 M_1 :主星の質量
(ここでは $1.136M_{\odot}$)

ロッシュ・ローブの式

$$R_2 = \frac{0.49q^{\frac{2}{3}}}{0.6q^{\frac{2}{3}} + \ln(1+q^{\frac{2}{3}})} \quad \dots (2)$$

・その結果 $R_2 = 8.6 \times 10^8 m$ となり、太陽半径の約1.2倍であった。
・図5は円盤の半径の変化を表している。円盤が日を追うごとに小さくなっていくのが分かる。これは円盤不安定性モデル²に合っている。
2:円盤不安定性モデルではoutburst直後が最大半径で、徐々に円盤は小さくなり、緩やかに減光していく。

Discussion

・伴星と円盤

上記で伴星と円盤の半径を求めたが、その結果から伴星と一日ごとの円盤の光度を求め(式3)、伴星の光度を円盤の光度で割った。伴星の温度は3000Kから7000Kまで変化させ、円盤の温度は1万Kとした。

ステファン・ボルツマンの法則

$$L = S \times \sigma T^4 \quad \dots (3)$$

S :見た目の面積
: σ ステファン・ボルツマン定数

$L_{伴星}/L_{円盤}$

日	3000[K]	4000[K]	5000[K]	6000[K]	7000[K]
53979	0.0089	0.028	0.067	0.14	0.26
53980	0.0137	0.043	0.11	0.22	0.40
53982	0.019	0.059	0.15	0.30	0.56
53983.2	0.040	0.127	0.31	0.63	1.2
53983.4	0.025	0.077	0.20	0.40	0.77

この結果から、3000Kでは円盤に対して伴星の寄与は1%程で、これでは伴星の成分は見えないと考えられる。図4から、観測では0.1等の楕円体変動(黄枠部分)が見られるので、伴星の光度全体への寄与は少なくとも10%程度なければいけないと思われる。したがって、伴星は5000K以上である可能性が高い。

3: $T_{円盤} < T_{伴星}$ より $L_{円盤}/L_{伴星}$ は1より小さい。

・進化について

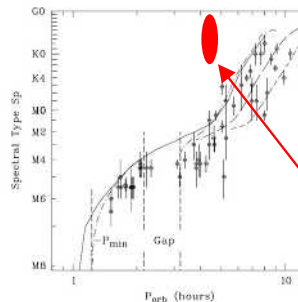


図6:スペクトル型と軌道周期の関係 (Beuermann et al., 1998)

図6はスペクトル型と軌道周期の関係で、実線で描かれているのが矮新星の標準進化経路である。BD Pavの軌道周期は約4.3時間であるから、図6ではM3型程度である。

もし、先程の結果から伴星の温度が5000K以上だとするとK型の前半からG型もしくはそれ以上である可能性があり、この標準進化経路に沿わない結果になる。

Summary

- ・軌道周期は $P_{orb}=0.179162$ 日で先行論文ともほぼ一致した。
- ・質量比 $q=0.44$ 、傾斜角 $i=75$ 度としたとき、伴星の半径は $R_2=8.6 \times 10^8 m$ で太陽半径の約1.2倍であった。
- ・伴星の温度は光度の比から5000K以上で、スペクトル型は少なくともK型前半からG型だと考えられる。
- ・矮新星の標準進化経路に沿わない結果となり、正確なスペクトル型を決定するため、今後BD Pavの分光観測をしていく必要がある。