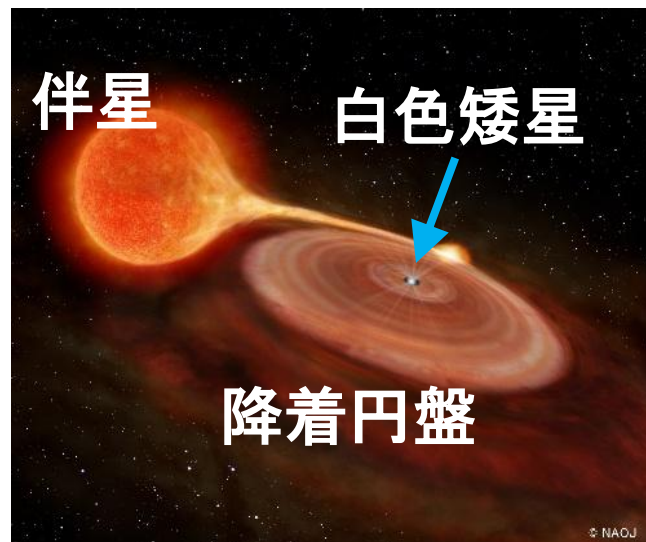


連続分光観測による矮新星の 降着円盤構造推定

磯貝桂介、加藤太一、野上大作、
反保雄介、小路口直冬(京都大学)、
成田憲保、福井暁彦(東京大学)
他MuSCAT team, VSNET collaboration

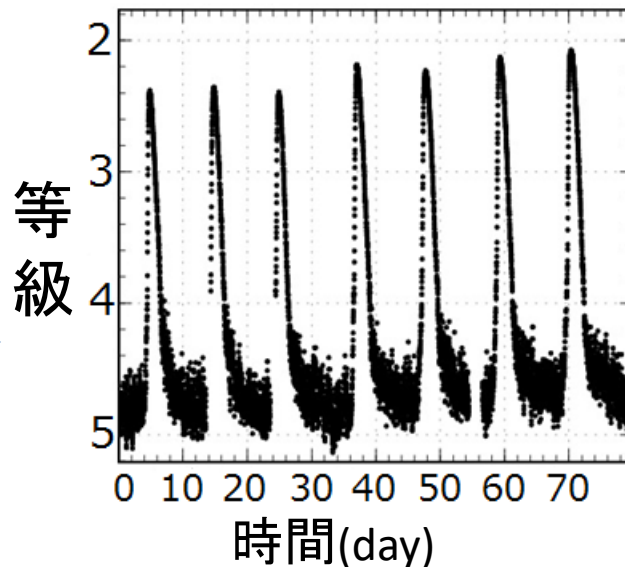
激変星

- 主星に**白色矮星**を持つ**近接連星系**
- 伴星からガスが流れ込み**降着円盤**を形成



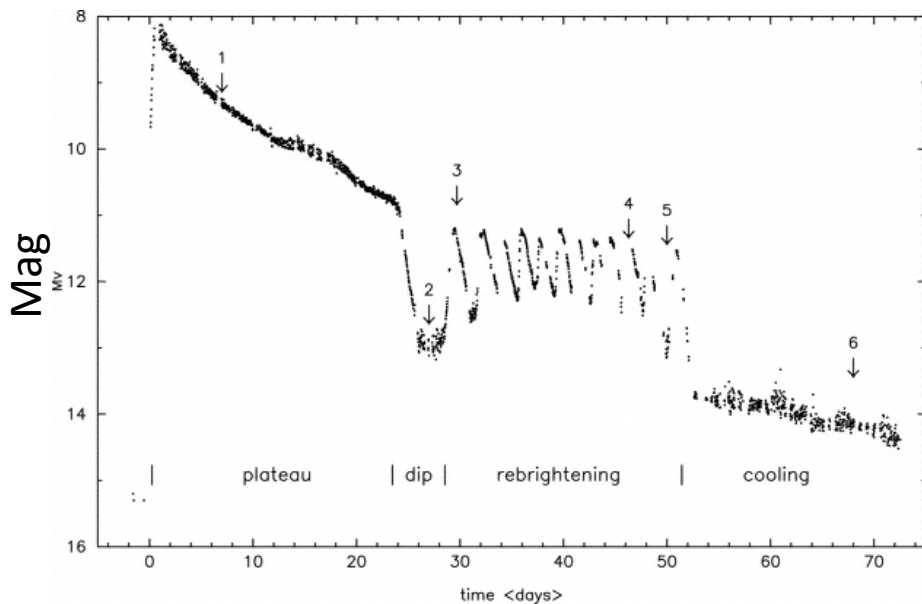
矮新星

- 激変星のsubclass
- 軌道周期1-9時間ほど
- **outburst**と呼ばれる、数等級の突発的な増光現象を起こし、
数日かけて減光する
- recurrence timeは数週間から数十年

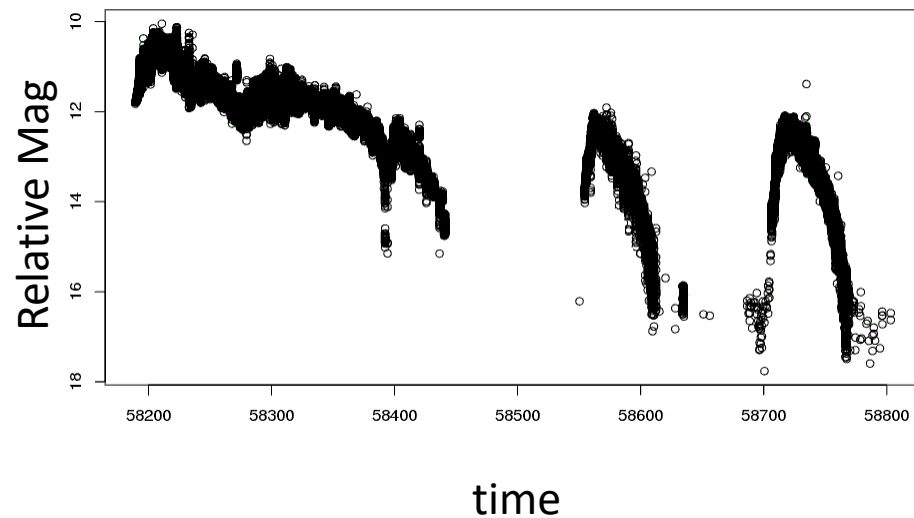


再増光

- 一部の矮新星やX線連星は
outburst終了後に**再増光**を示す。



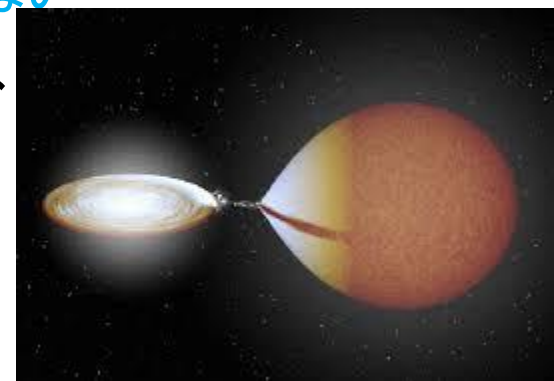
矮新星 WZ Sge (Godon+ 2004, data from VSNET)



ブラックホール連星 ASASSN-18ey
(Niijima+ in prep., data from VSNET)

再増光の2つのモデル

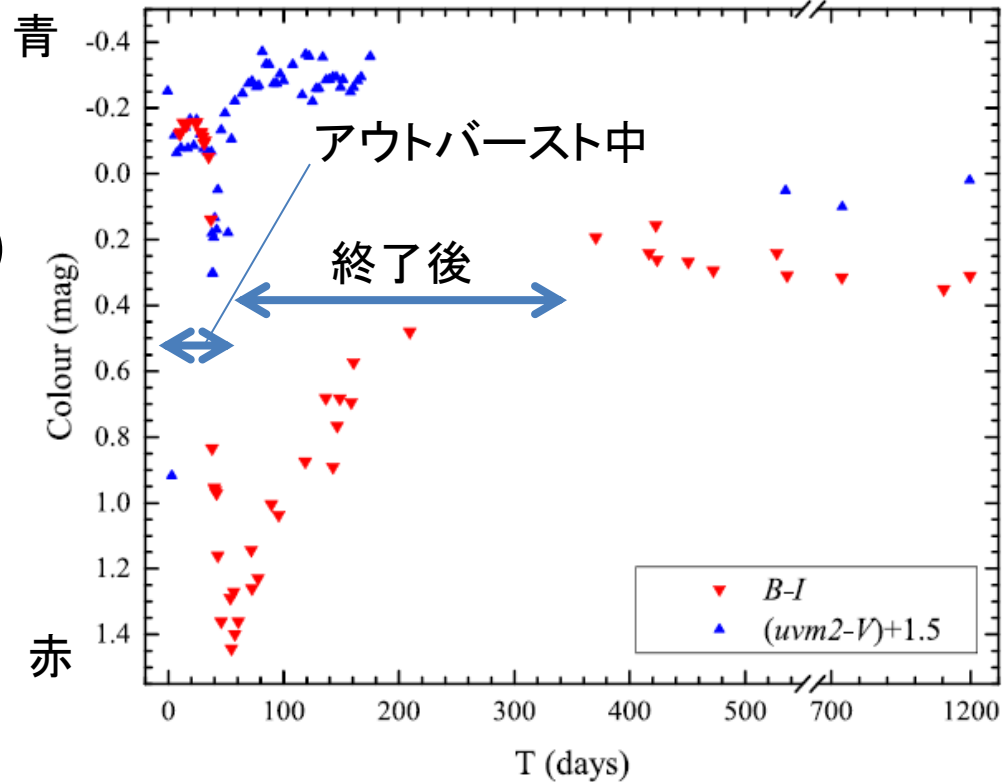
- 基本的には通常のoutburstと同様に円盤が光っているが、**何故outburst直後にまた明るくなるのかが謎。**
 - 次の2つの説がある
 - 伴星からの質量輸送率が増加 (Hameury et al. 2000)
 - 粘性の増加と外側に残った円盤
(Osaki, Meyer, Meyer-Hofmeister 2001, Kato 1998)
 - 前者の**Enhanced Mass Transfer説は疑問が多い**
 - 質量輸送率が増加している様子は**観測されていない**
 - 伴星が照射を受けることで起きると説明されるが、照射を受けたところで**質量輸送率は増加しない**
 - 理由1) L1点は円盤の影に隠れている
 - 理由2) 少し離れた場所は加熱されるが、コリオリ力が邪魔でL1点までは容易にたどり着けない(Osaki & Meyer, 2003, 2004)
- ただし、**描像が簡単だからか信じている人は多い**



粘性増加 + Mass Reservoir Model

Neustroev et al. 2017

- アウトバースト後の円盤は粘性が一時的に増加していてアウトバーストしやすい状態になっているかもしれない。
(Meyer & Meyer-Hofmeister 2015)
- 観測から、superoutburst 終了後に赤い状態が続く様子が確認されている
(e.g. Matsui et al. 2008)
- 円盤外縁部に低温のmassが残っているのでは。
- 外側に残った質量が角運動量を失って降り注げば再増光を起こせるかも。
(Kato 1998, Hellier 2001, Osaki, 2001)

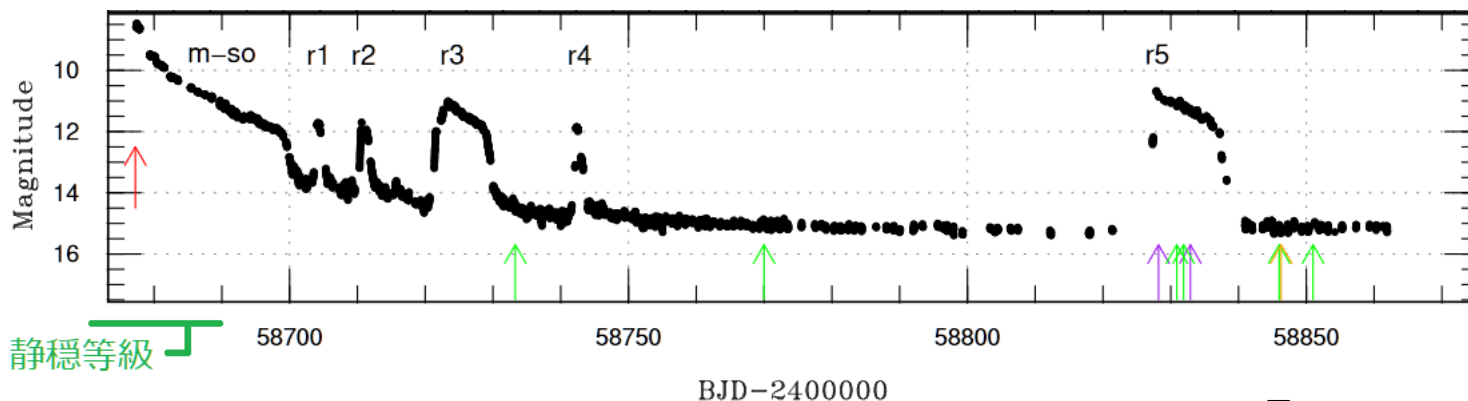


Inner hot region
(rebrightening)

low temperature Mass Reservoir

分光観測による再増光の研究

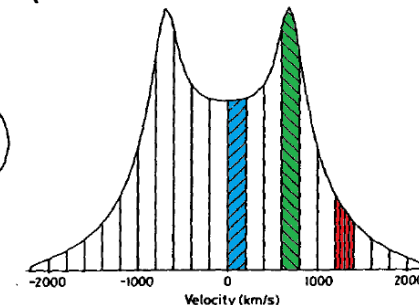
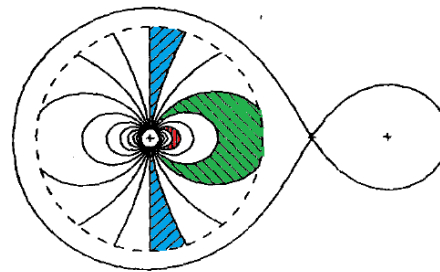
- 再増光の観測的研究はあまり進んでいない
 - 再増光を起こす天体はアウトバースト頻度が低く発見数が少なかった
 - 新天体は再増光を起こすかどうか予測困難
 - 暗い天体が多く、再増光前後の暗い状態のデータを取るのが困難
- せいめいが稼働し、分光観測による再増光の研究が可能に
- アウトバースト後、何度も再増光を繰り返す天体
TCP J2104の再増光前後の暗い状態を連続分光観測。



せいめいでDoppler Tomography

(Marsh & Horne 1988)

- Tomography = 断層撮影法。
CTスキャンのように、連星系を
いろんな方向から分光観測し、
輝線プロファイル変化から
速度空間上での輝度構造を推定する。
- Uemura et al. 2015で
開発されたコード(DTTVM)を使用



下から円盤を見たとき、
「**等視線速度線**」
は上図のようになる。

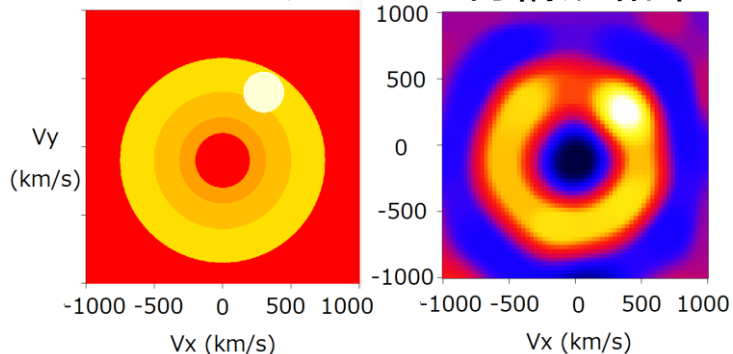


円盤由来の輝線は
double peakの形で
観測される
(Hellier 2001)

Doppler Tomographyの例:

人工データ

再構成結果



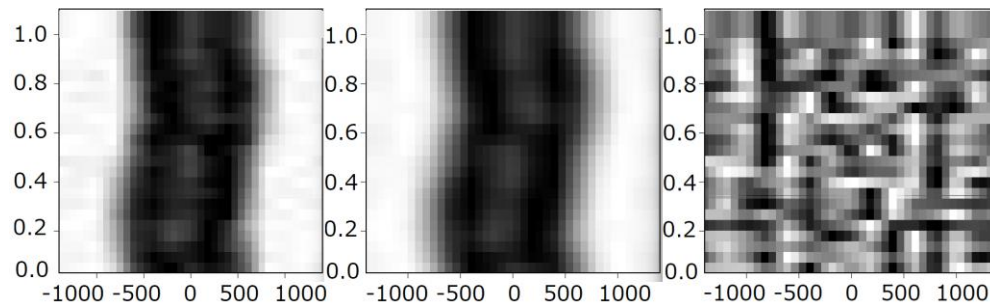
(Uemura et al. 2015のコードを使用)

(a) 人工データを
模擬観測

(b) 再構成結果

(a) と(b)の残差

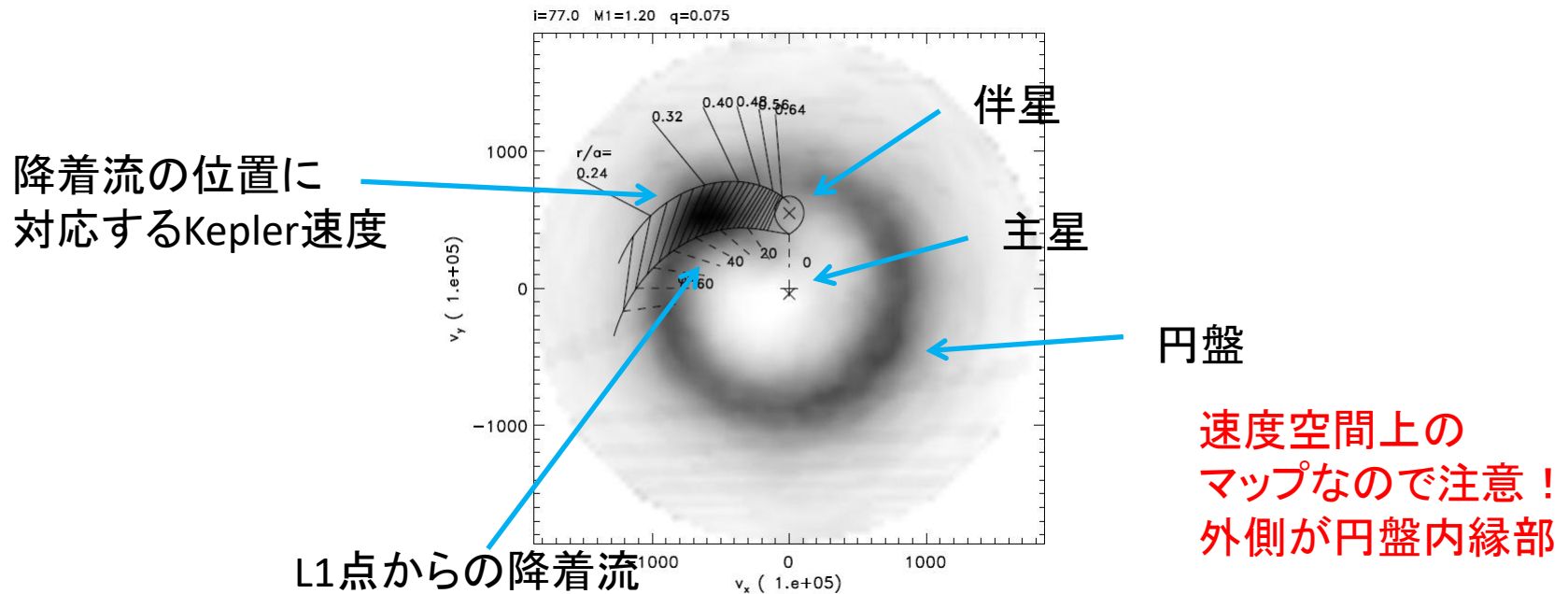
軌道フェーズ



視線速度(km/s)

Doppler tomographyで何が見えるか

- WZ Sgeの静穏時の観測では円盤とhot spotが観測された



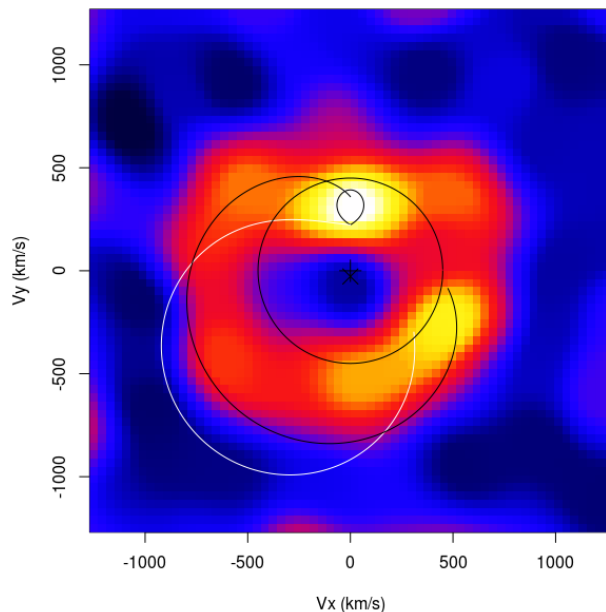
WZ Sgeの静穏時のスペクトル (Spruit and Rutten 1998)

- 再増光がEMTで発生するなら、
照射を受けた伴星とhot spotが目立つはず
- Mass Reservoirがあるなら低速度成分が豊富な円盤

J2104のDoppler map

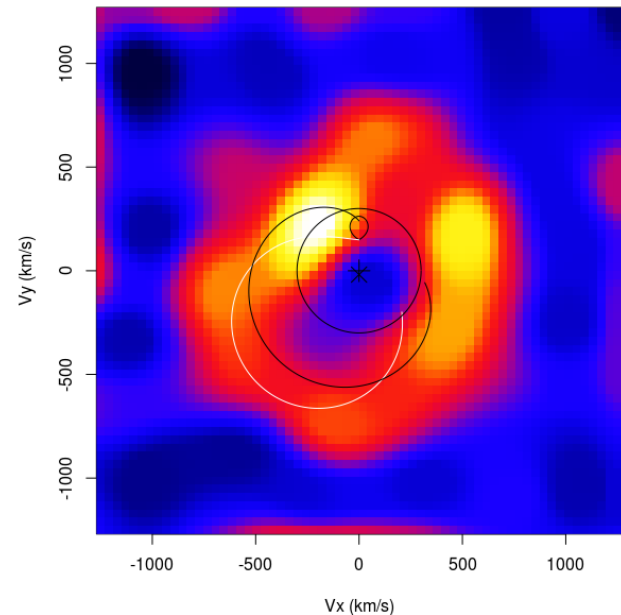
- 残念ながらこの天体はinclination、軌道運動の位相、主星質量が不明のため、それらしい値を使って推定するしかない。

明るい点 = 伴星と仮定した場合



質量比 = 0.88(既知)
主星質量 = $0.785M_{\text{sol}}$
inclination = 40°

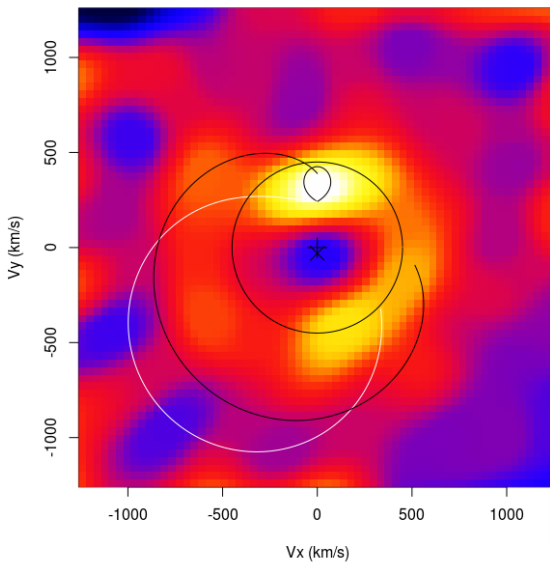
明るい点 = hot spotと仮定した場合



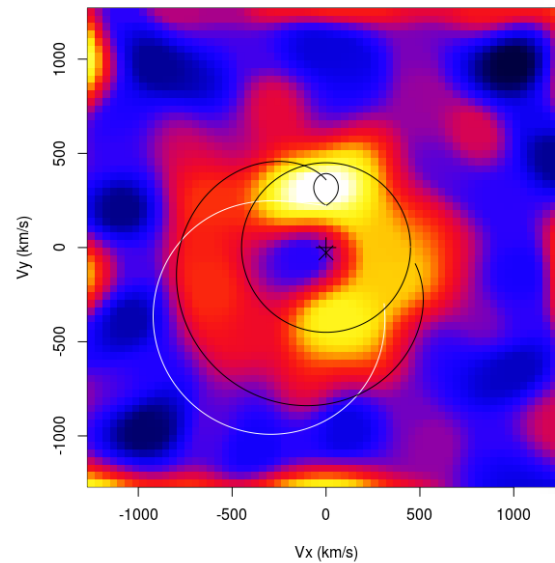
質量比 = 0.88(既知)
主星質量 = $0.05M_{\text{sol}}$
inclination = 30°

J2104のDoppler maps

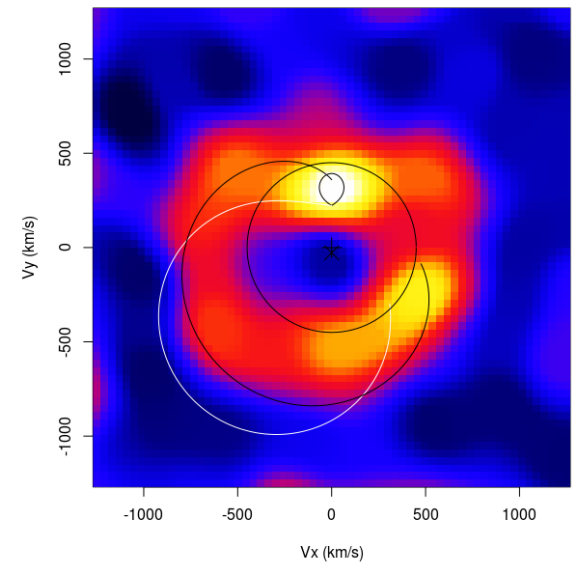
- 間に何度か再増光を起こしても
得られるDoppler mapはほぼ一定



2019年10月13日



2020年12月28日

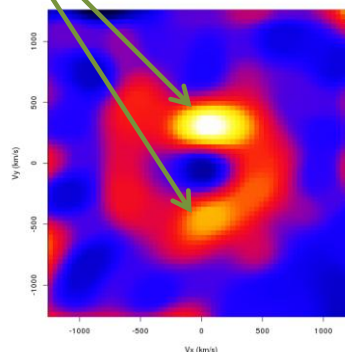


2020年4月29日

- 少なくともsuperhumpなどの
円盤内で位相が変化する成分ではない

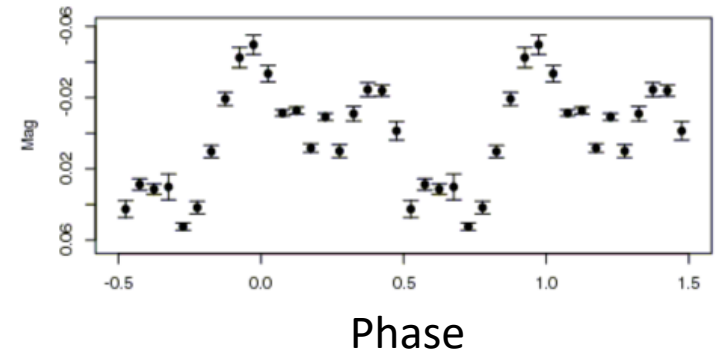
同時多色測光

- 岡山188cmに搭載された3色同時撮像装置MuSCATと姉妹機MuSCAT2(テネリフェ, 152cm)で準同時測光観測を行った。
- 軌道周期に一致する周期変動が見られた
- 明るいときに色は青くなっており、光度変動の起源は高温成分
- 光度変動のダブルピークとDoppler Mapの2つのspotが同じ位相を持つことを確認
- 照射によって加熱された伴星は数千K程度なのでDoppler mapのspotは伴星ではなくhot spot



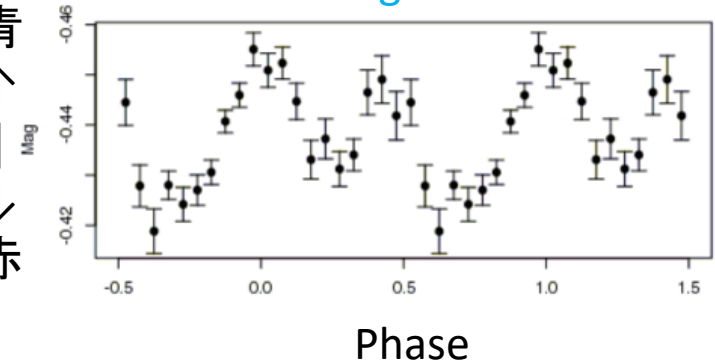
位相のzero pointを光度変動と合わせたDoppler Map

phase averaged profile

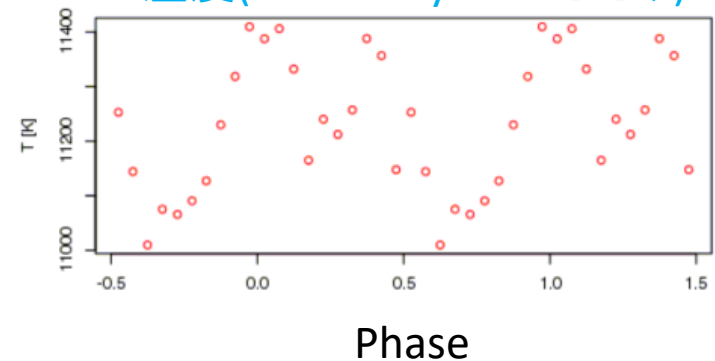


青
↑
—
↓
赤

g - i

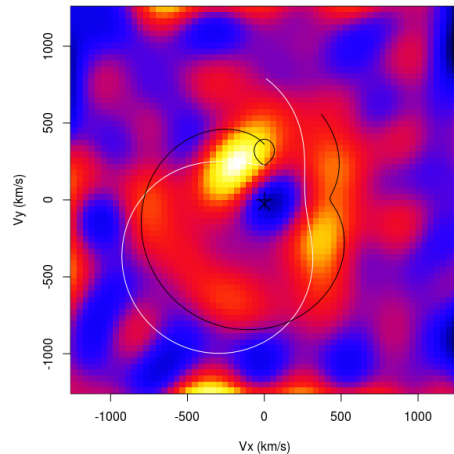


温度(blackbody fitしただけ)

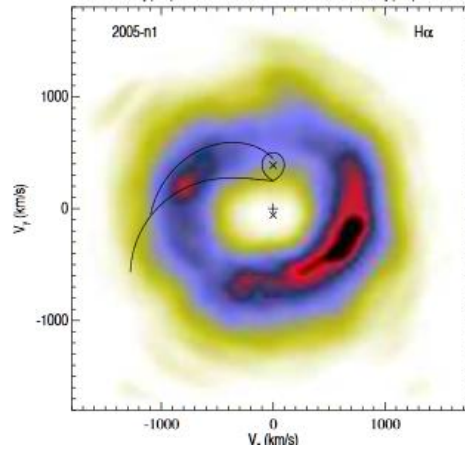


輝線の起源

- 明るい方のspotがhot spotだと仮定すると左図のようになる

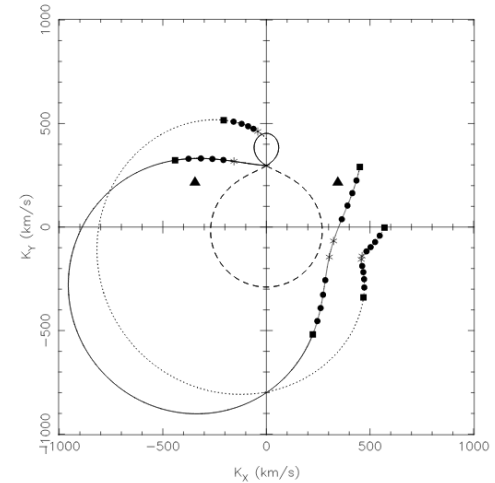


今回の結果



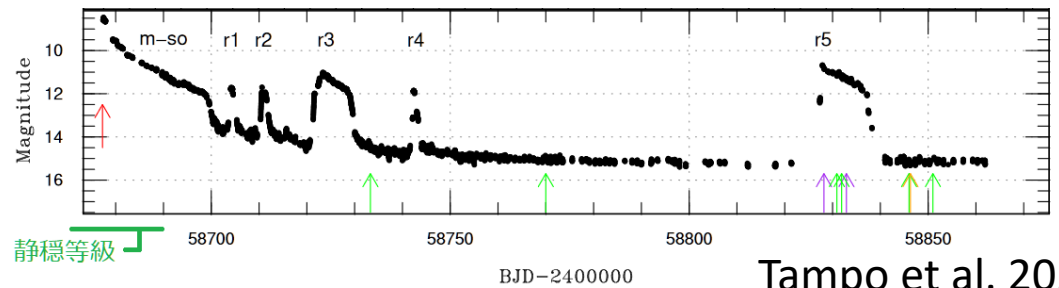
(HT Cas; Neustroev et al. 2016)

複数のhot spotが出現する場合の位置 (Roelofs et al. 2005)



- hot spotの逆側にもspotがある構造は他の天体でも見られるが起源は不明
- 潮汐力によってアーム構造が出現し、円盤が一部厚くなっている irradiationによって生成された温度逆転層から放射？ (Neustroev et al. 2016)
- 降着流がhot spotではすべて止まらずに溢れ、ふたたび円盤とぶつかることでsecond hot spotが出現する？ (Roelofs et al. 2005)
 - ⇒ 今回は、予測される2nd, 3rd spotの位置が輝いている
 - ⇒ 質量輸送率が増加し、複数のhot spotが出来ていることを示唆する

結論



Tampo et al. 2020

再増光を説明する2つのモデルを検証

モデル1. EMTで再増光が発生するなら、

照射を受けた伴星とhot spotが目立つ

モデル2. Mass Reservoirがあるなら低視線速度成分が豊富

伴星はあまり目立たないが複数のhot spotと思われるものが

観測され、EMT(質量輸送率増加)モデルを示唆する結果となった。

(モデル2はinclinationの不定性および速度分解能の問題で検証できないことが分かった...)

ただし、この天体は再増光中にsuperoutburstを起こした初の天体で、

特殊な例であるため、今回の結論は他の天体には適用できない。

実際、普通の天体では、再増光前後の色は静穏時より赤い。

この天体は静穏時 $g - i = 0.23$ (PS1)に対して

10月13日 $g - i = -0.44$ と非常に青く、高温になっている。

まとめ

- せいめいによる分光と、岡山188cm等による準同時撮像から再増光前後での円盤構造の研究を行った。
- Doppler map上に見られる**複数のspotは光度変動と同期**しており、1万K以上の高温成分だと分かった。
- Doppler map上で一番明るいspotがhot spotだと仮定すると、doppler mapで見られる他のspotが2nd, 3rd hot spotと場所が一致しており、**質量輸送率が一時的に上昇**していることを示唆する結果となった。
- Mass Reservoirの存在が予想される場所を分光(視線速度)で調べるには最低でもVPH-683の4倍の波長分解能が必要。
なかなか厳しいことが分かった。
- 他にも別の時期に撮った未解析の分光データがあるので解析を続けて論文化予定です。